

Учреждение образования
«Брестский государственный технический университет»

Факультет инженерных систем и экологии

Кафедра инженерной экологии и химии

СОГЛАСОВАНО

Заведующий кафедрой

 Н. В. Левчук
«30» 04 2025 г.

СОГЛАСОВАНО

Декан факультета

 О. П. Мешик
«15» 06 2025 г.

**ЭЛЕКТРОННЫЙ УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС
ПО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ**

«БИОЛОГИЯ»

(название дисциплины)

для специальности (направления специальности):

6-05-0521-02 Природоохранная деятельность

(шифр и название специальности, направления специальности)

Составитель: Босак В.Н., к.б.н., доцент

Рассмотрено и утверждено на заседании научно-методического совета
университета 26.06.2025 г., протокол № 4.

пр. ~ УМК 24/25-258

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Цель преподавания дисциплины «Биология» состоит в том, чтобы сформировать современные представления о фундаментальных общебиологических закономерностях становления, развития и функционирования живых систем различного ранга, раскрыть характер их соподчиненности, выработать понимание взаимосвязи живой и неживой природы.

В задачи курса входит введение студентов-первокурсников в надлежащий объем современных знаний по ботанике и зоологии с целью успешного освоения в ходе дальнейшей учебы других биологических дисциплин.

В результате изучения учебной дисциплины студент должен:

знать:

- основные биологические понятия, законы и закономерности жизнедеятельности живых организмов;
- сущность явления жизни, основные признаки и свойства живых организмов;
- основы эволюционной теории развития живых организмов, движущие силы, направления и результаты эволюции организмов;
- особенности организации животных и растений различных систематических групп;
- основные экологические группы животных и растений в Республике Беларусь;

уметь:

- применять биологические законы и закономерности для объяснения явлений природы и поведения живых организмов;
- использовать признаки и свойства живых организмов для их систематики и классификации;
- определять основные систематические группы растений и животных;
- анализировать изменения в современном растительном и животном мире в связи увеличивающимися антропогенными нагрузками;
- планировать проведение исследований в области биологического мониторинга;

владеть:

- общебиологическими знаниями для объяснения конкретных биологических явлений и анализа поведения биологических объектов;
- навыками работы с коллекционным и гербарными материалами;
- методами биологического контроля, основанными на методах биоиндикации.

Электронный учебно-методический комплекс (ЭУМК) по дисциплине «Биология» представляет собой комплекс систематизированных

учебных и методических материалов. ЭУМК разработан с учётом основных положений концепции системы непрерывного образования Республики Беларусь. Он предназначен для подготовки студентов специальности 6-05-0521-02 Природоохранная деятельность.

ЭУМК разработан в соответствии со следующими нормативными документами:

- Положением об учебно-методическом комплексе на уровне высшего образования, утвержденным постановлением Министерства образования Республики Беларусь №167 от 26.07.2011 г.

- Положением об учебно-методическом комплексе по учебной дисциплине учреждения образования «Брестский государственный технический университет» от 31.01.2019 г.

- Типовой учебной программой «Основы биологии» в соответствии с Образовательным стандартом высшего образования первой ступени по специальности 6-05-0511-04 Медико-биологическое дело.

Структура учебно-методического комплекса по дисциплине «Биология»

Теоретический раздел ЭУМК представлен конспектом лекций, рекомендованным для изучения дисциплины при организации самостоятельной работы студентов.

Практический раздел ЭУМК содержит, тематический план, учебные материалы для аудиторной и самостоятельной работы студентов, примеры решения типовых задач.

Раздел контроля знаний ЭУМК содержит материалы для текущей и итоговой аттестации, контрольные задачи, примерный перечень вопросов, выносимых на экзамен.

Вспомогательный раздел включает учебную программу по дисциплине основную и дополнительную литературу и другую справочную информацию.

Рекомендации по организации работы с ЭУМК

Использование разработанного ЭУМК предполагает работу студентов с конспектом лекций при подготовке к выполнению и защите практических работ, к сдаче зачета по одноименной дисциплине. Кроме того, теоретический материал полезен при выполнении соответствующих разделов дипломных проектов.

Для управления учебным процессом и организации контрольно-оценочной деятельности рекомендуется использовать учебно-методические комплексы, проводить текущий контроль знаний на каждом практическом занятии, а итоговый контроль – на зачете.

Самостоятельная работа студентов включает подготовку к лабораторным и практическим работам. Среди эффективных педагогических методик и технологий, которые способствуют вовлечению студентов в поиск

и управление знаниями, приобретению опыта самостоятельного решения разнообразных задач, следует выделить:

- проблемно-ориентированный междисциплинарный подход;
- технологию проблемно-модульного обучения;
- технологию учебно-исследовательской деятельности;
- интенсивное обучение;
- моделирование проблемных ситуаций и их решение.

В целях формирования современных и социально-профессиональных компетенций выпускника ВУЗа в практику проведения занятий целесообразно внедрять методики активного обучения и дискуссионные формы.

Теоретический раздел
Конспект лекций по курсу «Биология»
для студентов специальности 6-05-0521-02 Природоохранная
деятельность

Составитель: Босак В.Н., к.б.н., доцент

Рецензент: Шкуратова Н.В., к.б.н., доцент, Брестский государственный университет им.А.С. Пушкина

Тема 1. Предмет, методы и задачи биологии как науки.

Биология – наука о жизни, ее формах и закономерностях развития, поэтому она является естественной наукой. Одно из основных отличий естественных наук в том, что ответ на поставленный вопрос может быть получен экспериментальным путем. Предметом изучения биологии является многообразие живых организмов, живших в прошлые геологические эпохи и населяющих Землю в настоящее время, их строение, функции, происхождение, индивидуальное развитие, эволюция, распространение, взаимоотношения друг с другом и окружающей средой. Биология исследует обмен веществ и энергии, размножение, наследственность и изменчивость, рост и развитие, раздражимость, дискретность и др. Объектами исследований определяются ее основные направления: микробиология, вирусология, зоология, ботаника, антропология и др. При этом изучаются особенности происхождения, строения, развития, свойства, разнообразие и распространение видов. По форме, строению и проявлению жизни каждого организма в биологии выделяют: морфологию, анатомию, физиологию, генетику, биологию развития, эволюционное учение и экологию. В клетках, тканях, органах и в организме в целом протекают химические и физикохимические процессы, которыми занимаются такие науки, как биохимия и биофизика. Серийными явлениями и процессами, позволяющими устанавливать закономерности, а также обработкой результатов исследований занимаются биометрия и биологическая статистика. Исследование организма на молекулярном уровне, изучение структуры и функций клеток, тканей и органов выполняют молекулярная биология, цитология, гистология и анатомия. Популяциями и организмами их составляющими, закономерностями формирования, функционирования более высоких структурных уровней организации жизни занимается биогеоценология. Закономерности строения и функционирования, единые для всех организмов, разрабатывает общая биология. Таким образом, путь развития биологии – дифференцировка общих теорий и положений биологии на более частные, специальные дисциплины (рис. 1).

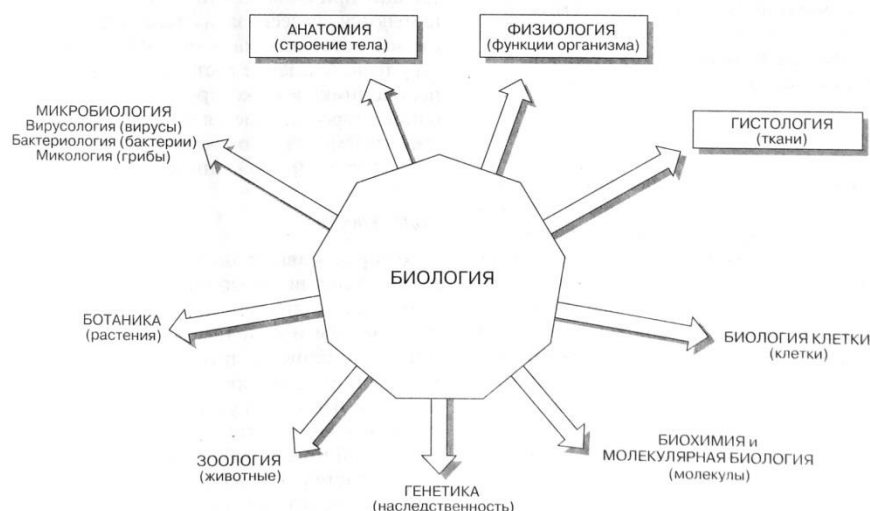


Рисунок 1. Наука биология и ее составляющие

Существует ряд методов биологических исследований: 1) исторический – позволяет понять процессы развития живой природы на основании сведений о прошлой и современной организации органического мира; 2) наблюдение – описываются различные биологические явления; 3) сравнение – помогает выявить общие закономерности строения и функционирования организмов; 4) эксперимент (опыт) – практический, путь проверки наблюдений и сравнений; 5) моделирование – имплантация процессов, недоступных для непосредственного наблюдения или проверки эксперимента. Велико значение биологии как науки в связи с познанием исторического развития органического мира, способности решать практические, жизненно важные задачи. Большое народнохозяйственное значение имеет ботаника, растениеводство, зоология, животноводство, опирающиеся на достижения генетики и селекции, способных создавать нужные сорта культурных растений и пород домашних животных. Эффективность борьбы с вредителями и болезнями культурных растений, паразитами домашних животных – результат биологических знаний. Синтез белков, ферментов, аминокислот, витаминов, разработки различных методов генной инженерии, заложивших основу принципов биотехнологии – достижения современной биологии нашедшие практическое применение. Успехи и открытия в биологии определили современный уровень медицинских наук. Они способствуют выявлению и устранению негативного воздействия человека на природную среду, что возможно при четком определении режимов рационального использования запасов биосферы. Еще одной из важнейших задач биологии является сохранность биосферы и обеспечение способности природы к самовоспроизведению. Жизнь как форма существования живой материи. Критерии живых систем. По определению К.Маркса, с точки зрения диалектического материализма, “Жизнь есть способ существования белковых тел” существенным моментом которого является постоянный обмен веществ с окружающей их внешней средой. С прекращением обмена веществ прекращается жизнь, что ведет к разрушению белков. По современным представлениям жизнь – это процесс

существования сложных биологических систем, состоящих из крупных органических молекул и способных самовоспроизводиться и поддерживать свое существование в результате обмена энергией и веществом с окружающей средой. Универсальные свойства живых организмов – критерии живых систем. Метаболизм. Все живые организмы способны к обмену веществ с окружающей средой, смысл биотических круговоротов – преобразование веществ. Репродукция, или самовоспроизведение. Размножение – это свойство организмов воспроизводить себе подобных. Наследственность – способность передавать свои признаки, свойства и особенности развития из поколения в поколение. Изменчивость – способность организмов приобретать новые признаки и свойства, отличающие их от родительских форм. Рост и развитие. Все организмы способны увеличивать свои размеры в определенный период онтогенеза. Развитие живой формы существования материи представлено индивидуальным развитием, или онтогенезом, и историческим развитием, или филогенезом. Раздражимость – способность живых организмов избирательно реагировать на внешние воздействия. Дискретность. Жизнь на земле проявляется в виде дискретных форм. Отдельный организм или иная биологическая система (вид и др.) состоит из отдельных, но тесно связанных и взаимодействующих между собой частей, образующих структурно-функциональное единство. Авторегуляция (саморегуляция). Способность живых организмов, обитающих в непрерывно меняющихся условиях окружающей среды, поддерживать постоянство своего химического состава и интенсивность течения физиологических процессов – гомеостаз. Ритмичность. Периодические изменения физиологических функций и формообразовательных процессов с различными периодами колебаний (от 1 секунды до столетия). Организм, как функциональная единица живой материи, является также и структурной единицей, определяющей уровни ее организации. Уровни организации живой материи. Молекулярный уровень означает, что любая живая система проявляется на уровне взаимодействия биологических макромолекул. На этом уровне исследуется роль белков, нуклеиновых кислот, липидов, полисахаридов и др. в развитии и росте организмов, хранении и передаче наследственной информации, в обмене веществ и превращении энергии в живых клетках и других явлениях. Субклеточный – процессы, протекающие в специализированных органоидах (митохондриях, хлоропластах, рибосомах и др.). Клеточный. Клетка – структурная и функциональная единица, а также единица размножения и развития всех живых организмов, обитающих на Земле. Организменный. Организм представляет собой целостную одноклеточную или многоклеточную живую систему, способную к самостоятельному существованию. Популяционно-видовой. Вид – совокупность особей, сходных по структурно-функциональной организации, имеющих одинаковый кариотип и единое происхождение, занимающих определенный ареал обитания, свободно скрещивающихся между собой и дающих плодовитое

потомство. Если организм должен умереть по исчерпанию генетической программы жизни, то популяция может существовать неограниченно долго, при определенных условиях. Биосферно-биогенетический, или экосистемный уровень – это самый высокий уровень организации живой материи, на котором изучаются взаимоотношения организма и среды, миграции живого вещества, пути и закономерности протекания энергетических круговоротов и другие процессы, происходящие в экосистемах.

Тема 2. Клетка – основа жизни. Основные положения клеточной теории

Будучи самой элементарной (мелкой) единицей организма клетка имеет все его основные признаки и наделены жизнью. Клетка способна осуществлять обмен веществ и энергии, размножение, рост, развитие, способна реагировать на раздражители. Одно из важнейших обобщений биологии – клеточная теория. В современном варианте теория утверждает, что все живые организмы (бактерии, растения, животные) состоят из клеток и продуктов их жизнедеятельности. Все клетки в основном сходны по химическому составу и обмену веществ, активность всего организма зависит от активности его клеток. Клетки впервые описал англичанин Роберт Гук в 1665 г. с помощью сконструированного им микроскопа. Он дал описание срезу пробковой ткани, которая состояла из мелких ячеек, похожих на пчелиные соты. Позднее клеточное строение растений подтвердили голландец А. Левенгук (1674), открывший бактерии и эритроциты, итальянец М. Мальпиги (1675) и англичанин Н. Грю (1682). В 1825 г. чешский ученый Я. Пуркинье открыл ядро в яйцеклетке птиц, а в 1931 г. англичанин Р. Броун описал ядро растительной клетки. Авторами клеточной теории считаются ботаник М. Шлейден и зоолог Т. Шванн, которые в 1838 г. впервые констатировали, что растения и животные – это скопление клеток, расположенных в определенном порядке. Химические элементы клеток. Химию живых существ отличают две особенности: во-первых, все живые существа состоят из воды – главным образом; во-вторых, молекулы живых веществ, свойственных только живому, имеют углеродные скелеты. Периодическая таблица химических элементов Д.И. Менделеева содержит более 100 элементов. В клетках обнаружено около 70, но лишь 24 из них имеют установленные значения и встречаются в живых организмах постоянно.

Жизненный состав эукариотических и прокариотических клеток отличается лишь по таким компонентам клетки, как белки преобладают у млекопитающих нуклеоикислоты– преобладают у бактерий и липиды – преобладают у млекопитающих.

Клеточные вещества состоят из неорганических и органических соединений. Первые – это минеральные соли и вода, вторые – углеродные соединения (углеводы, липиды, белки, нуклеиновые кислоты и др.). У прокариот и у эукариот около 70% от массы клетки приходится на долю

воды. Биологическая роль воды в клетках и в организме в целом очень высока и определяется ее химическими и структурными свойствами.

Таблица 2.1. Элементы, встречающиеся в живых организмах

Главные элементы органических молекул	Ионы	Микроэлементы	
H (водород)	Na ⁺ (натрий)	Mn (марганец)	B (бор)
C (углерод)	Mg ²⁺ (магний)	Fe (железо)	Al (алюминий)
N (азот)	Cl ⁻ (хлор)	Co (кобальт)	Si (кремний)
O (кислород)	K ⁺ (калий)	Cu (медь)	V (ванадий)
P (фосфор)	Ca ²⁺ (кальций)	Zn (цинк)	Mo (молибден)
S (сера)			I (иод)

Прежде чем перейти к характеристике этих свойств воды необходимо остановиться на строении атомов основных химических элементов клетки и химических связях между атомами, в том числе и между атомами водорода и кислорода, из которых состоит молекула воды. Атом как единица вещества очень мал. Например, диаметр атома водорода в полтора раза меньше десятиллионной доли миллиметра. В результате расщепления атомов получены три вида частиц: положительно заряженные – протоны (p), отрицательно заряженные – электроны (e), нейтральные, не несущие зарядов – нейтроны (n). В центре атома находится ядро, окружающее протоны и нейтроны, а снаружи – электронные оболочки, или электронные орбиты, на которых вращаются электроны. Самое простое строение имеет атом водорода – в ядре отсутствуют нейтроны. Атомы всех других элементов содержат нейтроны. Атомы с одинаковым числом протонов принадлежат к одному и тому же элементу. Для стабильности атома его внешний уровень (оболочка) должен быть заполнен определенным числом электронов. Атомы с незаполненными внешними уровнями могут принимать или отдавать электроны, образуя химические связи. Химические соединения живых организмов и их клеток образуются за счет трех типов связей: Ионная связь образуется, когда атом отдает другому атому один или несколько электронов, в результате каждый из атомов имеет стабильный набор электронов. В органических молекулах эта связь основана на взаимодействии противоположно заряженных групп молекул (например, COO^- и NH_3^+). Ковалентная связь образуется за счет обобществления пары электронов. Если

эта связь образована атомами разных элементов, то она полярна, так как один из элементов притягивается ядром атома сильнее. Например, HCl – полярная ковалентная связь. Полярные связи имеют частично положительный (+) и частично отрицательный (–) заряды. Водородная связь играет важную роль в живых системах и их клетках. Эту связь образует атом водорода, соединенный полярной ковалентной связью с каким-нибудь другим атомом (обычно – с кислородом или азотом) таким образом, что водород несет частично положительный заряд. Водородная связь менее прочна, чем ионная и ковалентная, поэтому часто рвется. Именно множество таких слабых связей способно проявить силу, на которой держится жизнь. В химии существует такое понятие как валентность – химическое свойство элементов, которое определяется числом атомов водорода, с которыми соединяется один атом данного элемента. Валентность – мера устойчивости. Например, углерод, четырехвалентен (C^4), азот трехвалентен (N^3), кислород двухвалентен (O^2) и водород одновалентен (H^1). Наиболее распространены в живых системах четыре элемента: водород, углерод, кислород, азот – в порядке убывающего числа атомов. На их долю приходится более 90% как массы, так и числа атомов, входящих в состав всех живых организмов. Биологическое значение этих элементов в их валентности, равной соответственно 1, 4, 2, 3 и так же их способностью образовывать более прочные ковалентные связи, нежели связи, образуемые другими элементами той же валентности. Наиболее уникальными химическими свойствами для живых систем обладает углерод (C). Изучением углерода и его соединений занимается отдельная отрасль химии – органическая химия. Уникальность химических свойств углерода заключается в том, что его атомы сравнительно малы и атомная масса невелики. Он способен образовывать четыре прочные ковалентные связи. Например, Он образует углерод-углеродные связи, строя таким путем длинные углеродные скелеты молекул в виде цепей или колец. Например, неразветвленная цепь разветвленная цепь цепь с двойной связью шестиугольное (бензол) кольцо.

Содержание воды в клетках разных тканей организма различно. В клетках костной ткани содержится около 20%, жировой – около 40, в мышечных клетках – 76, в клетках развивающегося зародыша – более 90% воды. Наличие воды – главное условие активности клеток, т.е. функциональная активность организма находится в прямопропорциональной зависимости от содержания в них воды. Структурные и химические свойства воды определяют ее роль в клетке. Эти свойства связаны с малыми размерами молекул воды, их полярностью и способностью соединяться друг с другом водородными связями (рис.2).

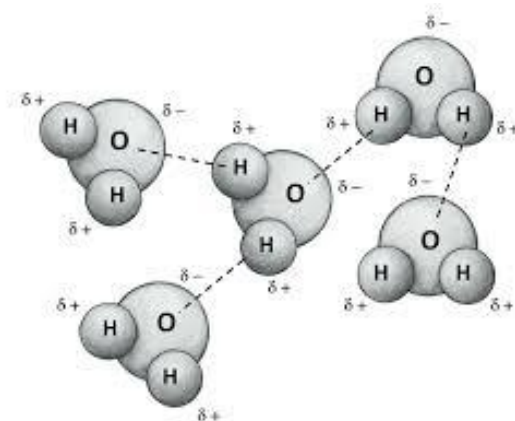


Рисунок 2. Водородные связи

В жидкой воде слабые водородные связи быстро образуются и быстро разрушаются. Соединяясь с сильноотрицательным атомом кислорода или азота, атом водорода приобретает сильно положительный заряд, что способствует ему создавать вторую связь с другим электроотрицательным атомом. Молекула воды, у которой один конец несет положительный заряд и другой – отрицательный, называют диполем. Дипольное состояние молекулы воды подтверждается в опытах с анионами и катионами (рис.5). Как видно из рисунка более отрицательные атомы кислорода молекул воды обращены в сторону катиона, и вокруг аниона они направлены, наоборот, наружу. Это наблюдается, когда ионные соединения растворяются в воде. Вследствие присущей им полярности, молекулы воды ослабляют притяжение между ионами противоположного знака, а затем окружают ионы и удерживают их на определенном расстоянии друг от друга. В этих случаях принято говорить, что ионы гидратированы.

Гидрофобные взаимодействия. Неполярные молекулы и части молекул (например, углеродные цепи) в таком полярном растворителе, как вода, прочно удерживаются вместе потому, что не взаимодействуют с молекулами воды; они нерастворимы в воде – гидрофобны. Неполярные соединения образуют в воде поверхность раздела, что очень важно для живых организмов. Вода обеспечивает взаимодействие гидрофобным веществам (липидам и др.). Этот факт обеспечивает сохранение стабильности мембран клеток, молекул белка, РНК и ДНК, а также других субклеточных образований. В водном растворе нековалентные связи (ионные, водородные, гидрофобные) примерно в 100 раз слабее ковалентных. В совокупности эти связи определяют структуру макромолекул и, как следствие, их функции. Молекулы воды способны слипаться между собой (когезия) и с другими веществами (адгезия). Это свойство воды имеет важное значение в клетках животных и растений. У последних оно способствует движению ксилемного сока.

Вода имеет большую удельную теплоемкость. Удельная теплоемкость – это количество тепла (в джоулях) необходимое для нагревания 1 кг воды на 1°C и оно равно 4,19 Дж. Тем самым вода регулирует биохимические процессы, которые изменяют температуру организма. Высокая теплота

испарения воды – за счет водородных связей, обеспечивает высокую температуру кипения (100° при 760 мм рт.ст.).

Испарение сопровождается охлаждением – это важно для растений при транспирации через устьица, а у животных при потоотделении. При испарении 1 г воды поглощается 2224 Дж – скрытая теплота парообразования. Наибольшую плотность вода имеет при температуре $+4^{\circ}\text{C}$. При понижении температуры до 0°C плотность воды снижается, поэтому лед не тонет. Лед играет защитную роль для водных экосистем. В процессе эволюции химических соединений до пробионтов и последних до первых организмов суши вода (мировой океан) служила мощным экраном для губительного действующего ультрафиолетового излучения в условиях отсутствия озонового экрана.

В первой половине XIX в. происходило углубление представлений о строении клетки, что связано с существенными улучшениями конструкции микроскопов. В клетках были обнаружены ядро и некоторые другие структуры. До этого считалось, что живыми являются клеточные стенки, а внутри клетки или пусты, или заполнены «питательным соком». В 1840-х гг. ученые пришли к пониманию того, что важнейшие процессы жизнедеятельности протекают именно внутри клеток, а не в клеточных стенках.

В 1825 г. чешский анатом и физиолог Я. Пуркине открыл ядро в яйцеклетке курицы. Позже он пришел к выводу, что именно внутреннее содержимое клеток, а не их оболочки, представляет собой живое вещество. Пуркине и его ученики исследовали микроскопическое строение ряда тканей и органов млекопитающих и человека. Однако, сравнивая клетки животных с клетками растений, Пуркине все же не пришел к выводу об их сопоставимости и единстве происхождения.

Британский ботаник Р. Броун в 1831 г. ввел термин «ядро» и описал его как сферическое плотное внутриклеточное тельце. Он же высказал предположение о том, что ядро является постоянным компонентом растительной клетки.*

В 1838 г. немецкий ботаник М. Шлейден доказал, что различные органы растений состоят из клеток. Кроме того, ученый указал на значимость ядра для жизнедеятельности клеток.

Создателем **клеточной теории** стал немецкий зоолог Т. Шванн. Он установил, что ткани животных состоят из клеток, каждая из которых имеет ядро. Сопоставляя собственные наблюдения с трудами Шлейдена, Шванн пришел к выводу о том, что на микроскопическом уровне животные и растения устроены по единому плану. В 1839 г. была опубликована его книга «Микроскопические исследования о соответствии в структуре и росте животных и растений». В этой книге были выражены основные идеи клеточной теории: все организмы состоят из клеток, при этом клетки растений и животных сходны по строению и процессам жизнедеятельности. Создание клеточной теории было одним из величайших открытий в

естествознании XIX в., наряду с эволюционной теорией и законом сохранения и превращения энергии.

Главной ошибкой Шванна было высказанное вслед за Шлейденом мнение о том, что клетки растений и животных возникают из бесструктурного неклеточного вещества. Интересно, что именно этот ошибочный взгляд на способ образования клеток позволил Шванну прийти к выводу об их сходстве у растений и животных.*

В 1855 г. немецкий врач Р. Вирхов дополнил клеточную теорию. Он сформулировал принцип «Каждая клетка – от клетки», т. е. клетки образуются из других клеток в результате деления. *Вирхов также предположил, что в основе всех заболеваний лежит изменение структуры и функций клеток. Клеточная теория в толковании Вирхова стала общепринятой основой как биологии, так и медицины.*

В дальнейшем учение о клетке оказалось в центре внимания всей биологической науки и бурно развивалось. Для изучения клеток и их компонентов стали использовать разнообразные физические и биохимические методы. Это позволило понять сложность строения клеток и многообразие протекающих в них процессов.

Клеточная теория, главные положения которой были сформулированы в середине XIX в., является одной из основополагающих идей современной биологии. Она утверждает единство принципа строения и развития всех организмов, имеющих клеточное строение. Клеточная теория стала одной из предпосылок возникновения эволюционного учения, фундаментом для развития таких дисциплин, как гистология (наука о тканях), эмбриология (наука о зародышевом развитии организмов), физиология и др.

Современная клеточная теория включает следующие основные положения.

1. Клетка – элементарная структурно-функциональная единица живых организмов, обладающая всеми признаками и свойствами живого.
2. Клетки всех организмов сходны по химическому составу, строению и процессам жизнедеятельности.
3. Все клетки образуются только в результате деления исходных (материнских) клеток.
4. Клетки большинства многоклеточных организмов специализируются по функциям и образуют ткани. Из тканей состоят органы и системы органов.

Тема 3. Химические компоненты клетки

Изучение химии живых организмов – биохимии тесно связано с общим развитием биологии в нашем веке. Значение биохимии в том, что она дает фундаментальное понимание физиологии, иными словами, понимание того, как работают биологические системы. Интересно то, что при рассмотрении живых организмов на уровне биохимии становятся все более очевидным не различия, а сходство организмов. Простые органические соединения мы находим во всех организмах (мономеры – “строительные блоки”). Из них

строятся более крупные соединения – макромолекулы. Макромолекула – это гигантская молекула, построенная из многих повторяющихся единиц; следовательно она представляет собой полимер, и звенья, из которых она состоит – мономеры. Макромолекулы составляют около 90% сухой массы клеток. Одним из ключевых обстоятельств, связанных с органическими соединениями, является то, что нуклеиновые кислоты и белки могут рассматриваться как информационные молекулы. Полисахариды таковыми не являются. Информационность молекул нуклеиновых кислот и белков означает, что в них важна последовательность мономерных звеньев и то, что в них она варьирует сильнее, чем в полисахаридах.

В живых организмах органические вещества представлены молекулами как с относительно низкой молекулярной массой, так и высокомолекулярными, т. е. макромолекулами (греч. «макрос» – большой). Высокомолекулярные органические соединения, молекулы которых состоят из большого числа повторяющихся единиц одинакового или различного строения, называются биополимерами (греч. «биос» – жизнь, «полис» – многочисленный).

Структура и процессы жизнедеятельности в живых организмах определяются, прежде всего, биополимерами. К биополимерам относятся полисахариды, белки и нуклеиновые кислоты. Отдельные единицы полимера называются мономерами.

Мономеры (греч. «монос» – один) – это относительно небольшие молекулы, которые могут связываться с такими же или подобными им молекулами ковалентной связью. Мономерами полисахаридов являются моносахариды, белков – аминокислоты, нуклеиновых кислот – нуклеотиды. Реакция взаимодействия между мономерами называется реакцией полимеризации, а обратный процесс разделения макромолекулы до мономеров – гидролизом (при полимеризации выделяется молекула воды, при гидролизе – вода поглощается). На свойства и функции биополимеров влияет их конформация – взаиморасположение частей макромолекулы в пространстве. Пространственная укладка определяется возникновением слабых связей (водородных, ионных, гидрофобных и др.) между мономерами, расположенными на некотором удалении друг от друга. Для правильной (нативной) конформации необходимы и определенные условия среды (температура, кислотность и др.). Изменение этих условий, а также влияние инфракрасного, ультрафиолетового излучения, действие тяжелых металлов, органических растворителей и пр., нарушает конформацию. Процесс нарушения природной конформации под влиянием каких-либо факторов называется денатурацией. При этом разрываются слабые связи и молекула меняет форму. Если не нарушена первичная структура молекулы (не разорваны ковалентные связи между мономерами) и восстановлены нормальные условия, денатурация может быть обратимой. Этот процесс носит название ренатурация. Но если действие разрушающего агента

продолжительное или очень сильное, происходит разрушение первичной структуры молекулы – деструкция. Этот процесс необратим.

В некоторых углеводах и липидах запасается энергия, которая при необходимости может быть извлечена в процессе их расщепления. Среди углеводов растений важную роль играет такой полисахарид, как целлюлоза, несущая опорные функции.

Липиды представляют собой неполярные соединения, и поэтому нерастворимы в воде; эти соединения – необходимые компоненты всех биологических мембран. К липидам относятся также и некоторые важные гормоны.

Белки и нуклеиновые кислоты выполняют главные функции в управлении ростом, метаболизмом и размножением. Ферменты – это белковые катализаторы; тысячи ферментов, которыми оснащены клетки, дают им возможность быстро осуществлять химические реакции при низких температурах. Важное место среди белков занимают также структурные белки, гормоны и токсины.

3.1. Углеводы, их структура и свойства

Углеводами (сахаридами) называют вещества с общей формулой $C_x(H_2O)_y$, где x и y могут иметь разные значения. Название “углеводы” отражает тот факт, что водород и кислород присутствуют в молекулах этих веществ в том же соотношении, что и в молекуле воды. Все углеводы являются либо альдегидами, либо кетонами (рис. 3.1). Химические свойства углеводов определяются именно этими группами. Альдегиды, например, легко окисляются и поэтому являются мощными восстановителями. Кроме того, в органических соединениях встречаются и другие химические группы.

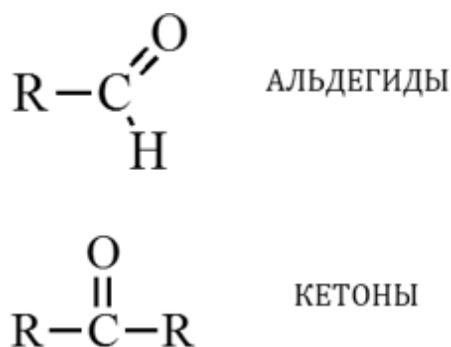


Рисунок 3.1 Альдозы и кетозы

Углеводы входят в состав всех живых организмов. В сухом остатке животной клетки содержание углеводов не превышает 10% (иногда 5%), в растительной их содержание может достигать 90% сухой массы (клубни картофеля, семена). Выделяют 3 класса углеводов: 1) моносахариды, или простые сахара; 2) олигосахариды; 3) полисахариды.

Моносахариды содержат от трех до семи атомов углерода (C_3 –триозы, C_4 –тетрозы, C_5 – пентозы, C_6 – гексозы, C_7 –гептозы). Это бесцветные

кристаллические вещества, легко растворимые в воде и имеющие сладкий вкус.

Функции моносахаридов очень разнообразны, лишь тетразы встречаются в природе очень редко, в основном у бактерий. Наиболее распространены пентозы – рибоза и дезоксирибоза и гексозы – глюкоза, фруктоза, галактоза. Рибоза входит в состав РНК, АТФ, рибофлавина (витамина В₂), ряда ферментов. Дезоксирибоза входит в состав ДНК. Глюкоза (виноградный сахар) содержится в клетках всех организмов. Она является наиболее распространенным субстратом клеточного дыхания, т. е. источником энергии. Глюкоза – мономер полисахаридов крахмала, гликогена, клетчатки (целлюлозы), гемицеллюлозы. Фруктоза присутствует в вакуолях клеток растений. Особенно ее много в ягодах, фруктах, меде. Входит в состав сахарозы, олиго- и полисахаридов. В виде фосфорных эфиров участвует в превращениях резервных полисахаридов крахмала и гликогена в процессах дыхания и спиртового брожения. Галактоза входит в состав некоторых дисахаридов (например, лактозы) и полисахаридов (агар-агара, слизей, гемицеллюлозы).

При растворении в воде моносахариды, начиная с пентоз, приобретают циклическую структуру. Лишь небольшая часть молекул существует в виде открытой цепи (рис. 3.2).

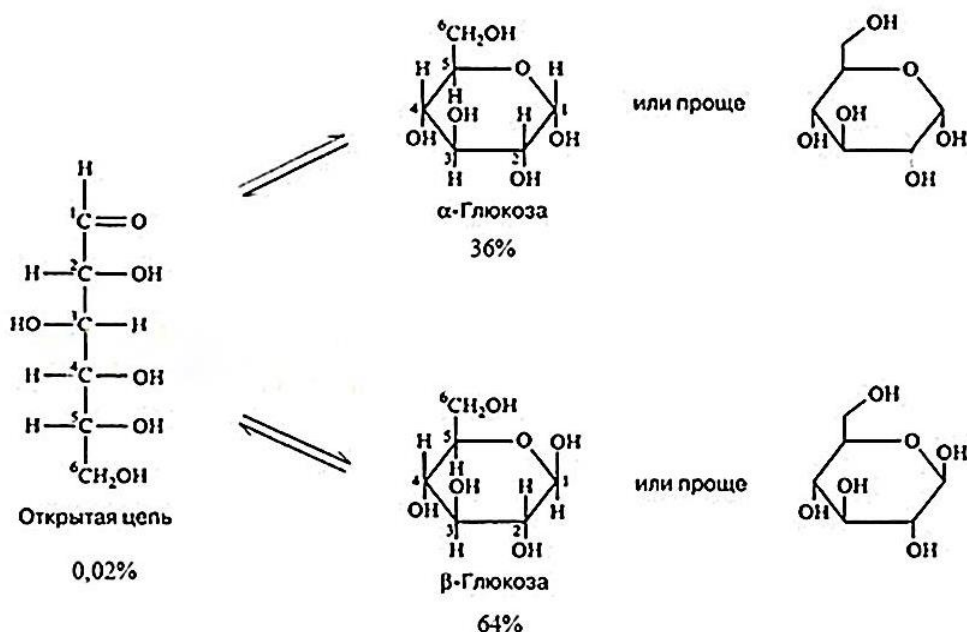


Рисунок 3.2 Открытая и циклические формы глюкозы

Олигосахариды – соединения, состоящие из 2–10 последовательно соединенных ковалентными связями молекул простых сахаров. Связь между двумя моносахаридами называется гликозидной. Обычно она образуется между 1 и 4-м углеродными атомами соседних моносахаридов. Если в одной молекуле объединяются 2 моносахарида, такое соединение называют дисахаридом. К олигосахаридам относится дисахарид мальтоза (солодовый сахар), который состоит из двух молекул глюкозы. Он является

промежуточным продуктом расщепления крахмала в ходе обмена веществ у растений и животных, а также основным источником энергии в прорастающих семенах и клубнях. Лактоза (глюкоза + галактоза) – молочный сахар, является источником углеводов для детенышей млекопитающих, в т. ч. человека. Молоко содержит около 5% лактозы. Сахароза (глюкоза + фруктоза) – тростниковый или свекловичный сахар, встречается только в растениях. Игрет огромную роль в питании человека: сахарный песок, сахар-рафинад на 99% состоят из сахарозы.

Полисахаридами называются сложные углеводы, образованные многими (до нескольких сотен или тысяч) моносахаридами одного или разных типов. Полисахариды различаются между собой составом мономеров, длиной и степенью разветвления цепей. Полисахариды имеют линейную, неразветвленную (целлюлоза, хитин) либо разветвленную (гликоген, крахмал) структуры. С увеличением молекулярной массы уменьшается растворимость и теряется сладкий вкус углеводов. Поэтому в отличие от моно- и олигосахаридов полисахариды практически не растворимы в воде и не имеют сладкого вкуса. Крахмал и гликоген являются полимерами α -глюкозы. Крахмал имеет разветвленную структуру, цепи гликогена ветвятся еще сильнее. Крахмал – наиболее распространенный резервный полисахарид растительных клеток. Он запасается в листьях, семенах, клубнях. Особенно много крахмала в зерновых культурах (до 75% сухой массы), клубнях картофеля (65%). Гликоген – резервный полисахарид, содержащийся в тканях животных и человека (в основном в печени и мышцах), в грибах, бактериях, цианобактериях. При необходимости может быстро распадаться с образованием глюкозы. Целлюлоза является неразветвленным полимером β -глюкозы. Из нее состоят клеточные стенки растительных клеток. Это прочный, волокнистый, нерастворимый в воде полисахарид. Древесина, хлопок состоят в основном из целлюлозы. Хитин по своей структуре и функциям близок к целлюлозе. Он образует покровы тела членистоногих, является основным компонентом клеточной стенки грибов и некоторых протистов. Муреин является гетерополисахаридом. Он представлен гигантской молекулой, состоящей из сети полисахаридных цепей, соединенных между собой. Участвует в образовании клеточной стенки бактерий. Углеводы в комплексе с белками образуют гликопротеиды, а с липидами – гликолипиды.

Функции углеводов. В живых организмах углеводы выполняют различные функции, но основными являются энергетическая и структурная (строительная).

Энергетическая функция. Углеводы под влиянием ферментов легко расщепляются и окисляются с выделением энергии. При полном окислении 1 г углеводов высвобождается 17,6 кДж энергии. Углеводы способны расщепляться как при наличии кислорода, так и без него. Это имеет значение для организмов, живущих в условиях дефицита кислорода. Крахмал и гликоген составляют энергетический запас в клетках.

Структурная функция. Углеводы используются в качестве строительного материала. Целлюлоза входит в состав клеточных оболочек растений (20–40%), некоторых протистов, поэтому оболочки растительных клеток надежно защищают внутриклеточное содержимое и поддерживают форму клеток. Хитин является компонентом покровов членистоногих и клеточных оболочек некоторых грибов и протистов.

Рецепторная функция. Некоторые олигосахариды входят в состав цитоплазматической мембраны клеток животных и образуют надмембранный комплекс – гликокаликс. Углеводные компоненты цитоплазматической мембраны воспринимают сигналы из окружающей среды и передают их в клетку.

Метаболическая функция. Моносахариды являются основой для синтеза многих органических веществ в клетках – полисахаридов, нуклеотидов, спиртов, аминокислот и др.

Запасающая функция. Полисахариды являются запасными питательными веществами всех организмов: у растений – крахмал, у животных и грибов – гликоген. В корнях и клубнях некоторых растений, например, георгинов, запасается инулин (полимер фруктозы).

Защитная функция. Камеди (смолы, выделяющиеся при повреждении деревьев, например вишен, слив), являющиеся производными моносахаридов, препятствуют проникновению в раны болезнетворных микроорганизмов. Твердые клеточные оболочки протистов, грибов и покровы членистоногих, в состав которых входит хитин, тоже выполняют защитную функцию.

3.2. Липиды

Липиды (от греч. «липос» – жир) – обширная группа жиров и жироподобных веществ, которые содержатся во всех клетках живых организмов. Их молекулы неполярны либо имеют неполярные участки. Они хорошо растворимы в неполярных растворителях (бензине, хлороформе, эфире 17 и др.), но нерастворимы в воде, т. е. гидрофобны. В воде они собираются в капли или образуют эмульсии. Человек, как и многие другие позвоночные животные, может усваивать липиды только в виде эмульсий. Для этого в пищеварительном тракте липиды эмульгируются желчными кислотами и в таком виде всасываются.

В некоторых клетках липидов очень мало (от 5 до 15 % сухой массы). А вот в клетках жировой ткани их содержание достигает 90 %. Повышенное содержание жиров наблюдается в нервной ткани, подкожной клетчатке, молоке млекопитающих, семенах и плодах некоторых растений (подсолнечнике, грецких орехах, маслинах и др.).

Так как липиды – органические вещества, основой строения их молекул является цепочка связанных между собой атомов углерода. В химическом отношении большинство липидов представляет собой сложные эфиры высших карбоновых (жирных) кислот и ряда спиртов.

В карбоновых кислотах углеродные атомы связаны с атомами водорода и на одном из концов молекулы несут кислотную группу (-COOH). Именно она способна легко связываться с молекулами других веществ. Благодаря такому строению карбоновые кислоты могут быть компонентами более сложных веществ.

Атомы углерода в молекулах высших карбоновых кислот могут быть соединены друг с другом как простыми, так и двойными связями. В первом случае такие кислоты называются предельными, или насыщенными (пальмитиновая, стеариновая, арахидоновая); во втором – непредельными, или ненасыщенными (олеиновая, линолевая, линоленовая).

По химическому строению липиды разнообразны. Наиболее важными из них являются нейтральные жиры, фосфолипиды, воски, стероиды. Нейтральные жиры – наиболее простые и широко распространенные липиды. Их молекулы образуются в результате присоединения к молекуле спирта глицерина трех остатков одинаковых, но чаще – разных, высших карбоновых кислот (рис. 3.3).

Степень насыщенности и длина углеродных цепей высших карбоновых кислот определяют физические свойства того или иного жира. Для жиров с короткими углеродными цепями, содержащими преимущественно остатки непредельных высших карбоновых кислот, характерна 18 низкая температура плавления. При комнатной температуре они имеют жидкую (масла) либо мазеподобную (жиры) консистенцию.

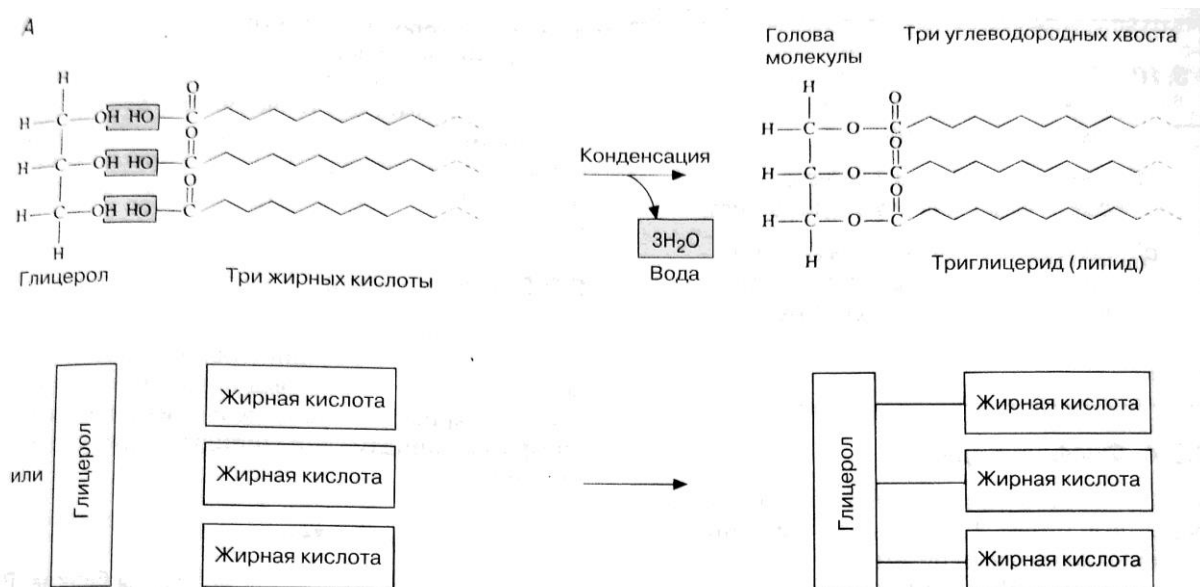


Рисунок 3.3 Образование триглицерида из глицерола и 3-х жирных кислот путем трех реакций конденсации

Жиры с длинными цепями, содержащими остатки предельных кислот, при комнатной температуре представляют собой твердые вещества. У рыб арктических морей обычно содержится больше ненасыщенных кислот, чем у обитателей южных широт, поэтому их тело остается гибким и при низких температурах.

Фосфолипиды сходны с жирами, но в их молекуле один или два остатка высших карбоновых кислот замещены остатком фосфорной кислоты. Фосфолипиды – амфифильные (имеющие двойственную природу) соединения. Они имеют полярные головки, роль которых играет фосфатная группа, и два углеводородных хвоста (остатки жирных кислот). Головки гидрофильны (растворимы в воде), а хвосты гидрофобны (нерастворимы в воде). Это обуславливает ключевую роль фосфолипидов в организации биологических мембран.

Воски – сложные эфиры одноатомных (с одной спиртовой группой) высокомолекулярных (имеющих длинную углеродную цепь) спиртов и высших карбоновых кислот. У животных воски входят в состав липидных фракций мозга, лимфатических узлов, селезенки, желчных путей. У млекопитающих воски выделяются сальными железами кожи. Они смазывают кожу и волосы, делая их эластичными и уменьшая снашиваемость волосяного покрова. У птиц воски, секретируемые копчиковой железой, придают перьям водоотталкивающие свойства. Образующийся пчелами воск используется в строительстве сот. Восковой слой покрывает листья наземных растений и поверхность тела наземных членистоногих, предохраняя от излишнего испарения воды.

Стероиды и терпены являются сложными циклическими соединениями. Их можно отнести к липидам, исходя из того, какие вещества участвуют в их синтезе, хотя молекулы стероидов и терпенов не содержат жирных кислот. Они плохо растворимы в воде. Наиболее важными стероидами являются стеринны (например, холестерин), желчные кислоты (компоненты желчи), стероидные гормоны (половые гормоны, гормоны коры надпочечников). К стеринам близки терпены (гидбереллины – ростовые вещества растений; фитол входит в состав хлорофилла; каротиноиды – фотосинтетические пигменты; эфирные масла растений, содержащие ментол у мяты, камфору у сосны; натуральный каучук).

Липиды способны образовывать сложные соединения с веществами других классов: с белками – липопротеины, с углеводами – гликолипиды.

Функции липидов.

Энергетическая. При окислении 1 г жира до углекислого газа и вода выделяется 38,9 кДж энергии. Это дает возможность животным, впадающим в спячку, поддерживать процессы жизнедеятельности в зимний период. Высокое содержание липидов в семенах обеспечивает энергией развитие зародыша и проростка. Семена некоторых растений (кокосовой пальмы, подсолнечника, сои, рапса, льна) служат сырьем для промышленного получения растительного масла.

Структурная (строительная). Нерастворимость липидов в воде делает их важнейшими компонентами клеточных мембран (фосфолипиды, холестерин, липопротеиды, гликолипиды).

Защитная функция заключается в том, что они предохраняют внутренние органы от механических повреждений (например, почки

человека покрыты жировым слоем, защищающим их от травм, сотрясения при ходьбе и прыжках).

Теплоизоляционная функция. Накапливаясь в подкожной жировой клетчатке некоторых животных (китов, тюленей) и птиц (пингвинов, уток), жиры плохо пропускают тепло и надежно защищают от охлаждения.

Регуляторная функция. Многие производные липидов (например, гормоны коры надпочечников, половых желез, витамины А, Д, Е, К) принимают участие в регуляции обмена веществ у животных и человека, процессов линьки у насекомых и др.

3.3. Аминокислоты. Белки

Белки – биологические полимеры, мономерами которых являются аминокислоты.

Аминокислоты – низкомолекулярные органические соединения, содержащие одновременно карбоксильную ($-\text{COOH}$) и аминную ($-\text{NH}_2$) группы, которые связаны с одним и тем же атомом углерода (рис.3.4). К этому же атому углерода присоединяется боковая цепь – радикал (R), придающая каждой аминокислоте определенные свойства. Аминогруппа обладает основными свойствами, а карбоксильная – кислотными. Если аминокислоты имеют одну карбоксильную группу и одну аминогруппу, они называются нейтральными.

Существуют также основные аминокислоты – с более чем одной аминогруппой, и кислые – с более чем одной карбоксильной группой.

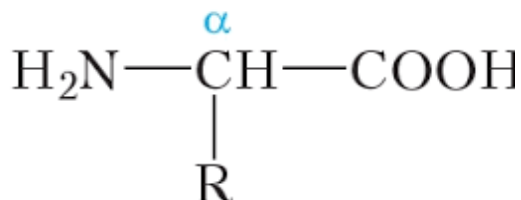


Рисунок 3.4 Общая формула аминокислот

Известно около 200 аминокислот, встречающихся в живых организмах, но только 20 из них входят в состав белков. Такие аминокислоты называются белокобразующими. У растений все необходимые аминокислоты синтезируются из первичных продуктов фотосинтеза. Человек и животные не способны синтезировать ряд аминокислот и должны получать их в готовом виде вместе с пищей. Такие аминокислоты называются незаменимыми. К ним относятся лизин, валин, лейцин, изолейцин, треонин, фенилаланин, триптофан, метионин; для детей незаменимыми являются также аргинин и гистидин.

В ходе образования белка аминокислоты взаимодействуют между собой, образуя пептидные связи. Пептидная связь – ковалентная связь между остатком карбоксильной группы одной аминокислоты ($-\text{COOH}$) и остатком аминогруппы другой аминокислоты ($-\text{NH}_2$). В ходе этой реакции выделяется молекула воды. Если соединяются две аминокислоты, образующаяся молекула представляет собой дипептид, а связь $-\text{CO}-\text{NH}-$ называется

пептидной. Если таким образом соединяется 10–15 аминокислот, то образуется олигопептид (греч. «олигос» – немного) (рис. 3.5).

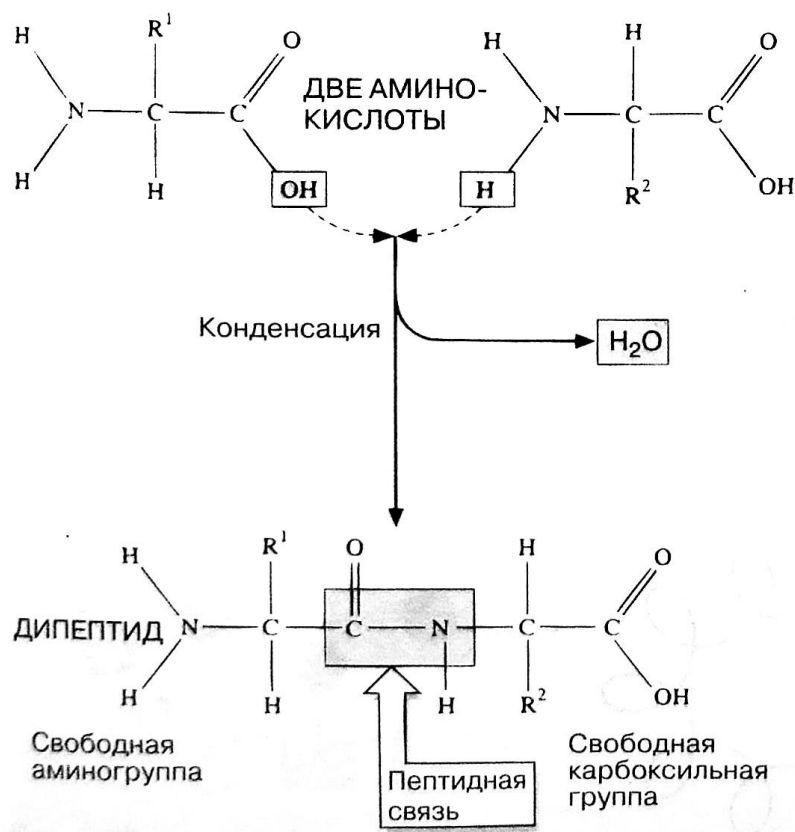


Рисунок 3.5 Образование дипептида

К олигопептидам относятся, например, гормоны гипофиза окситоцин и вазопрессин, а также брадикинин (пептид боли) и некоторые опиаты, выполняющие функцию обезболивания.

Полипептиды содержат большое число аминокислот (от 50 до нескольких тысяч). В отличие от белков, в состав пептидов могут входить не только белкообразующие аминокислоты, но и другие аминокислоты, а также их производные. К пептидам относятся многие биологически активные вещества, важнейшие гормоны (инсулин, глюкагон, вазопрессин), антибиотики и пр.

В состав белков могут входить лишь 20 так называемых белкообразующих аминокислот. Белки делят на простые и сложные. Простые состоят только из аминокислот. Простыми белками являются сывороточный альбумин крови, фибрин, некоторые ферменты (трипсин) и др. Сложные белки в своем составе имеют остатки иных органических и неорганических веществ: фосфопротеиды содержат остаток фосфорной кислоты (казеин молока, белки яичного желтка); нуклеопротеиды – остаток нуклеиновой кислоты; гликопротеиды содержат углеводы (некоторые гормоны, антитела, рецепторы); липопротеиды – липиды (входят в состав биологических мембран) и т. д.

Белками называют полипептиды, имеющие также определенную компактную пространственную структуру. Для нормального функционирования белковой молекулы важна ее правильная конформация.

Уровни пространственной организации белков. *Первичная структура.* Под ней понимают линейную последовательность аминокислот, соединенных друг с другом пептидными связями в полипептидную цепь. Первичная структура специфична для каждого белка и определяется генетической информацией. От первичной структуры зависят свойства и функции белков. Замена даже одной аминокислоты может изменить функцию белка.

Вторичная структура. Для всех белков в живых клетках характерна не только первичная, но и вторичная структура. Полярность пептидных групп (возле атома О собирается отрицательный заряд, а у N – положительный) обуславливает возможность возникновения водородных связей между этими группами разных аминокислот. Упорядочивание полипептидных цепей при помощи этих связей образует вторичную структуру. Она может представлять собой спиральную конфигурацию (α -спираль) или складчатый слой (β -слой). α -спираль напоминает растянутую пружину и возникает в результате образования водородных связей между остатком карбоксильной группы одной аминокислоты и остатком аминогруппы другой аминокислоты соседнего витка. Такую конфигурацию имеет белок кератин (структурный белок волос, шерсти, ногтей, когтей, перьев и т. д., входит в состав наружного слоя кожи позвоночных), фибриноген (белок плазмы крови, участвующий в образовании тромба), инсулин. Также спиральная вторичная структура характерна для таких фибриллярных (нитевидных) белков, как миозин, коллаген, эластин. Они придают тканям жесткость, прочность, эластичность. β -слой напоминает гармошку. В этом случае несколько полипептидных цепей (или участков одной полипептидной цепи) лежат параллельно, но по своему направлению противоположны (антипараллельны). Водородные связи возникают между остатками карбоксильных и аминогрупп аминокислот, входящих в различные цепи. Такую структуру имеет, например, белок фиброин, составляющий основную массу шелкового волокна, выделяемого шелкоотделительными железами гусеницы шелкопряда.

Третичная структура. Большинство белков особым образом свернуто в компактное шаровидное образование – глобулу. Эта структура стабилизируется благодаря взаимодействиям между радикалами разных аминокислот. К таким взаимодействиям относятся ионные (возникшие между противоположно заряженными аминокислотными остатками), водородные и ковалентные дисульфидные связи S-S («дисульфидные мостики», образующиеся между атомами серы, входящими в состав аминокислоты цистеина). Также важны гидрофобные взаимодействия (образуются между неполярными радикалами в водной среде). Третичную структуру имеют такие белки, как миоглобин (белок, который участвует в

создании запасов кислорода в мышцах) и трипсин (фермент, расщепляющий белки в кишечнике).

Четвертичная структура. Некоторые белки образуются при объединении нескольких полипептидных цепей с третичной структурой. Эти комплексы стабилизированы не ковалентными связями между субъединицами, а взаимодействием слабых межмолекулярных сил. Например, белок гемоглобин, содержащийся в эритроцитах, состоит из четырех белковых субъединиц (глобул) и небелковой части –гема.

Свойства белков. Белки, как и другие неорганические и органические соединения, обладают рядом физико-химических свойств, которые зависят от их структурной организации.

По форме молекул белки можно разделить на 2 большие группы – глобулярные и фибриллярные. Полипептидные цепи глобулярных белков свернуты в компактные сферические структуры. Важнейшими представителями глобулярных белков являются альбумины и глобулины (белки плазмы крови), фибриноген, гемоглобин, гистоны (ядерные белки), ферменты, некоторые гормоны и т. д. Большинство глобулярных белков растворимо в воде. Фибриллярные белки – белки, полипептидные цепи которых располагаются упорядоченно относительно одной оси: α -спираль, β -слой или суперспираль (3–7 α -спиралей, свитых вместе). К ним относятся кератин, коллаген, миозин и др. Фибриллярные белки придают тканям жесткость, прочность, эластичность. Большинство фибриллярных белков нерастворимо в воде.

Водорастворимые молекулы белков проявляют свою функциональную активность в водных растворах. Кроме того, белковые молекулы несут большой поверхностный заряд, Это сказывается на проницаемости мембран, каталитической активности и других функциях.

Белки проявляют свою активность только в узких температурных рамках. Одно из основных свойств белков – способность изменять свою структуру и свойства под влиянием различных факторов (воздействие спиртом, ацетоном, кислотами, щелочами, высокой температурой, облучением, высоким давлением и т. д.). Изменения происходят вследствие разрыва водородных и ионных связей, стабилизирующих пространственные структуры, т. е. наблюдается денатурация. Белок теряет биологическую активность. При этом уменьшается его растворимость, изменяются форма и размеры молекул, теряется ферментативная активность и т. д. Как правило, денатурация имеет необратимый характер. Хотя на первых стадиях, при условии прекращения действия повреждающего фактора, белок может восстановить свое первоначальное состояние, т. е. произойдет ренатурация.

Под влиянием некоторых веществ (формалин, спирт, щелочь) может происходить разрушение первичной структуры белка – деструкция. В отличие от денатурации она необратима.

Функции белков и пептидов. Большое разнообразие белков позволяет им выполнять в живом организме множество функций.

Структурная функция. Белки входят в состав всех биологических мембран и органоидов клетки. Кератин является компонентом перьев, шерсти, волос, рогов, копыт, ногтей, когтей. Эластин – эластичный компонент соединительной ткани связок, стенок кровеносных сосудов. Склеротин входит в состав покровов тела насекомых.

Транспортная функция. Некоторые белки принимают участие в активном транспорте веществ через клеточные мембраны против градиента концентраций (Na-K-АТФаза обеспечивает работу Na-K насоса). Также белки-переносчики осуществляют облегченную диффузию веществ через клеточные мембраны. Гемоглобин переносит кислород и углекислый газ в крови позвоночных, гемоцианин – у многих беспозвоночных. Сывороточный альбумин переносит жирные кислоты, глобулины – ионы металлов и гормоны.

Сократительная (двигательная) функция. Сократительные белки обеспечивают способность клеток, тканей, органов и целых организмов изменять форму, двигаться. Тубулины микротрубочек обеспечивают работу веретена деления клетки, движение ресничек и жгутиков эукариотических клеток, флагеллин – движение жгутиков прокариот. Актин и миозин обеспечивают сокращение волокон поперечно-полосатой мускулатуры.

Каталитическая (ферментативная) функция. Подавляющее большинство ферментов являются белками. Они катализируют (ускоряют) практически все химические реакции в клетке. Ферменты участвуют как в процессах синтеза, так и распада веществ, обеспечивая, например, фиксацию углерода при фотосинтезе, расщепление питательных веществ в пищеварительном тракте.

Регуляторная функция. Некоторые пептиды и белки являются гормонами. Они влияют на различные физиологические процессы. Гормоны-белки: инсулин, соматотропин, пролактин, паратгормон. Гормоны-пептиды: окситоцин, вазопрессин, кальцитонин. Гормоны-гликопротеины: лютеинизирующий, фолликулостимулирующий. Нейропептиды – пептиды, присутствующие в мозге и влияющие на функции центральной нервной системы.

Сигнальная функция. Некоторые белки клеточных мембран способны изменять свою структуру в ответ на действие факторов внешней среды. Так происходит прием сигналов из внешней среды и передача информации в клетку с участием гликопротеина, который является компонентом клицокаликса. Также примером могут служить гликопротеины – антигены тканевой совместимости, которые отвечают за распознавание «своих» и «чужих» клеток и тканей, опсин – составная часть светочувствительных пигментов родопсина и йодопсина, находящихся в клетках сетчатки глаза, фитохром – светочувствительный белок сложного строения, участвующий в регуляции реакции растений на изменение длины дня.

Защитная функция. Специфические белки – антитела – защищают организм от вторжения чужеродных тел – антигенов, образуя с ними

комплексы и обеспечивая иммунитет. Интерфероны – универсальные противовирусные белки – блокируют синтез вирусного белка в инфицированной клетке. Тромбопластин, протромбин, тромбин и фибриноген предохраняют организм от кровопотери, образуя тромб. Антиоксидантные ферменты (например, каталаза), препятствуют развитию свободнорадикальных процессов, очень вредных для организма.

Токсическая функция. Самые сильные микробные токсины являются белками: ботулинический, столбнячный, дифтерийный, холерный. Многие живые организмы, защищаясь, выделяют белки-токсины, которые являются ядами для других организмов. Токсины синтезируются в организме некоторых змей, пауков, скорпионов. Токсины многих грибов, а также пчел являются пептидами.

Запасаящая функция. Ферритин запасает железо в печени, селезенке, яичном желтке. Миоглобин содержит запас кислорода в мышцах позвоночных. Миоглобин содержит запас кислорода в мышцах позвоночных. Альбумин запасает воду в яичном желтке.

Энергетическая функция. Белки могут служить источником энергии в клетке (после гидролиза). Белки семян растений семейства бобовых – источник питания для зародыша. При полном окислении 1 г белка выделяется 17,6 кДж энергии. Белки расходуются на энергетические нужды в крайних случаях, когда исчерпаны запасы углеводов и жиров.

3.4. Нуклеиновые кислоты

Нуклеиновые кислоты представлены ДНК (дезоксирибонуклеиновая кислота) и РНК (рибонуклеиновая кислота). Они обеспечивают хранение и передачу наследственной информации и были открыты в 1868 г. швейцарским химиком И. Ф. Мишером в лейкоцитах и сперматозоидах лосося. ДНК – сложное органическое соединение, являющееся полимером, мономером которого является нуклеотид (рис. 3.6).

Молекула нуклеотида состоит из трех частей: пентозы (пятиуглеродного сахара дезоксирибозы), азотистого основания (одного из четырех типов), остатка фосфорной кислоты. Азотистые основания ДНК делятся на две группы: пуриновые (А – аденин, Г – гуанин) и пиримидиновые (Т – тимин и Ц – цитозин). Название нуклеотида происходит от названия азотистого основания, входящего в его состав, и обозначается заглавной буквой: А-адениловый нуклеотид, Г – гуаниловый, Т – тимидиловый, Ц – цитидиловый. Нумерация атомов углерода дезоксирибозы осуществляется по часовой стрелке. К первому атому углерода (С-1') пентозы присоединяется азотистое основание, а к пятому (С-5') – остаток фосфорной кислоты. Нуклеотиды одной цепи ДНК соединяются путём конденсации, в результате чего между фосфатной группой (остатком фосфорной кислоты) одного нуклеотида, находящейся у 5' атома углерода, и гидроксильной группой (–ОН) другого нуклеотида, находящейся у 3' атома углерода, возникает фосфодиэфирный мостик. Фосфодиэфирные мостики возникают за счет

ковалентных связей, и это придает всей полинуклеотидной цепи прочность и стабильность. При синтезе ДНК этот процесс повторяется несколько миллионов раз.

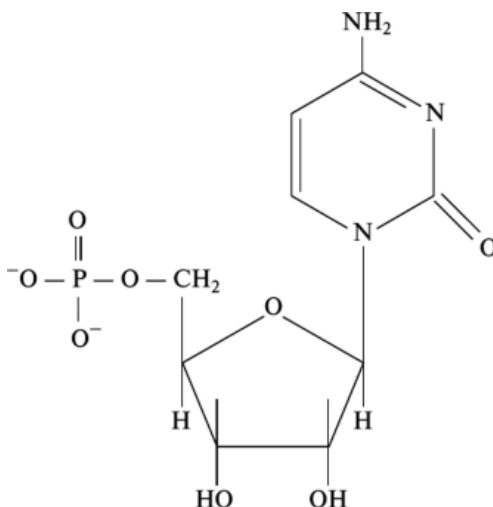


Рисунок 3.6. Схема строения нуклеотида

В 1953 г. Уотсон и Крик предложили пространственную модель строения ДНК. Каждая молекула ДНК состоит из двух длинных полинуклеотидных цепей, образующих двойную спираль, закрученную вокруг центральной оси. Две цепочки молекулы ДНК расположены антипараллельно, то есть напротив 3'-конца одной цепи ДНК располагается 5'-конец другой цепи. Часть нуклеотида, состоящая из азотистого основания и пентозы, получила название нуклеозида. Каждый нуклеозид расположен в плоскости, перпендикулярной оси спирали. Две цепи спирали скреплены водородными связями, которые образуются между азотистыми основаниями разных цепей. Спаривание оснований высокоспецифично. Пуриновое основание может соединяться только с пиримидиновым. Таким образом, единственно возможными парами являются пары А – Т и Г – Ц, которые называются комплементарными. Способность к избирательному соединению нуклеотидов называется комплементарностью. Между аденином и тиминам образуется две водородные связи, а между гуанином и цитозином – три. В результате у каждого организма количество адениловых нуклеотидов равно количеству тимидиловых, а количество гуаниловых – количеству цитидиловых. Благодаря этому свойству последовательность оснований одной цепочки определяет последовательность оснований в другой цепочке, строго комплементарной первой.

Закономерности состава ДНК отражаются в правилах Э. Чаргаффа:

- 1) количество аденина равно количеству тимина ($A = T$);
- 2) количество гуанина равно количеству цитозина ($G = C$);
- 3) количество пуриновых оснований равно количеству пиримидиновых оснований ($A + G = T + C$);
- 4) количество оснований с 6-аминогруппами равно количеству оснований с 6-кетогруппами ($A + C = G + T$);

5) отношение оснований $A + T / G + C$ является величиной видоспецифичной.

Диаметр молекулы ДНК 2 нм, шаг или виток спирали равен 3,4 нм и содержит 10 пар нуклеотидов.

Большинство природных ДНК имеет двуцепочечную структуру, линейную или кольцевую форму, однако у некоторых вирусов есть одноцепочечные ДНК. Молекула ДНК эукариотических клеток линейна. ДНК может подвергаться денатурации (плавлению) при изменении условий. Денатурация может быть частичной (обратимой) и полной (необратимой).

Репликация – самоудвоение молекулы ДНК. Этот процесс протекает в период подготовки клетки к делению (синтетический период интерфазы). В результате из каждой молекулы ДНК, находящейся в клетке, образуется две.

Существует несколько моделей репликации ДНК, но самой распространенной является полуконсервативная (рис.3.7). Согласно этой модели самоудвоение ДНК происходит следующим образом: под действием ферментов сначала раскручивается спираль ДНК, а затем разрываются водородные связи между нуклеотидами двух цепей. К освободившимся цепочкам по принципу комплементарности под действием фермента ДНК-полимеразы присоединяются свободные нуклеотиды. Следовательно, порядок нуклеотидов в старой (материнской) цепочке ДНК определяет порядок нуклеотидов в новой (дочерней). Старая цепочка ДНК является матрицей для синтеза новой. Такие реакции носят название реакций матричного синтеза. Для матричного синтеза новой молекулы ДНК необходимо, чтобы старая молекула была деспирализована и вытянута. Но одновременное раскручивание спиралей, состоящих из огромного числа пар нуклеотидов, невозможно. Поэтому репликация начинается в нескольких местах молекулы ДНК. Участок от точки начала одной репликации до точки начала другой называется репликоном. Эукариотическая хромосома содержит много репликонов, в которых удвоение ДНК идет одновременно. Репликон имеет точку начала репликации и точку окончания. Место, в котором происходит репликация, носит название репликационной вилки.

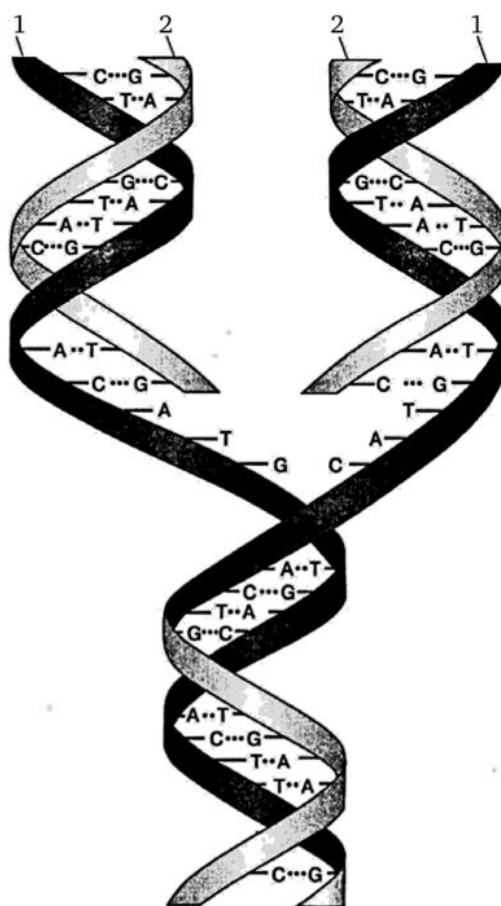


Рисунок 3.7. Схема репликации ДНК

Особенностью ДНК-полимеразы является то, что она присоединяет нуклеотиды новой цепи только в направлении $5' \rightarrow 3'$. Поскольку цепи ДНК антипараллельны, то ДНК-полимераза может непрерывно строить лишь одну новую цепь молекулы ДНК с направлением $5' \rightarrow 3'$. Другая дочерняя цепь ($3' \rightarrow 5'$) синтезируется отдельными короткими участками (фрагментами Оказаки). При этом вторая дочерняя цепь ДНК строится также в направлении $5' \rightarrow 3'$, что не противоречит направлению движения ДНК-полимеразы. Затем короткие участки новосинтезируемой цепочки связываются воедино ферментом ДНК-лигазой. Водородные связи, возникающие между азотистыми основаниями, соединяют старую и новую цепь так, что получается новая молекула. Новые молекулы на 50 % будут состоять из нового материала.

РНК также является сложным органическим соединением-полимером, мономером которого является нуклеотид. Строение РНК во многом сходно со строением ДНК. Тем не менее, имеется ряд отличий. В состав нуклеотидов РНК вместо дезоксирибозы входит рибоза. Основание тимин (Т) замещено на урацил (У). Главное отличие состоит в том, что РНК имеет лишь одну цепь. Цепи РНК значительно короче цепей ДНК.

В клетках существуют три типа РНК: *информационная* (иРНК), *транспортная* (тРНК) и *рибосомальная* (рРНК). иРНК состоит из 300–30000 нуклеотидов и составляет примерно 5 % от всей РНК, содержащейся в клетке. Она представляет собой копию определенного участка ДНК (гена).

Молекулы иРНК выполняют роль переносчиков генетической информации от ДНК к месту синтеза белка (к рибосомам) и непосредственно участвуют в сборке его молекул, являясь матрицей для синтеза. Другое название иРНК – матричная (мРНК).

тРНК составляет до 10 % от всей РНК клетки и состоит из 75–85 нуклеотидов. Молекулы тРНК транспортируют аминокислоты из цитоплазмы к рибосомам во время синтеза белка. Благодаря определенному расположению комплементарных нуклеотидов цепочка тРНК имеет форму, напоминающую лист клевера. При этом тРНК имеет акцепторный конец, к которому присоединяется аминокислота. В противоположной части молекулы тРНК располагается специфический триплет (антикодон), ответственный за прикрепление к определенному триплету иРНК (кодону) по принципу комплементарности.

Основную часть РНК цитоплазмы (около 85%) составляет рРНК. Она входит в состав рибосом. Молекулы рРНК состоят из 3–5 тысяч нуклеотидов.

Тема 4. Строение клеток. Органеллы и мембраны

4.1.Общее строение клетки.

Клетка – основная структурная и функциональная единица жизни, ограниченная полупроницаемой мембраной и способная к самовоспроизведению. Клетки разных живых организмов имеют свои отличительные особенности. Как известно, все организмы делят на прокариоты, клетки которых не имеют оформленного ядра, и эукариоты, клетки которых обязательно содержат ядро. Существенные различия в структуре имеются и у клеток, входящих в состав одного и того же организма. В многоклеточном организме имеются высокоспециализированные клетки, которым присущи свои особые функции. Клетка корня с корневым волоском не похожа на клетку флоэмы или клетку мезофилла листа. Однако изучение должно начинаться не с выявления различия между разными клетками, а с установления наиболее характерного для обобщенной клетки. Для всех клеток свойственны те же функции, которыми можно характеризовать и жизнь в целом. Они способны к самовоспроизведению, к использованию и превращению энергии, к синтезу больших и сложных молекул. Клетка, как и все живое, является результатом длительной эволюции и характеризуется высокой упорядоченностью своей структуры.

Рассмотрение с помощью электронного микроскопа показало, что клетка обладает чрезвычайно сложной структурной организацией и представляет собой систему, дифференцированную на отдельные органеллы.

В растительной клетке следует различать клеточную оболочку и содержимое. Основные жизненные свойства присущи именно содержимому клетки – протопласту. Кроме того, для взрослой растительной клетки характерно наличие вакуоли – полости, заполненной клеточным соком. Протопласт состоит из ядра, цитоплазмы и включенных в нее крупных органелл, видимых в световой микроскоп: пластид, митохондрий. В свою

очередь цитоплазма представляет собой сложную систему с многочисленными мембранными структурами, такими, как аппарат Гольджи, эндоплазматический ретикулум, лизосомы, и немембранными структурами—микротрубочки, рибосомы и др. Все указанные органеллы погружены в матрикс цитоплазмы – гиалоплазму, или основную плазму. Каждая из органелл имеет свою структуру и ультраструктуру.

В создании надмолекулярных структур отдельных органоидов клетки большое значение имеют так называемые слабые химические связи. Наиболее важную роль играют водородные, вандерваальсовы и ионные связи. Важнейшей особенностью является то, что энергия образования этих связей незначительна и лишь немного превышает кинетическую энергию теплового движения молекул. Именно поэтому слабые связи легко возникают и легко разрушаются. Средняя продолжительность жизни слабой связи составляет лишь долю секунды.

Наряду со слабыми химическими связями большое значение имеют гидрофобные взаимодействия. Обусловлены они тем, что гидрофобные молекулы или части молекул, находящиеся в водной среде, располагаются так, чтобы не контактировать с водой. При этом молекулы воды, объединяясь друг с другом, как бы выталкивают неполярные группы, сближая их. Именно слабые связи определяют в большой степени конформацию (форму) таких макромолекул, как белки и нуклеиновые кислоты, лежат в основе взаимодействия молекул и, как следствие, в образовании и самосборке субклеточных структур, в том числе органелл клетки.

4.2. Клеточная оболочка.

Характерной особенностью растительной клетки является наличие жесткой (твердой) клеточной стенки. Клеточная оболочка определяет форму клетки, придает клеткам и тканям растений механическую прочность и опору, защищает цитоплазматическую мембрану от разрушения под влиянием гидростатического давления, развиваемого внутри клетки. Однако такую оболочку нельзя рассматривать только как механический каркас. Клеточная оболочка обладает такими свойствами, которые позволяют противостоять давлению воды внутри клетки, и в то же время обладает растяжимостью и способностью к росту. Она является противомикробным барьером, принимает участие в поглощении минеральных веществ, являясь своеобразным ионообменником.

Для молодых растущих клеток характерна первичная клеточная оболочка. По мере их старения образуется вторичная структура. Первичная клеточная оболочка, как правило, малоспециализирована, имеет более простое строение и меньшую толщину, чем вторичная.

В состав клеточной оболочки входят целлюлоза, гемицеллюлозы, пектиновые вещества, липиды и небольшое количество белка. Компоненты клеточной оболочки являются продуктами жизнедеятельности клетки. Они выделяются из цитоплазмы и претерпевают превращения на поверхности

плазмалеммы.

Первичные клеточные стенки содержат из расчета на сухое вещество: 25% целлюлозы, 25% гемицеллюлозы, 35% пектиновых веществ и 1-8% структурных белков. Во вторичных клеточных стенках больше целлюлозы.

Остов клеточной оболочки составляют переплетенные микро- и макрофибриллы целлюлозы. Целлюлоза, или клетчатка $(C_6H_{10}O_5)_n$, представляет собой длинные неразветвленные цепочки, состоящие из 3-10 тыс. остатков β -D-глюкозы, соединенных β -1,4-гликозидными связями. Максимальный диаметр одной молекулы целлюлозы 0,8 нм. Соединяясь, молекулы целлюлозы образуют элементарные фибриллы, или *мицеллы*, диаметром до 8-10 нм. Располагаясь параллельно друг другу, они образуют вытянутую трехмерную решетку. Каждая мицелла содержит до 100 молекул целлюлозы. Мицеллы объединяются ковалентными и водородными связями, составляя основу *микрофибрилл* – тончайшие волокна, создающие структурный каркас оболочки, которые содержат до 2000 молекул целлюлозы и имеют диаметр 15-30 нм. Микрофибриллы содержат *паракристаллические зоны* – участки с более рыхлым расположением целлюлозных молекул. Оболочки клеток различных растений отличаются соотношением кристаллических и паракристаллических участков, т.е. степенью кристалличности, что обуславливает физические и механические свойства целлюлозного сырья. Микрофибриллы могут объединяться в *макрофибриллы*, которые содержат до 500 000 молекул целлюлозы и имеют толщину от 0,3 до 0,5 мкм. Фибриллярная система погружена в непрерывный аморфный матрикс оболочки – пластичный гель, насыщенный водой.

Матрикс состоит из сложной смеси полимеров двух групп – гемицеллюлозы и пектиновых веществ. Кроме полисахаридов в матриксе может находиться особый структурный белок, минеральные соли, пигменты, липиды.

Гемицеллюлозы, или полуклетчатки, – это производные пентоз и гексоз. Степень полимеризации у этих соединений меньше по сравнению с клетчаткой (150–300 мономеров, соединенные β -1,3- и β -1,4-гликозидными связями). Гемицеллюлозы способны связываться с целлюлозой, поэтому они формируют вокруг микрофибрилл целлюлозы оболочки, скрепляя их в сложную цепь.

Пектиновые вещества – это полимерные соединения углеводного типа. Они обуславливают высокую водонепроницаемость клеточной оболочки.

Между клеточными оболочками двух соседних клеток в местах их соприкосновения имеется так называемая срединная пластинка; в состав срединной пластинки входят пектиновые вещества, главным образом в виде пектатов кальция (кальциевая соль пектиновой кислоты). Эти вещества как бы цементируют, склеивают растущие клетки. При недостатке кальция пектиновые вещества превращаются в слизь, наблюдается ослизнение ткани, и клетки разъединяются (мацерация ткани). При созревании плодов пектиновые вещества срединных пластинок, склеивающие клетки,

переходят в растворимую форму и благодаря этому плоды становятся мягкими. Срединная пластинка является первым слоем, образующимся при делении клетки.

Клеточная оболочка способна к утолщению и видоизменению. В результате этого образуется ее вторичная структура. Утолщение оболочки происходит путем наложения новых слоев на первичную оболочку. Ввиду того, что наложение идет уже на твердую оболочку, фибриллы целлюлозы в каждом слое лежат параллельно, а в соседних слоях – под углом друг к другу. Предполагается, что за ориентацию микрофибрилл целлюлозы ответственны микротрубочки. Этим достигается значительная прочность (и твердость) вторичной оболочки. По мере того как число слоев фибрилл целлюлозы становится больше, и толщина стенки увеличивается, она теряет эластичность и способность к росту. Во вторичной клеточной стенке содержание целлюлозы значительно возрастает (в некоторых случаях до 60% и более).

Вторичная клеточная оболочка откладывается участками. Неутолщенные участки клеточной оболочки (без вторичной оболочки) называются *порами* (рисунок 2). Поры двух смежных клеток обычно располагаются друг против друга, образуя пары пор. Каждая пора имеет поровую камеру, которая отделяется от поровой камеры второй поры тонким участком оболочки – замыкающей пленкой поры, или поровой мембраной, состоящей из двух первичных оболочек и срединной пластинки.

Клеточная стенка растительной клетки пронизана *плазмодесмами*. Плазмодесма представляет собой канал (пору) шириной до 1 мкм, выстланный плазмалеммой. Благодаря плазмодесмам цитоплазма всех клеток объединена в единое целое – *симпласт*. Взаимосвязанная система клеточных стенок и межклеточных промежутков называется *апопласт (свободное пространство)*. Симпласт и апопласт являются важнейшими путями передвижения воды и минеральных веществ между клетками. Одним из путей регуляции транспортной функции является подвижность структуры плазмодесмы и объем свободного пространства.

В зависимости от функциональных особенностей целого ряда клеток вторичные оболочки претерпевают значительные физико-химические изменения. В основе их лежит процесс инкрустации – отложения в оболочку новых веществ, или химические изменения уже отложенного вещества. Инкрустация связана с внедрением между микрофибриллами целлюлозы новых химических веществ, изменяющих свойства оболочки, которые выделяет протопласт.

Одревеснение оболочки – связано с инкрустацией оболочки лигнином (лат. *lignum* – древесина) смешанный аморфный полимер фенольного ряда. Лигнификация снижает эластичность, повышает твердость и прочность на сжатие, снижает проницаемость для воды.

Минерализация оболочки – повышенное содержание в оболочке кремнезема или оксалата и карбоната кальция, которые выпадают в осадок и могут кристаллизоваться. Эти вещества придают оболочке твердость и

хрупкость, снижают поедаемость растений (хвощи, злаки, осоки).

Опробковение оболочки – связано с покрытием оболочки суберином (лат. *suber* – пробка), что почти полностью предотвращает диффузию через оболочку газов, воды и растворенных в ней веществ. После образования суберинового слоя клетка отмирает.

Овосковение и кутинизация оболочки – откладывание гидрофобных полимеров в виде воска и кутина. Воск легко извлекается органическими растворителями и быстро плавится, образуя кристаллы. Он часто откладывается на поверхности надземной части растений, образуя восковой налет (плоды сливы, винограда). Кутин обычно откладывается в виде пленки различной толщины – кутикулы (лат. *cuticula* – кожаца), покрывающей только наружную стенку клеток эпидермы. Восковой налет и кутикула выполняют защитную функцию, уменьшают испарение с поверхности надземных органов растений.

Ослизнение оболочки – происходит при повышении количества воды в оболочке и изменении структуры отложенных веществ (семена многих растений).

4.3. Цитоплазма.

Цитоплазма – сложная многокомпонентная, пластичная, дифференцированная система, включающая ряд мембранных и немембранных структур. Именно в цитоплазме протекают основные процессы метаболизма. С помощью центрифугирования цитоплазму можно разделить на две примерно равные части. Все органоиды, как более тяжелые, окажутся в осадке. Надосадочная жидкость и будет представлять основное вещество цитоплазмы – *гиалоплазму*.

Основная плазма, или гиалоплазма, представляет собой среду, в которую погружены все органоиды клетки. Во взаимодействии с ней и через нее осуществляются внутриклеточные транспортные процессы, а соответственно связь между отдельными органеллами. В ней протекают многие важнейшие биохимические процессы, локализованы многочисленные ферменты.

Гиалоплазма – не бесструктурная масса. Она имеет дифференцированную сложную, но легко перестраивающуюся структуру (рисунок 5), от состояния которой зависят такие процессы жизнедеятельности, как внутриклеточный транспорт везикул и органелл, активность ферментативных процессов, их пространственная локализация. Гиалоплазма состоит из двух фаз – жидкой и твердой. Жидкая фаза представляет собой коллоидный раствор различных белков и других веществ. В жидкой фазе содержится система тонких (2 нм толщиной) белковых нитей – микротрабекул, пересекающих цитоплазму в различных направлениях: это так называемая микро-трабекулярная система.

Микротрабекулярная система связывает все внутриклеточные структуры. В местах пересечения или соединения концов

микротрабекул располагаются группы рибосом.

С микротрабекулярной системой связаны нитевидные, белковые комплексы, или филаменты (тонкие нити) – микротрубочки и микрофиламенты. Гиалоплазма включает сложную сеть белков (*цитоскелет*), состоящую из микрофиламентов и микротрубочек. Цитоскелет играет важную роль в процессах митоза, мейоза, внутриклеточного движения цитоплазмы (циклоза), образования клеточных стенок, транспорте воды и др.

Микрофиламенты – тонкие белковые нити диаметром 5-7 нм, представляющие собой длинные цепочки глобулярного белка актина. Обнаружены также особые белки, связывающие между собой микрофиламенты с образованием сети. Именно от связывающих белков зависит организация микрофиламентов. Вся эта структура очень лабильна. Под влиянием различных воздействий (большое значение имеет концентрация кальция) микрофиламенты распадаются на отдельные фрагменты и вновь собираются. Это определяет такие свойства цитоплазматического матрикса, как изменения вязкости, подвижность, переход из состояния геля в золь и обратно.

Микротрубочки – полые цилиндрические органеллы диаметром 20-25 нм, достигающие в длину нескольких микрометров. Предполагают, что стенки микротрубочек толщиной 5-8 нм состоят из цепочек глобулярного белка тубулина, свернутых спирально. Микротрубочки могут разрушаться и снова возникать. С микротрубочками связано движение цитоплазмы, участие в перемещениях органелл. Предполагается участие микротрубочек в построении клеточных стенок.

Рибосомы – это компактные рибонуклеопротеидные частицы диаметром около 20 нм, лишенные мембран. Они состоят из белка и особого типа рибонуклеиновой кислоты – рибосомальной (рРНК). В каждой клетке несколько десятков тысяч рибосом. Они расположены не только в цитоплазме, но и в ядре, в митохондриях, в пластидах. В связи с этим различают два типа рибосом: 80S – цитоплазматические и 70S – локализованные в органеллах. Рибосомы прокариот имеют также коэффициент седиментации 70S (коэффициент седиментации характеризует скорость осаждения частиц при ультрацентрифугировании). Основная функция рибосом – синтез белка.

Рибосомы состоят из двух субъединиц: большой и малой. В большую субъединицу входят одна высокомолекулярная РНК и две низкомолекулярные, в малую субъединицу – одна молекула высокомолекулярной РНК. В состав рибосом входит также несколько десятков разных молекул белка. РНК и белки объединены в рибосомах в нуклеопротеидный тяж. Рибосомальная РНК представляет одинарную цепочку нуклеотидов, однако в результате взаимодействия между отдельными звеньями цепочка частично спирализована. Спирализованные участки составляют примерно 70% от всей длины цепочки, они непостоянны, возникают и разрушаются.

Образование рибосом происходит путем самосборки. Составные части

рибосом образуются в ядре. Так, рРНК синтезируется в ядре, используя в качестве матрицы ядерную ДНК, а рибосомальные белки синтезируются в ядрышке. Синтез рРНК и рибосомальной белки строго скоординирован, благодаря чему в клетке никогда не образуется избыточного количества этих соединений. Предполагают, что тяж РНК определенным образом свернут и по неспирализованным участкам с ним взаимодействуют молекулы белка. В основном связь между молекулами РНК и белками осуществляется с помощью иона Mg^{+2} . Двухвалентные катионы магния и кальция обеспечивают также ассоциацию субъединиц рибосом.

Рибосомы могут находиться в цитоплазме в свободном состоянии, а могут прикрепляться к мембранам эндоплазматического ретикула (шероховатый ЭПР). При синтезе белка несколько рибосом могут связываться молекулой матричной, или информационной РНК в *полисоме* (полирибосому). Это обеспечивает одновременное транслирование одной молекулы мРНК несколькими рибосомами.

4.4. Биологические мембраны.

Трудно переоценить значение мембран в жизни клетки и организма. Мембраны отделяют внутреннюю среду от внешней, разделяют клетку на отдельные компартменты (отсеки). Мембраны определяют возможность проникновения в клетку и выход из нее отдельных органелл и различных веществ (проницаемость). На поверхности мембран локализованы различные рецепторы, в том числе и рецепторы гормонов. На мембране или даже в самих мембранах упорядоченно располагаются полиферментные комплексы, проходят важнейшие процессы жизнедеятельности (перенос электронов в дыхательной цепи, окислительное и фотосинтетическое фосфорилирование). Таким образом, мембраны принимают участие во всех проявлениях жизнедеятельности, включая регуляцию активности организма и его реакцию на внешние воздействия.

Большинство мембран имеет сходный химический состав – примерно равное количество белков и липидов (60-40%) и небольшое количество (менее 10%) углеводов. Вместе с тем, мембраны с биосинтетической функцией, например, внутренняя мембрана митохондрий, содержат меньше липидов и больше белков, чем внешняя.

Среди липидов значительная доля принадлежит фосфолипидам. Эти полярные липиды являются сложными эфирами трехатомного спирта глицерина. У фосфолипидов две гидроксильные группы в молекуле глицерина замещены жирными кислотами, а третья – фосфорной кислотой. К фосфорной кислоте могут быть присоединены различные полярные соединения, чаще всего аминспирты – этаноламин или холин. Важнейшим свойством молекул фосфолипидов является полярность, так как они содержат полярную гидрофильную головку (глицерин, фосфорная кислота, аминспирт) и два гидрофобных углеводородных хвоста. В мембранах растительной клетки важное значение имеет фосфатидилглицерин, содержащий в своем составе не аминспирт, а глицерин. Это главный фосфолипид фотосинтетического аппарата

растений и единственный фосфолипид цианобактерий. От фосфолипидов во многом зависит проницаемость мембран; они поддерживают ее структуру. Фосфолипиды влияют на активность белков – ферментов, входящих в состав мембран, изменяя их конформацию, а также создавая гидрофобную среду, благоприятствующую их действию. Наряду с фосфолипидами в состав мембран входят глико- и сульфоллипиды.

Мембраны представляют собой тонкие (6-10 нм) замкнутые липопротеидные пласты. Вследствие этого у них нет свободных концов, и гидрофобные участки фосфолипидов не контактируют с водой. С этим же связано спонтанное образование различных везикул (пузырьков).

Структура мембран до настоящего времени не может считаться раскрытой. Разрешающая сила электронного микроскопа недостаточна, чтобы увидеть расположение молекул внутри мембран. Мембраны под электронным микроскопом имеют трехслойное строение. Еще в 1935 г. Дж. Даниэлли и Г. Даусон создали трехслойную модель мембраны, которая получила название «*бутербродной*». Согласно этой модели основу мембраны составляет двойной слой липидных молекул, обращенных друг к другу гидрофобными участками. С двух сторон располагаются сплошным слоем белки. Однако с использованием современных методов исследования показано, что многие свойства мембран нельзя объяснить с помощью этой модели. Наибольшее распространение получила *модель жидкостно-мозаичной структуры мембран* (С. Сингер и Дж. Николсон, 1972), согласно которой двойной слой полярных липидов, представляющий структурную основу мембраны, не является непрерывным. Мембрана как бы прошивается белковыми молекулами. При этом различают белки: 1) интегральные, пронизывающие всю толщу мембран; 2) полуинтегральные, погруженные в мембрану примерно наполовину; 3) периферические, располагающиеся на поверхности мембран, но не образующие сплошного слоя. Глобулы интегральных и полуинтегральных белков связаны с липидами гидрофильно-гидрофобными взаимодействиями. Однако многие белки непрочно связаны с липидами и могут перемещаться в «липидном озере», в котором они как бы плавают. Предполагают, что молекулы некоторых белков-ферментов могут вращаться в мембране и этому способствует изменение их конформации. Молекулы липидов тоже меняют свое расположение в пределах бислоя.

Это может быть смена мест внутри слоя (латеральная диффузия), а также перескок (*флип-флоп*) с одной стороны мембраны на другую. Миграция и белков, и липидов осуществляется как путем диффузии, так и активным путем, идущим с использованием энергии. Флип-флоп требует обязательной затраты энергии. Обнаруженная способность к свободному передвижению в мембранах подтверждает представление о жидкостном состоянии мембран, а происходящие изменения расположения компонентов мембран – об их динамичности.

Необходимо помнить, что липиды различаются по размерам,

конфигурации, заряду (фосфоглицериды, гликолипиды и др.). В разных мембранах возможно их различное сочетание. Различны и мембранные белки. Вероятно, в зависимости от липидов и белков, входящих в состав той или иной мембраны, характер ее структуры различен. Липиды находятся при физиологических условиях в жидком (разрыхленном) состоянии, что обеспечивается присутствием ненасыщенных жирных кислот.

Исследования последних лет выявили существенное различие в структуре внутренней и наружной поверхности мембран, их ассиметричность. К белкам на наружной поверхности мембраны присоединяются углеводы с образованием гликопротеидов. Эти вещества имеют значение в образовании тканей, а также играют роль «ярлыка» клетки, участвуя в их взаимодействии. Ассиметричным может быть и расположение разных липидов. Именно ассиметрия обуславливает то обстоятельство, что в большинстве случаев мембраны проницаемы для веществ в одном направлении.

Поверхностная одинарная мембрана – *плазмалемма* – ограничивает толщу цитоплазмы от пектоцеллюлозной оболочки. От свойств плазмалеммы во многом зависит характер обмена между внешней средой и клеткой. Вся поверхность плазмалеммы покрыта глобулярными частицами. Полагают, что в этих частицах сосредоточены ферменты, участвующие в образовании клеточной оболочки. Плазмалемма обладает полупроницаемостью, хотя и не идеальной. Она хорошо проницаема для воды и значительно слабее для растворенных веществ. В связи с этим показано, что белки, расположенные в плазмалемме, приспособлены к избирательному транспорту отдельных веществ и воды. Мембранные белки, образующие внутри мембраны каналы, проницаемые для воды, носят название *аквапорины*. Ряд белков плазмалеммы осуществляет рецепторную функцию, в частности, связываясь с гормонами. Имеются данные, что в периоды активного роста поверхность плазмалеммы становится волнистой. В процессе роста клетки наблюдается быстрое увеличение поверхности плазмалеммы. Это происходит путем присоединения к ней уже сформированных участков мембран, принадлежащих пузырькам аппарата Гольджи.

4.5. Эндоплазматический ретикулум (ЭПР).

Эндоплазматический ретикулум (ЭПР) или эндоплазматическая сеть – сложная система каналов, окруженных мембранами (6-7 нм), пронизывающая всю толщу цитоплазмы. Каналы имеют расширения – цистерны, которые могут обособляться в крупные пузырьки и сливаться в вакуоли. Каналы и цистерны ЭПР заполнены электронно-прозрачной жидкостью, содержащей растворимые белки и другие соединения. К мембране ЭПР могут быть прикреплены рибосомы. Благодаря этому поверхность мембран становится шероховатой. Такие мембраны носят название гранулярных, в отличие от гладких – агранулярных. Мембраны ЭПР связаны с мембраной ядра. Имеются данные, что

эндоплазматический ретикулум возникает благодаря выростам, образующимся на наружной ядерной мембране. С другой стороны ядерная оболочка воссоздается из пузырьков ЭПР на стадии телофазы.

Физиологическое значение эндоплазматического ретикула многообразно. Мембраны ЭПР разделяют клетку на отдельные отсеки (компарменты) и тем самым предупреждают случайные взаимодействия веществ. Каналы ЭПР могут использоваться для внутри- и межклеточного транспорта различных веществ. Они соединены перинуклеарным пространством (между ядерными мембранами). ЭПР участвует в формировании структуры плазмодесм. Все это указывает на важнейшую роль ЭПР в осуществлении взаимосвязи между разными частями клетки и в межклеточных контактах.

В мембранах эндоплазматического ретикула содержатся ферменты обмена фосфолипидов и стероидов. На гладком (агранулярном) ЭПР идет синтез липидов, входящих в состав мембран. На шероховатом (гранулярном) ЭПР синтезируются мембранные белки и белки, которые переносятся в вакуоль или из клетки. ЭПР участвует не только в синтезе белков, а также в накоплении и доставке к местам их использования. Эндоплазматическая сеть очень лабильна, она может возникать и разрушаться. В молодых, только что образовавшихся, клетках эндоплазматическая сеть развита слабо. Сильное развитие ЭПР наблюдается в клетках в период их интенсивного роста.

4.6. Аппарат Гольджи.

Представляет собой стопки цистерн – уплощенных мешочков, окруженных мембранами. Кроме цистерн имеется ряд сферических пузырьков диаметром до 60 нм, связанных с цистернами, и крупные прозрачные вакуоли – везикулы. Белки, составляющие цистерны аппарата Гольджи, связываются между собой и образуют *диктиосомы*, которые распределены в растительной клетке по всей цитоплазме. Аппарат Гольджи имеет два конца, два полюса: на одном полюсе, формирующем, образуются новые цистерны, на втором полюсе, секретирующем, происходит образование пузырьков. И тот, и другой процесс происходят непрерывно: по мере того как одна цистерна образует пузырьки и, таким образом, расформировывается, ее место занимает другая цистерна. Расстояние между отдельными цистернами постоянно (20–25 нм).

Одна из основных функций аппарата Гольджи – это накопление и секреция веществ и, прежде всего углеводов, что проявляется в его участии в формировании клеточной оболочки и плазмалеммы. Одновременно цистерны аппарата Гольджи, по-видимому, могут служить для удаления некоторых веществ, выработанных клеткой.

4.7. Вакуоль.

Вакуоль – полость, заполненная клеточным соком и окруженная мембраной (тонопластом). В молодой клетке обычно имеется несколько мелких вакуолей (провакуолей). В процессе роста клетки образуется одна

центральная вакуоль, которая может занимать до 90% объема клетки (рисунок 10). В образовании вакуоли могут участвовать пузырьки, отделяющиеся от аппарата Гольджи. Возможно образование «вторичных» вакуолей из участков цитоплазмы, изолированных мембраной эндоплазматического ретикулума, в которых с помощью гидролитических ферментов произошло переваривание веществ. Из мембран эндоплазматической сети и возникает, по-видимому, тонопласт. Тонопласт обладает избирательной проницаемостью, в нем локализована система активного транспорта веществ. Во многих случаях вещества, проникающие через плазмалемму, не проникают через тонопласт и не попадают в вакуоль. Вакуоль содержит клеточный сок, в котором растворены соли, органические кислоты, сахара, ферменты, метаболиты (алкалоиды, фенолы) и другие соединения. В связи с этим она определяет осмотическое поглощение воды, что особенно важно при росте растяжением и для поддержания тургора клетки. В вакуолях ряда клеток содержится пигмент (антоциан), который обуславливает окраску цветков, плодов, а также частично осеннюю окраску листьев.

Вакуоли – это место, где могут аккумулироваться и сохраняться запасные питательные вещества (сахароза, минеральные соли и др.), если в данный момент клетка в них не нуждается. В вакуолях содержится много протеолитических ферментов, таких как протеазы, рибонуклеазы, гликозидазы и др. Предполагают участие этих ферментов в образовании веществ клеточных стенок. Показано, что богатые белками-ферментами вакуоли прорастающих семян (т. н. содержащие белок вакуоли) обеспечивают гидролиз белков до аминокислот и синтез новых белков, необходимых для формирования проростка.

В вакуоль также экскретируются различные клеточные отбросы, которые затем могут там перерабатываться и обезвреживаться. Тонопласт может образовывать инвагинации. При этом часть цитоплазмы включается в вакуоль и там подвергается действию различных ферментов (переваривается).

4.8. Лизосомы. Микротельца.

Лизосомы – органеллы диаметром до 2 мкм – окружены мембраной, возникшей из мембран эндоплазматической сети или аппарата Гольджи. Внутренняя полость лизосом заполнена жидкостью, в которой содержатся ферменты, главным образом гидролитические (протеазы, нуклеазы, липазы и др.). Ферменты, катализирующие процессы распада и сосредоточенные в лизосомах, благодаря мембране оказываются изолированными от остального содержимого клетки. Это имеет большое значение, так как предупреждает распад веществ, в частности белков, находящихся вне лизосом. Вместе с тем в лизосомах может происходить разрушение чужеродных веществ, попавших в клетку.

Микротельца – это окруженные одинарной мембраной пузырьки

сферической формы, более мелкие, чем лизосомы. Их диаметр равен 0,5-1,5 мкм. Микротельца возникают из ЭПР. Основная функция – накопление и изоляция ферментов. *Пероксисомы* содержат ряд окислительных ферментов (каталаза, гликолатоксидаза и др.) и осуществляют окисление различных соединений с образованием перекиси водорода H_2O_2 . В пероксисомах проходят отдельные этапы процесса фотодыхания.

Другой тип микротельца *глиоксисомы* встречаются в масличных семенах и в других тканях растений, накапливающих масла. Содержат те же ферменты, что и пероксисомы, а также ферменты глиоксалатного цикла, которые участвуют в расщеплении запасных жиров до сахаров. В проростках этот процесс используется как поставщик энергии для роста.

В растительной клетке масла собираются в специальные органеллы, которые иногда называют липидными тельцами или *олеосомами*. Они окружены однослойной мембраной, состоящей из фосфолипидов, которые гидрофобной частью повернуты внутрь к полости органеллы. В мембране имеются специальные белки олеосины. Липиды олеосом при прорастании семян разрушаются и с помощью ферментов глиоксисом подвергаются изменениям.

4.9. Митохондрии

Митохондрии – «силовые» станции клетки, в них локализована большая часть реакций дыхания (аэробная фаза). В митохондриях происходит аккумуляция энергии дыхания в аденозинтрифосфате (АТФ). Энергия, запасаемая в АТФ, служит основным источником для физиологической деятельности клетки. Митохондрии обычно имеют удлинённую палочковидную форму длиной 4-7 мкм и диаметром 0,5-2 мкм. Число митохондрий в клетке может быть различным от 500 до 1000 и зависит от роли данного органа в процессах энергетического обмена. Однако в некоторых организмах (дрожжах) имеется лишь одна гигантская митохондрия. Химический состав митохондрий несколько колеблется. В основном это белковолипидные органеллы. Содержание белка в них составляет 60-65%, причем структурные и ферментативные белки содержатся примерно в равной пропорции, а также около 30% липидов. Очень важно, что митохондрии содержат нуклеиновые кислоты: РНК – 1% и ДНК – 0,5%. В митохондриях имеется не только ДНК, но и вся система синтеза белка, в том числе рибосомы.

Митохондрии окружены двойной мембраной. Толщина мембран составляет 6-10 нм. Мембраны митохондрий на 70% состоят из белка. Мембраны митохондрий не пропускают H^+ и служат барьером для их транспорта. Это важнейшее свойство лежит в основе образования электрохимического градиента. Между мембранами находится заполненное жидкостью перимитохондриальное пространство, равное 10 нм. Внутреннее пространство митохондрий заполняет матрикс в виде студнеобразной полужидкой массы. В матриксе сосредоточены ферменты цикла Кребса.

Внутренняя мембрана дает выросты – *кристы*, расположенные

перпендикулярно продольной оси органеллы и перегораживающие все внутреннее пространство митохондрий на отдельные отсеки. Однако, поскольку выросты-перегородки неполные, между этими отсеками сохраняется связь. Мембраны митохондрий обладают большой прочностью и гибкостью. Во внутренней мембране локализована дыхательная цепь (цепь переноса электронов). На внутренней поверхности внутренней мембраны митохондрий равномерно расположены грибовидные частицы. Каждая митохондрия содержит 10^4 - 10^5 таких грибовидных частиц, которые представляют собой фермент АТФ-синтазу, катализирующую образование АТФ.

Митохондрии способны к движению. Это имеет большое значение в жизни клетки, так как митохондрии передвигаются к тем местам, где идет усиленное потребление энергии. Они могут ассоциировать друг с другом, как путем тесного сближения, так и при помощи связующих тяжей. Наблюдаются также контакты митохондрий с эндоплазматической сетью, ядром, хлоропластами. Известно, что митохондрии способны к набуханию, а при потере воды – к уменьшению объема.

В растущих клетках в матриксе митохондрий количество крист растет – это коррелирует с увеличением интенсивности дыхания. В процессе дыхания ультраструктура митохондрий меняется. Если в митохондриях протекает активный процесс преобразования энергии окисления в энергию АТФ, внутренняя часть митохондрий становится более компактной.

Митохондрии имеют свой онтогенез. В меристематических клетках можно наблюдать инициальные частицы, которые представляют собой округлые образования, окруженные двойной мембраной. Диаметр таких инициальных частиц составляет 50 нм. По мере роста клетки инициальные частицы увеличиваются в размере, удлиняются и их внутренняя мембрана образует выросты, перпендикулярные оси митохондрий. Вначале образуются промитохондрии. Они еще не достигают окончательного размера и имеют мало крист. Из промитохондрий образуются митохондрии. Сформировавшиеся митохондрии делятся путем перетяжки или почкованием.

Свойства митохондрий (белки, структура) закодированы частично в ДНК митохондрий, а частично в ядре. Так, митохондриальный геном кодирует белки рибосом и частично систему переносчиков электронотранспортной цепи, а в геноме ядра кодирована информация о белках-ферментах цикла Кребса. Сопоставление размеров митохондриальной ДНК с числом и размером митохондриальных белков показывает, что в ней заложено информации почти для половины белков. Это и позволяет считать митохондрии, как и хлоропласты, полуавтономными, т. е. не полностью зависящими от ядра. Они имеют собственную ДНК и собственную белоксинтезирующую систему, и именно с ними и с пластидами связана так называемая цитоплазматическая наследственность. В большинстве случаев это наследование по

материнской линии, так как инициальные частицы митохондрий локализованы в яйцеклетке. Таким образом, митохондрии всегда образуются от митохондрий.

Широко обсуждается вопрос, как рассматривать митохондрии и хлоропласты с эволюционной точки зрения. Еще в 1921 г. русский ботаник Б.М. Козо-Полянский высказал мнение, что клетка – это *симбиотрофная система*, в которой сожительство несколько организмов. В настоящее время эндосимбиотическая теория происхождения митохондрий и хлоропластов является общепринятой. Согласно этой теории, митохондрии – это в прошлом самостоятельные организмы. Это могли быть зубактерии, содержащие ряд дыхательных ферментов. На определенном этапе эволюции они внедрились в примитивную, содержащую ядро, клетку. Оказалось, что ДНК митохондрий и хлоропластов по своей структуре резко отличается от ядерной ДНК высших растений и сходна с бактериальной ДНК (кольцевое строение, нуклеотидная последовательность). Сходство обнаруживается и по величине рибосом. Они мельче цитоплазматических рибосом. Синтез белка в митохондриях, подобно бактериальному, подавляется антибиотиком хлорамфениколом, который не влияет на синтез белка на рибосомах эукариот. Кроме того, система переноса электронов у бактерий расположена в плазматической мембране, что напоминает организацию электронтранспортной цепи во внутренней митохондриальной мембране.

4.10. Пластиды.

Весь процесс фотосинтеза протекает в зеленых пластидах – хлоропластах. Различают три вида пластид: лейкопласты – бесцветные, хромопласты – оранжевые, хлоропласты – зеленые. В лейкопластах синтезируется и отлагается в запас крахмал, в хромопластах накапливаются каротиноиды, в хлоропластах сосредоточен зеленый пигмент хлорофилл и происходит фотосинтез.

Незеленые организмы, например грибы, лишены пластид. Они не обладают способностью к фотосинтезу. В процессе эволюции дифференциация пластид произошла очень рано. Правда, у фотосинтезирующих бактерий пластид еще нет, их роль выполняют внутрицитоплазматические мембраны (пурпурные бактерии) или особые структуры – хлоросомы, локализованные на мембранах (зеленые бактерии). Это наиболее примитивная организация фотосинтетического аппарата. Однако уже у водорослей имеются специальные образования (хроматофоры), в которых сосредоточены пигменты, они разнообразны по форме (спиральные, ленточные, в виде пластинок или звезд). Высшие растения характеризуются вполне сформировавшимся типом пластид в форме диска или двояковыпуклой линзы. Приняв форму диска, хлоропласты становятся универсальным аппаратом фотосинтеза.

Размер хлоропластов колеблется от 4 до 10 мкм. Число хлоропластов обычно составляет от 20 до 100 на клетку. Химический состав хлоропластов достаточно сложен и может быть охарактеризован следующими средними

данными (% на сухую массу): белок – 35-55; липиды – 20-30; углеводы – 10; РНК – 2-3; ДНК – до 0,5; хлорофилл – 9; каротиноиды – 4,5.

Внутреннее строение хлоропластов, их ультраструктура были раскрыты с использованием электронного микроскопа.

Оказалось, что хлоропласты окружены двойной мембраной. Толщина каждой мембраны 7,5-10 нм, расстояние между ними – 30 нм. Внутреннее пространство хлоропластов заполнено бесцветным содержимым – стромой и пронизано мембранами (ламеллами). Ламеллы, соединенные друг с другом, образуют как бы пузырьки – *тилакоиды* (греч. «тилакоидес» – мешковидный). В хлоропластах содержатся тилакоиды двух типов. Короткие тилакоиды собраны в пачки и расположены друг над другом, напоминая стопочку монет. Эти стопки называются *гранами*, а составляющие их тилакоиды – *тилакоидами гран*. Между гранами параллельно друг другу располагаются длинные тилакоиды. Составляющие их ламеллы получили название – *тилакоиды стромы*. Между отдельными тилакоидами в стопках гран имеются узкие щели. Тилакоидные мембраны содержат большое количество белков, участвующих в фотосинтезе. В составе интегральных мембранных белков имеется много гидрофобных аминокислот. Это создает безводную среду и делает мембраны стабильнее. Многие белки тилакоидных мембран построены в виде векторов и граничат с одной стороны со стромой, а с другой контактируют с внутренним пространством тилакоида.

В строме хлоропластов находятся нити ДНК, рибосомы, крахмальные зерна. Основной фермент обеспечивающий усвоение углекислого газа, – рибулозобифосфат-карбоксилаза-оксигеназа (сокращенно РБФ – карбоксилаза-оксигеназа) также расположен в строме. Зеленый пигмент хлорофилл в виде комплекса с белками (пигмент-белковые комплексы) сосредоточен главным образом в тилакоидах гран и частично в тилакоидах стромы. В мембранах тилакоидов гран локализован фермент, катализирующий синтез АТФ (АТФ-синтаза). Этот фермент связан с белком, расположенным в самой мембране.

Пластиды, так же как и митохондрии, не возникают вновь, а размножаются путем деления. Так же как и для митохондрии, начальной стадией роста хлоропластов являются инициальные частицы. Эти частицы – глобулярные образования, окруженные двойной мембраной значительно более плотной консистенции по сравнению с окружающей гиалоплазмой. Инициальные частицы увеличиваются в размере и приобретают форму двояковыпуклой линзы. Одновременно их внутренняя мембрана начинает разрастаться, образуя складки. От складок отшнуровываются пузырьки (тилакоиды), которые располагаются параллельно и пронизывают всю строму. На этой стадии развития частицы становятся видимыми в световой микроскоп (0,3-0,5 мкм) – это уже пропластиды.

Для дальнейшего развития структуры пропластид необходим свет. На свету образуется хлорофилл. Молекулы хлорофилла локализуются в мембранах. Именно на свету образуются два типа тилакоидов. Длинные

тилакоиды тянутся через все продольное сечение пластид и образуют тилакоиды стромы. Короткие тилакоиды располагаются стопкой друг над другом и образуют тилакоиды гран. Пластиды достигают окончательного размера.

Непосредственно из пропластид могут образовываться и бесцветные пластиды (лейкопласты-амилопласты). Лейкопласты чаще всего локализованы в клетках запасющих тканей. Подобно пропластидам они характеризуются слабо развитой ламеллярной структурой. Во многих случаях в лейкопластах ламеллы сохраняют связь с внутренней оболочкой. В строме лейкопластов располагаются крахмальные зерна, осmioфильные глобулы, белковые включения. Амилопласты могут превращаться в хлоропласты, например, как это происходит при позеленении клубней картофеля на свету. Хромопласты – это, по-видимому, результат деградации хлоропластов, при которой ламеллярная структура частично разрушается.

4.11. Ядро.

Ядро было открыто Р. Брауном в 1831 г. Значение ядра определяется, прежде всего, наличием в нем дезоксирибо-нуклеиновой кислоты (ДНК). Исследования полностью доказали уникальную роль ДНК в передаче наследственных свойств. Наряду с ядерной имеется цитоплазматическая наследственность, которая связана с ДНК, локализованной в органеллах. Однако количество ДНК в ядре во много раз превышает количество цитоплазматической ДНК.

Обычно в клетке одно ядро. Однако бывают и многоядерные клетки. Диаметр ядра колеблется от 5 до 20 мкм; благодаря относительно большому размеру эта клеточная структура хорошо видна в световой микроскоп. Форма ядра бывает различной: сферической, удлинённой, дисковидной. Расположение ядра в клетке непостоянно. В молодой растительной клетке чаще всего ядро расположено ближе к ее центру. Во взрослых клетках ядро смещается к периферии, что связано с появлением крупной центральной вакуоли.

Химический состав ядра представлен, главным образом, нуклеиновыми кислотами и белками. Так, изолированные ядра клеток гороха содержат ДНК – 14%, РНК – 12%, основных белков – 22,6%, прочих белков – 51,3%.

Ядерная оболочка состоит из двух мембран толщиной около 8 нм каждая, разделенных между собой перинуклеарным пространством шириной 20-30 нм, которое заполнено жидкостью. Внешняя мембрана на поверхности имеет сложную складчатую структуру, местами соединенную с эндоплазматической сетью. На внешней мембране расположено большое количество рибосом. Внутренняя мембрана может давать впячивания. Ядерная оболочка имеет поры. На 1 мкм² ядерной оболочки насчитывается от 10 до 100 пор диаметром около 20 нм. Поры – сложное образование; они имеют форму часового стекла, которое окружено как бы ободком. Ободок состоит из отдельных белковых гранул. В центре поры расположена центральная гранула, соединенная нитями с гранулами ободка. Поры ядра – динамичные

образования, они могут открываться и закрываться. Таким путем может осуществляться регуляция обмена между ядром и цитоплазмой.

Внутреннее строение ядра меняется в зависимости от его состояния. Различают два периода жизни ядра: *метаболический* (между делениями) и период *деления*. В метаболический период в ядре имеется также одно или несколько сферических гранул-ядрышек. Вещество ядрышка состоит из сильно переплетенных нитей – нуклеонемы и содержит около 80% белка, 10-15% РНК и некоторое количество ДНК. В ядрышке имеются рибосомы. Ядрышко формируется на определенных участках хромосомы, называемых *ядрышковым организатором*, таким образом, являясь производным хромосомы. Основная функция ядрышка состоит в том, что в нем синтезируется рибосомальная РНК и происходит сборка субъединиц рибосом. Самосборка рибосом в дальнейшем происходит в цитоплазме. Разрушение ядрышка, например, с помощью ультрафиолетового облучения приводит к тому, что ядро теряет способность переходить к делению.

В период между делениями интерфазное ядро (рисунок 20) заполнено ядерным соком *нуклеоплазмой* переплетенными скрученными хроматиновыми нитями. Кроме нитей в ядре можно наблюдать глыбки хроматина. Хроматиновые нити состоят из ДНК и белков, гистоновых и негистоновых, небольшого количества РНК и липидов. Белки реагируют с ДНК, образуя дезоксиноклеопротеиды (ДНП). Хроматиновые нити имеют определенную структуру. Они представляют собой ряд «бусинок на нитке». Каждая бусинка – это глобула, образованная восемью молекулами основных белков гистонов, вокруг которой обвита молекула ДНК.

Эти глобулы получили название *нуклеосом*. Между нуклеосомами имеются участки двухспиральной молекулы ДНК, которые называют *линкерными*. Нуклеосомная нить ($d = 10$ нм) свертывается определенным образом и образует соленоид ($d = 20-30$ нм). Степень компактности образующейся структуры меняется в зависимости от условий и химических воздействий. Характерной чертой метаболического периода является процесс самовоспроизведения (удвоения) молекул ДНК. Лишь после удвоения молекул ДНК ядро переходит к делению.

При переходе к делению ядрышко исчезает, ядерная оболочка распадается на отдельные фрагменты, а хроматиновые нити уплотняются, их компактность возрастает во много раз и образуются особые тельца – *хромосомы*. Форма хромосом разнообразна и специфична для данного вида организмов. Длина хромосом достигает 20 мкм. В период профазы хромосомы состоят из двух продольных половинок – *хроматид*. В свою очередь в каждой хроматиде имеется нить ДНК, чрезвычайно компактно уложенная. Молекула ДНК длиной около 2 см уложена в хромосоме размером 20 мкм. Хромосомы дифференцированы по длине; в отдельных участках хромосом (локусах) расположены определенные гены, несущие информацию для образования белка. Известно, что каждый вид имеет свое постоянное число хромосом. Так, диплоидный набор хромосом для риса равен 14, фасоли – 22,

кукурузы – 20. Сущность митоза и заключается в равномерном распределении наследственного вещества между двумя образовавшимися клетками.

Тема 5. Деление клетки и реализация наследственной информации

5.1. Жизненный цикл клетки

Клетки многоклеточного организма чрезвычайно разнообразны по выполняемым функциям. В соответствии со специализацией клетки имеют разную продолжительность жизни. Так нервные клетки после завершения эмбриогенеза перестают делиться и функционируют на протяжении всей жизни организма. Клетки же других тканей (костного мозга, эпидермиса, эпителия тонкого кишечника) в процессе выполнения своей функции быстро погибают и замещаются новыми в результате клеточного деления. Деление клеток лежит в основе развития, роста и размножения организмов. Деление клеток также обеспечивает самообновление тканей на протяжении жизни организма и восстановление их целостности после повреждения. Существует два способа деления соматических клеток: *амитоз* и *митоз*. Преимущественно распространено не прямое деление клеток (митоз). Размножение с помощью митоза называют бесполом размножением, вегетативным размножением или клонированием.

Жизненный цикл клетки (клеточный цикл) – это существование клетки от деления до следующего деления или смерти. Продолжительность клеточного цикла в размножающихся клетках составляет 10-50 ч и зависит от типа клеток, их возраста, гормонального баланса организма, температуры и других факторов. Детали клеточного цикла варьируют среди разных организмов. У одноклеточных организмов жизненный цикл совпадает с жизнью особи. В непрерывно размножающихся тканевых клетках клеточный цикл совпадает с митотическим циклом.

Митотический цикл – совокупность последовательных и взаимосвязанных процессов в период подготовки клетки к делению и период деления (рис 1). В соответствие с приведенным выше определением митотический цикл подразделяют на *интерфазу* и *митоз* (греч. “*митос*” – *нить*).

Интерфаза – период между двумя делениями клетки – подразделяется на фазы G_1 , S и G_2 (ниже указана их продолжительность, типичная для растительных и животных клеток.). По продолжительности интерфаза составляет большую часть митотического цикла клетки. Наиболее переменны по времени G_1 и G_2 -периоды.

G_1 (от англ. *grow* – *расти, увеличиваться*). Продолжительность фазы составляет 4–8 ч. Это фаза начинается сразу после образования клетки. В этой фазе в клетке усиленно синтезируются РНК и белки, повышается активность ферментов, участвующих в синтезе ДНК. Если клетка в дальнейшем не делится, то переходит в фазу G_0 – период покоя. С учетом периода покоя клеточный цикл может длиться недели или даже месяцы (клетки печени).

S (от англ. *synthesis* – *синтез*). Длительность фазы составляет 6–9 ч. Масса клетки продолжает увеличиваться, и происходит удвоение хромосомной ДНК. Две спирали старой молекулы ДНК расходятся, и каждая становится матрицей для синтеза новых цепей ДНК. В результате каждая из двух дочерних молекул обязательно включает одну старую спираль и одну новую. Тем не менее хромосомы остаются одинарными по структуре, хотя и удвоенными по массе, так как две копии каждой хромосомы (хроматиды) все еще соединены друг с другом по всей длине. После завершения фазы *S* митотического цикла клетка не сразу начинает делиться.

*G*₂. В этой фазе в клетке завершается процесс подготовки к митозу: накапливается АТФ, синтезируются белки ахроматинового веретена, удваиваются центриоли. Масса клетки продолжает увеличиваться до тех пор, пока она приблизительно вдвое не превысит начальную, а затем наступает митоз.

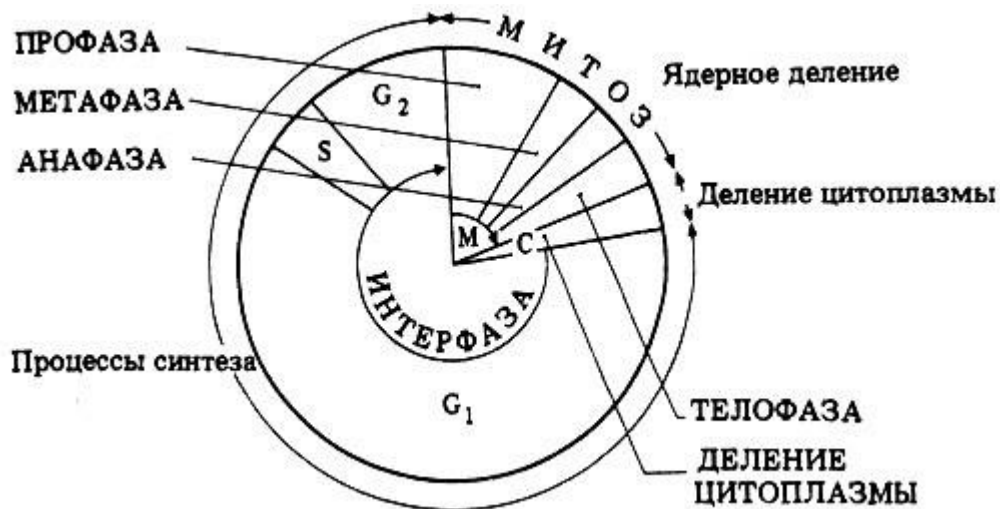


Рисунок 5.1. Митотический цикл: Митоз; *G*₁ – пресинтетический период, *S* – синтетический период, *G*₂ – постсинтетический период

5.2. Митоз. Стадии митоза, их продолжительность и характеристика. Амитоз

Митоз условно разделяют на четыре фазы: *профазу*, *метафазу*, *анафазу* и *телофазу*.

Профаза. Две центриоли начинают расходиться к противоположным полюсам ядра. Ядерная мембрана разрушается; одновременно специальные белки объединяются, формируя микротрубочки в виде нитей. Центриоли, расположенные теперь на противоположных полюсах клетки, оказывают организующее воздействие на микротрубочки, которые в результате выстраиваются радиально, образуя структуру, напоминающую по внешнему виду цветок астры («звезда»). Другие нити из микротрубочек протягиваются от одной центриоли к другой, образуя веретено деления. В это время хромосомы спирализуются и вследствие этого утолщаются. Они хорошо видны в световом микроскопе, особенно после окрашивания. Считывание генетической информации с молекул ДНК становится невозможным: синтез

РНК прекращается, ядрышко исчезает. В профазе хромосомы расщепляются, но хроматиды все еще остаются скрепленными попарно в зоне центромеры. Центромеры тоже оказывают организующее воздействие на нити веретена, которые теперь тянутся от центриоли к центромере и от нее к другой центриоли.

Метафаза. В метафазе спирализация хромосом достигает максимума, и укороченные хромосомы устремляются к экватору клетки, располагаясь на равном расстоянии от полюсов. Образуется *экваториальная, или метафазная, пластинка*. На этой стадии митоза отчетливо видна структура хромосом, их легко сосчитать и изучить их индивидуальные особенности. В каждой хромосоме имеется область первичной перетяжки – центромера, к которой во время митоза присоединяются нить веретена деления и плечи. На стадии метафазы хромосома состоит из двух хроматид, соединенных между собой только в области центромеры.

В *анафазе* вязкость цитоплазмы уменьшается, центромеры разъединяются, и с этого момента хроматиды становятся самостоятельными хромосомами. Нити веретена деления, прикрепленные к центромерам, тянут хромосомы к полюсам клетки, а плечи хромосом при этом пассивно следуют за центромерой. Таким образом, в анафазе хроматиды удвоенных еще в интерфазе хромосом точно расходятся к полюсам клетки (рис. 5.2). В этот момент в клетке находятся два диплоидных набора хромосом ($4n4c$).

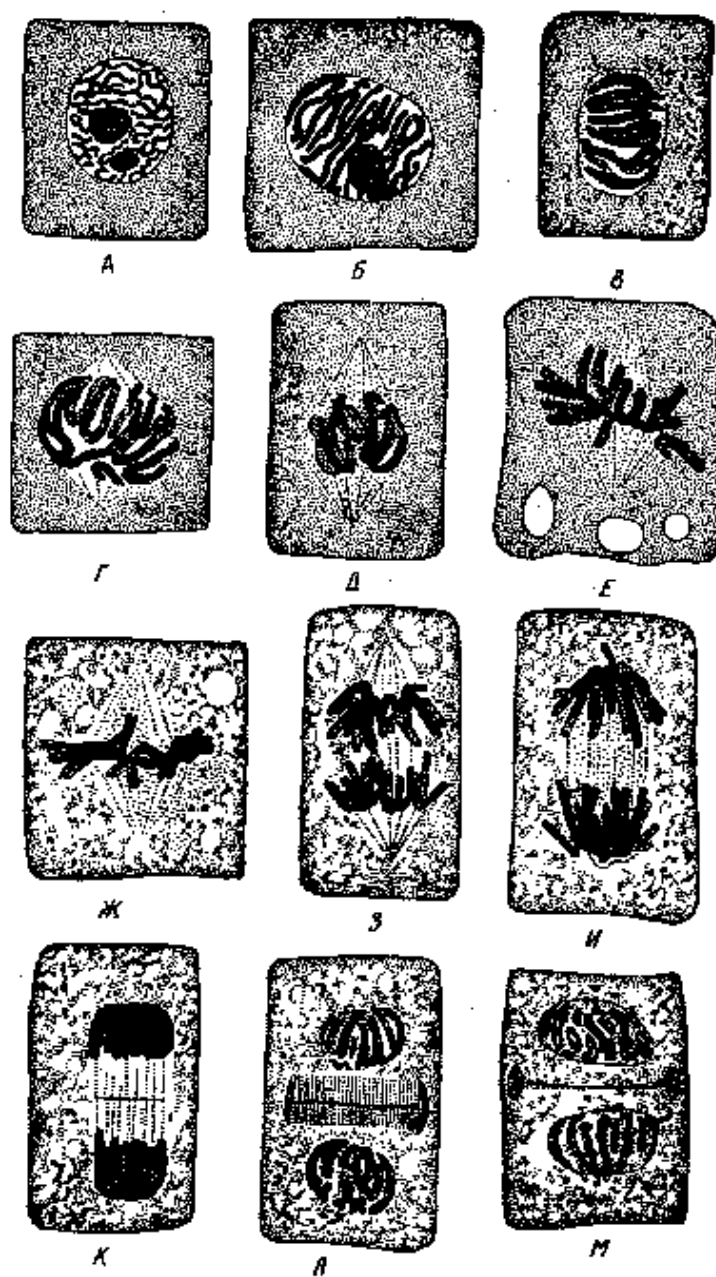


Рисунок 5.2. Митоз растительной клетки. А – интерфаза; Б, В, Г, Д – профаза; Е, Ж – метафаза; З, И – анафаза; К, Л, М – телофаза

Таблица 5.1 Митотический цикл и митоз

Фазы		Процесс, происходящий в клетке
Интерфаза	<i>Пресинтетический период (G1)</i>	Синтез белка. На деспирализованных молекулах ДНК синтезируется РНК
	<i>Синтетический период (S)</i>	Синтез ДНК – самоудвоение молекулы ДНК. Построение второй хроматиды, в которую переходит вновь образовавшаяся молекула ДНК: получаются двуххроматидные хромосомы
	<i>Постсинтетический период (G2)</i>	Синтез белка, накопление энергии, подготовка к делению
Фазы митоза	Профаза	Двуххроматидные хромосомы спирализуются, ядрышки растворяются, центриоли расходятся, ядерная оболочка растворяется, образуются нити веретена деления
	Метафаза	Нити веретена деления присоединяются к центромерам хромосом, двуххроматидные хромосомы сосредотачиваются на экваторе клетки
	Анафаза	Центромеры делятся, однохроматидные хромосомы растягиваются нитями веретена деления к полюсам клетки
	Телофаза	Однохроматидные хромосомы деспирализуются, формируется ядрышко, восстанавливается ядерная оболочка, на экваторе начинает закладываться перегородка между клетками, растворяются нити веретена деления

В *телофазе* хромосомы раскручиваются, деспирализуются. Из мембранных структур цитоплазмы образуется ядерная оболочка. В это время восстанавливается ядрышко. На этом завершается деление ядра (кариокинез), затем происходит деление тела клетки (или цитокинез). При делении животных клеток на их поверхности в плоскости экватора появляется борозда, постепенно углубляющаяся и разделяющая клетку на две половины – дочерние клетки, в каждой из которых имеется по ядру. У растений деление происходит путем образования так называемой клеточной пластинки, разделяющей цитоплазму: она возникает в экваториальной области веретена, а затем растет во все стороны, достигая клеточной стенки

(т.е. растёт изнутри кнаружи). Клеточная пластинка формируется из материала, поставляемого эндоплазматической сетью. Затем каждая из дочерних клеток образует на своей стороне клеточную мембрану и, наконец, на обеих сторонах пластинки образуются целлюлозные клеточные стенки. Особенности протекания митоза у животных и растений приведены в таблице 5.2.

Так из одной клетки формируются две дочерние, в которых наследственная информация точно копирует информацию, содержащуюся в материнской клетке. Начиная с первого митотического деления оплодотворенной яйцеклетки (зиготы) все дочерние клетки, образовавшиеся в результате митоза, содержат одинаковый набор хромосом и одни и те же гены. Следовательно, митоз – это способ деления клеток, заключающийся в точном распределении генетического материала между дочерними клетками. В результате митоза обе дочерние клетки получают диплоидный набор хромосом.

Таблица 5.2 Особенности митоза у растений и у животных

<i>Растительная клетка</i>	<i>Животная клетка</i>
Центриолей нет Звезды не образуются Образуется клеточная пластинка При цитокенезе борозда не образуется Митозы преимущественно происходят в меристемах	Центриоли имеются Звезды образуются Клеточная пластинка не образуется При цитокинезе образуется борозда Митозы происходят в различных тканях организма

Весь процесс митоза занимает в большинстве случаев от 1 до 2 часов. Частота митоза в разных тканях и у разных видов различна. Например, в красном костном мозге человека, где каждую секунду образуется 10 млн эритроцитов, в каждую секунду должно происходить 10 млн. митозов. А в нервной ткани митозы крайне редки: так, в центральной нервной системе клетки в основном перестают делиться уже в первые месяцы после рождения; а в красном костном мозге, в эпителиальной выстилке пищеварительного тракта и в эпителии почечных канальцев они делятся до конца жизни.

5.3. Регуляция митоза, вопрос о пусковом механизме митоза.

Факторы, побуждающие клетку к митозу точно не известны. Но полагают, что большую роль играет фактор соотношения объемов ядра и цитоплазмы (ядерно-плазменное соотношение). По некоторым данным, отмирающие клетки продуцируют вещества, способные стимулировать деление клетки. Белковые факторы, отвечающие за переход в фазу М, первоначально были идентифицированы на основе экспериментов по слиянию клеток. Слияние клетки, находящейся в любой стадии клеточного

цикла, с клеткой находящейся в М фазе, приводит к вхождению ядра первой клетки в М фазу. Это означает, что в клетке находящейся в М фазе существует цитоплазматический фактор способный активировать М фазу. Позднее этот фактор был вторично обнаружен в экспериментах по переносу цитоплазмы между ооцитами лягушки, находящимися на различных стадиях развития, и был назван "фактором созревания" MPF (maturationpromotingfactor). Дальнейшее изучение MPF показало, что этот белковый комплекс детерминирует все события М-фазы. На рисунке показано, что распад ядерной мембраны, конденсация хромосом, сборка веретена, цитокинез регулируются MPF.

Митоз тормозится высокой температурой, высокими дозами ионизирующей радиации, действием растительных ядов. Один из таких ядов называется колхицин. С его помощью можно остановить митоз на стадии метафазной пластинки, что позволяет подсчитать число хромосом и дать каждой из них индивидуальную характеристику, т. е. провести кариотипирование.

5.4. Амитоз

Амитоз (от греч.а – отриц. частица и митоз) – прямое деление интерфазного ядра путем перешнуровывания без преобразования хромосом. При амитозе не происходит равномерное расхождение хроматид к полюсам. И это деление не обеспечивает образование генетически равноценных ядер и клеток. По сравнению с митозом амитоз более кратковременный и экономичный процесс. Амитотическое деление может осуществляться несколькими способами. Наиболее распространенный тип амитоза – это перешнуровывание ядра на две части. Этот процесс начинается с разделения ядрышка. Перетяжка углубляется, и ядро разделяется надвое. После этого начинается деление цитоплазмы, однако это происходит не всегда. Если амитоз ограничивается только делением ядра, то это приводит к образованию дву- и многоядерных клеток. При амитозе может также происходить почкование и фрагментация ядер.

Клетка, претерпевшая амитоз, в последующем не способна вступить в нормальный митотический цикл.

Амитоз встречается в клетках различных тканей растений и животных. У растений амитотическое деление довольно часто встречается в эндосперме, в специализирующихся клетках корешков и в клетках запасющих тканей. Амитоз также наблюдается в высокоспециализированных клетках с ослабленной жизнеспособностью или дегенерирующих, при различных патологических процессах, таких как злокачественный рост, воспаление и т. п.

5.5. Мейоз, стадии и разновидности мейоза. Различия между митозом и мейозом

Мейоз (от греч. *meiosis* – уменьшение) – это особый способ деления клеток, в результате которого происходит редукция (уменьшение) числа хромосом и переход клеток из диплоидного состояния $2n$ в гаплоидное n . Этот вид деления был впервые описан В. Флемингом в 1882 г. у животных и Э. Страсбургером в 1888 г. у растений. Мейоз включает два последовательных деления: *первое (редукционное) и второе (эквационное)*. В каждом делении выделяют 4 фазы: *профаза, метафаза, анафаза, телофаза*. Все фазы первого мейотического деления обозначают цифрой I, а все фазы второго деления – цифрой II. Мейозу предшествует интерфаза, в процессе которой происходит удвоение ДНК и клетки вступают в мейоз с хромосомным набором $2n4c$ (n – хромосомы, c – хроматиды).

Профаза I мейоза отличается значительной продолжительностью и сложностью. Ее условно разделяют на пять последовательных стадий: *лептотена, зиготена, пахитена, диплотена и диакинез*. Каждая из этих стадий обладает своими отличительными особенностями.

Лептотена (стадия тонких нитей). Для этой стадии характерно наличие тонких и длинных хромосомных нитей. Число хромосомных нитей соответствует диплоидному числу хромосом. Каждая хромосомная нить состоит из двух хроматид, соединенных общим участком – центромерой. Хроматиды очень близко сближены, и поэтому каждая хромосома кажется одиночной.

Зиготена (стадия соединения нитей). Моментом перехода лептотены в зиготену считают начало синапса. *Синапс* – процесс тесной конъюгации двух гомологичных хромосом. Подобная конъюгация отличается высокой точностью. Конъюгация часто начинается с того, что гомологичные концы двух хромосом сближаются на ядерной мембране, а затем процесс соединения гомологов распространяется вдоль хромосом от обоих концов. В других случаях синапс может начаться во внутренних участках хромосом и продолжаться по направлению к их концам. В результате каждый ген входит в соприкосновение с гомологичным ему геном той же хромосомы. Такой тесный контакт между гомологичными участками хроматид обеспечивается благодаря специализированной структуре – *синаптонемальному комплексу*. Синаптонемальный комплекс представляет собой длинное белковое образование, напоминающее веревочную лестницу, к противоположным сторонам которого плотно прилегают два гомолога.

Пахитена (стадия толстых нитей). Как только завершается синапс по всей длине хромосом, клетки вступают в стадию пахитены, на которой они могут оставаться несколько суток. Соединение гомологов становится столь тесным, что уже трудно отличить две отдельные хромосомы. Однако это пары хромосом, которые называют *бивалентами*. В этой стадии происходит *кроссинговер, или перекрест хромосом*.

Кроссинговер (от англ. *crossingover* – пересечение, скрещивание) – взаимный обмен гомологичными участками гомологичных хромосом. В результате кроссинговера хромосомы несут комбинации генов в новом

сочетании. Например, ребенок родителей, один из которых имеет темные волосы и карие глаза, а другой – светловолосый и голубоглазый, может иметь карие глаза и светлые волосы.

Диплотена (стадия двойных нитей). Стадия диплотены начинается с разделения конъюгировавших хромосом. Процесс отталкивания начинается в области центромеры и распространяется к концам. В это время хорошо видно, что бивалент состоит из двух хромосом (откуда и название стадии «двойные нити»), и что каждая хромосома состоит из двух хроматид. Всего в биваленте структурно обособлены четыре хроматиды, поэтому бивалент называют тетрадой. В это же время становится видно, что тела двух гомологичных хромосом переплетаются. Фигуры перекрещенных хромосом напоминают греческую букву «хи» (χ), поэтому места перекреста называли *хиазмами*. Наличие хиазм связано с произошедшим кроссинговером. По мере прохождения этой стадии хромосомы как бы раскручиваются, происходит перемещение хиазм от центра к концам хромосом (терминализация хиазм). Это обеспечивает возможность движения хромосом к полюсам в анафазе.

Диакинез. Диплотена незаметно переходит в диакинез, завершающую стадию профазы I. На этой стадии биваленты, которые заполняли весь объем ядра, начинают перемещаться ближе к ядерной оболочке. К концу диакинеза контакт между хроматидами сохраняется на одном или обоих концах. Исчезновение оболочки ядра и ядрышек, а также окончательное формирование веретена деления завершают профазу I.

Метафаза I. В метафазе I биваленты располагаются в экваториальной плоскости клетки. Нити веретена прикрепляются к центромерам гомологичных хромосом.

Анафаза I. В анафазе I к полюсам отходят не хроматиды, как при митозе, а гомологичные хромосомы из каждого бивалента. В этом принципиальное отличие мейоза от митоза. При этом расхождение гомологичных хромосом носит случайный характер.

Телофаза I очень короткая, в процессе ее идет формирование новых ядер. Хромосомы деконденсируются и деспирализуются. Так заканчивается редукционное деление, и клетка переходит в короткую интерфазу, после которой наступает второе мейотическое деление. От обычной интерфазы эта интерфаза отличается тем, что в ней не происходит синтеза ДНК и дубликации хромосом, хотя синтез РНК, белка и других веществ может происходить.

Цитокинез у многих организмов происходит не сразу после деления ядер, так что в одной клетке лежат два ядра более мелких, чем исходное.

Затем наступает второе деление мейоза, сходное с обычным митозом.

Профаза II очень короткая. Она характеризуется спирализацией хромосом, исчезновением ядерной оболочки, ядрышка, формированием веретена деления.

Метафаза II. Хромосомы располагаются в экваториальной плоскости. Центромеры, соединяющие пары хроматид, делятся (в первый и

единственный раз в течение мейоза), что свидетельствует о начале анафазы II.

В анафазе II хроматиды расходятся и быстро увлекаются нитями веретена от плоскости экватора к противоположным полюсам.

Телофаза II. Для этой стадии характерно деспирализация хромосом, образование ядер, цитокинез. В итоге из двух клеток мейоза I в телофазе II образуются четыре клетки с гаплоидным числом хромосом. Описанный процесс типичен для образования мужских половых клеток. Образование женских половых клеток идет аналогично, но при овогенезе развивается лишь одна яйцеклетка, а три мелких направительных (редукционных) тельца впоследствии отмирают. Направительные тельца несут полноценные хромосомные наборы, но практически лишены цитоплазмы и вскоре погибают. Биологический смысл образования этих телец заключается в необходимости сохранения в цитоплазме яйцеклетки максимального количества желтка, потребного для развития будущего зародыша.

Таким образом, для мейоза характерно два деления: в ходе первого расходятся хромосомы, в ходе второго – хроматиды.

Разновидности мейоза. В зависимости от места в жизненном цикле организма выделяют три основных типа мейоза: *зиготный, или начальный, споровый, или промежуточный, гаметный, или конечный.* Зиготный тип происходит в зиготе сразу после оплодотворения и приводит к образованию гаплоидного мицелия или таллома, а затем спор и гамет. Этот тип характерен для многих грибов и водорослей. У высших растений наблюдается споровый тип мейоза, который проходит перед цветением и приводит к образованию гаплоидного гаметофита. Позднее в гаметофите образуются гаметы. Для всех многоклеточных животных и ряда низших растений свойственен гаметный, или конечный, тип мейоза. Протекает он в половых органах и приводит к образованию гамет.

Биологическое значение мейоза заключается в том, что:

- поддерживается постоянный кариотип в ряду поколений организмов, размножающихся половым путем (после оплодотворения образуется зигота, содержащая характерный для данного вида набор хромосом).
- обеспечивается рекомбинация генетического материала как на уровне целых хромосом (новые комбинации хромосом), так и на уровне участков хромосом.

Тема 6. Наследственность и изменчивость – важнейшие свойства организмов

6.1. Закономерности наследования. Законы Г. Менделя и Т. Моргана и условия их проявления

Генетика – наука о наследственности и изменчивости. *Наследственность* – это способность дочерних организмов быть похожими на своих родителей морфологическими, физиологическими,

биохимическими, поведенческими признаками и особенностями индивидуального развития в определенных условиях среды, а *изменчивость* – это свойство организмов отличаться от своих родителей этими же признаками и отклонениями в индивидуальном развитии. Процесс передачи генетической информации называется наследованием.

Основные закономерности наследования были открыты Г. Менделем (1865). В дальнейшем были описаны явления сцепления генов (Т. Морган и соавт., 1911), различные виды их взаимодействия, оказывающие влияние на процесс передачи и реализации признаков.

Гибридизация – это скрещивание особей, отличающихся по генотипу. Скрещивание, при котором у родительских особей учитывается одна пара альтернативных признаков, называется *моногибридным*, две пары признаков – *дигибридным*, более двух пар, – *полигибридным*.

Организм, содержащий в соматических клетках одинаковые аллельные гены (AA, aa), называется *гомозиготным*, а содержащий разные аллельные гены (Aa) – *гетерозиготным*.

Скрещивание животных и растений (гибридизация) проводилось человеком с незапамятных времен, однако установить закономерности передачи наследственных признаков не удавалось.

Моногибридное скрещивание

Первый закон Менделя – закон единообразия гибридов первого поколения. Г. Мендель скрещивал чистые линии растений гороха с желтыми и зелеными семенами (альтернативные признаки). Чистые линии – это организмы, не дающие расщепления при скрещивании с такими же по генотипу, т. е. они являются гомозиготными по данному признаку.

P AA×aa

G

F1 Aa

При анализе результатов скрещивания оказалось, что все потомки (гибриды) в первом поколении одинаковы по фенотипу (все растения имели горошины желтого цвета) и по генотипу (гетерозиготы).

Первый закон Менделя формулируется следующим образом: при скрещивании гомозиготных особей, анализируемых по одной паре альтернативных признаков, наблюдается единообразие гибридов первого поколения, как по фенотипу, так и по генотипу.

Второй закон Менделя – закон расщепления. При скрещивании гибридов первого поколения между собой (т. е. гетерозиготных особей) получается следующий результат:

P Aa×Aa

G (A) (a) × (A) (a)

F1 AA AaAaaa

Особи, содержащие хотя бы один доминантный ген А, имеют желтую окраску семян, а содержащие оба рецессивных гена (aa) – зеленую. Следовательно, у гибридов второго поколения соотношение особей по

фенотипу (окраске семян) – 3 : 1 (3 части с доминантным признаком Аа и АА, 1 часть – с рецессивным). Расщепление по генотипу: 1 часть особей – желтые гомозиготы (АА), 2 части – желтые гетерозиготы (Аа) и 1 часть – зеленые гомозиготы (аа). Второй закон Менделя формулируется следующим образом: при скрещивании гибридов первого поколения (гетерозиготных организмов), анализируемых по одной паре альтернативных признаков, наблюдается расщепление в соотношении 3 : 1 по фенотипу и 1 : 2 : 1 по генотипу.

Анализируя результаты расщепления признаков во втором поколении (появление рецессивных гомозигот) Мендель пришел к выводу, что в гетерозиготном состоянии наследственные факторы не смешиваются и не изменяют друг друга. В дальнейшем это представление получило цитологическое обоснование (расхождение гомологичных хромосом при мейозе) и было названо *гипотезой «чистоты гамет»* (У. Бэтсон, 1902). Ее можно свести к следующим двум основным положениям:

- у гибридного организма гены не гибридизируются (не смешиваются), а находятся в чистом аллельном состоянии;
- из аллельной пары в гамету попадает только один ген вследствие расхождения гомологичных хромосом и хроматид при мейозе.

Дигибридное скрещивание

Изучив наследование одной пары аллелей, Мендель решил проследить наследование двух признаков одновременно. С этой целью он использовал гомозиготные растения гороха, отличающиеся по двум парам альтернативных признаков: семена желтые гладкие и зеленые морщинистые.

В результате такого скрещивания в первом поколении он получил растения с желтыми гладкими семенами. Этот результат показал, что закон единообразия гибридов первого поколения проявляется не только при моногибридном, но и при дигибридном скрещивании, если родительские формы

гомозиготны.

P AABV × aabb

G (AB) × (ab)

F1 AaBb

Затем он скрестил гибриды первого поколения между собой: P(F1) AaBb × AaBb. Для анализа результатов дигибридного скрещивания обычно используют решетку Пеннета:

Гаметы ♂ ♀	AB	Ab	aB	ab
AB	AABV	AABv	AaBV	AaBv
Ab	AABv	AAbb	AaBv	Aabb
aB	AaBV	AaBv	aaBV	aaBv
ab	AaBv	Aabb	aaBv	aabb

В результате свободного комбинирования гамет в зиготах получают разные сочетания генов.

Для записи результатов скрещивания применяют фенотипический радикал – краткую запись генотипа, сделанную на основе фенотипа. Например, запись А-В- означает, что у этого организма имеется два доминантных признака, так как, если в генотипе есть хотя бы один доминантный ген аллели, то независимо от второй аллели у организма проявляется доминантный признак.

Легко подсчитать, что по фенотипу потомство делится на 4 группы: 9 частей растений с горошинами желтыми гладкими (А-В-), 3 части – с желтыми морщинистыми (А-bb), 3 части – с зелеными гладкими (aaВ-) и 1 часть – с зелеными морщинистыми (aabb), т. е. происходит расщепление в соотношении 9 : 3 : 3 : 1, или $(3+1)^2$. Отсюда можно сделать вывод, что при скрещивании гетерозиготных особей, анализируемых по нескольким парам альтернативных признаков, в потомстве наблюдается расщепление по фенотипу в соотношении $(3+1)^n$, где n – число анализируемых признаков.

Если проанализировать расщепление по каждой из пар признаков (желтый и зеленый цвет, гладкая и морщинистая поверхность), то получится: 9 + 3 желтых (гладких) и 3 + 1 зеленых (морщинистых), соотношение 12 : 4 или 3 : 1. Следовательно, при дигибридном скрещивании каждая пара признаков в потомстве дает расщепление независимо от другой пары. Это является результатом случайного комбинирования генов (и соответствующих им признаков), что приводит к новым сочетаниям признаков, которых не было у родительских форм. В нашем примере исходные формы гороха имели желтые гладкие и зеленые морщинистые семена, а во втором поколении получены растения не только с сочетанием родительских признаков, но и с новыми сочетаниями – желтыми морщинистыми и зелеными гладкими семенами (рекомбинантные формы).

Отсюда вытекает третий закон Менделя – закон независимого наследования признаков: при скрещивании гомозиготных организмов, анализируемых по двум (или более) парам альтернативных признаков, во втором поколении наблюдается независимое наследование признаков и комбинирование генов разных аллельных пар.

У. Сеттон и Р. Пеннет в 1908 г. обнаружили отклонения от свободного комбинирования признаков согласно третьему закону Менделя. В 1911–1912 гг. Т. Морган с соавторами описали явление сцепления генов – совместной передачи группы генов из поколения в поколение.

Опыты проводились на мухах дрозофилах с учетом двух пар альтернативных признаков – серый и черный цвет тела, нормальные и короткие крылья. При скрещивании гомозиготных особей с серым телом и нормальными крыльями с особями с черным телом и короткими крыльями получено единообразие первого поколения, особи которого имели доминантные признаки:

PBBVV × bbvv

G

F1 BbVv

VBbv

Основные положения хромосомной теории наследственности (Т. Морган с соавт., 1911) сводятся к следующему:

- гены расположены в хромосомах в линейном порядке в определенных локусах; аллельные гены занимают одинаковые локусы в гомологичных хромосомах;
- гены, расположенные в одной паре гомологичных хромосом, образуют группу сцепления; число групп сцепления равно гаплоидному набору хромосом;
- между гомологичными хромосомами возможен обмен аллельными генами (кроссинговер);
- процент кроссинговера пропорционален расстоянию между генами; единица расстояния – морганида – равна 1% кроссинговера.

Зная расстояние между генами, можно построить карту хромосомы.

Генетическая карта хромосомы представляет собой отрезок прямой, на котором схематично обозначен порядок расположения генов и указано расстояние между ними в морганидах. Она строится на основе результатов анализирующего скрещивания.

Цитологическая карта хромосомы представляет собой фотографию или точный рисунок хромосомы, на котором отмечается последовательность расположения генов, и гены приурочены к определенной структуре хромосомы. Ее строят на основе сопоставления результатов анализирующего скрещивания и хромосомных перестроек. Например, если хромосома с доминантными генами будет последовательно терять отдельные локусы (при воздействии на нее мутагенов), то в гетерозиготе начнут проявляться рецессивные признаки. Порядок появления признаков будет указывать на последовательность расположения генов.

6.2.Изменчивость

Изменчивость – свойство, противоположное наследственности; это способность живых систем приобретать под действием факторов среды новые признаки (морфологические, физиологические, биохимические) и особенности индивидуального развития, отличающие их от родительских форм.

Генетическая информация определяет потенции развития свойств и признаков организма, которые реализуются в определенных условиях среды. Одна и та же наследственная информация в разных условиях проявляется по-разному. Примером могут служить монозиготные близнецы, воспитываемые в разных семьях. У гималайских кроликов и сиамских кошек действие низкой температуры на участки кожи вызывает появление на них темной шерсти. Следовательно, наследуется не готовый признак, а определенный тип реакции на воздействия внешней среды.

Степень фенотипического проявления данного гена называется экспрессивностью. Она зависит от факторов внешней среды и влияния других генов.

Факторы среды и другие гены могут подавлять фенотипическое проявление гена. Частота проявления гена называется *пенетрантностью*. Пенетрантность выражается в процентном отношении числа особей, имеющих данный признак, к числу особей, имеющих данный ген.

Фенокопия – это ненаследственное изменение фенотипа организма, вызванное действием определённых условий среды и копирующее проявление какой-либо известной мутации. Например, прием алкоголя во время беременности может привести к развитию алкогольной эмбриопатии – комплексу нарушений развития зародыша, копирующему некоторые наследственные синдромы множественных наследственных пороков (синдром Дубовица, Дауна и др.).

Генокопия – это одинаковое фенотипическое проявление мутаций разных генов. Примером генокопий могут служить различные виды гемофилии, клинически проявляющиеся понижением свертываемости крови, которые вызваны недостаточностью восьмого или девятого факторов свертывающей системы (гемофилия А и В соответственно).

Модификационная изменчивость

Модификационная изменчивость – это изменения фенотипа без изменений структуры генотипа. Она происходит при непосредственном воздействии факторов внешней среды на ферментативные реакции, протекающие в организме, и носит групповой адаптивный (приспособительный) характер. Например, у растения водяной лютик листья имеют разнообразную форму: под водой – стреловидные, на границе воды и воздуха – рассеченные, над водой – в виде сплошной пластинки. Так как при модификациях не происходит изменений структуры генетического материала, то эта форма изменчивости является ненаследственной. Дарвин называл ее *определенной* (предсказуемой, или групповой), потому что особи одного вида в одинаковых условиях среды изменяются однотипно. Таким образом, для модификаций характерно, что они не наследуются, предсказуемые, адаптивные, носят массовый характер.

Границы модификационной изменчивости называются *нормой реакции*, которая определяется генотипом. Она может быть узкой, когда признак изменяется незначительно (например, жирность молока у крупного рогатого скота) и широкой, когда признак изменяется в широких пределах (например, количество молока).

Онтогенетическая изменчивость отражает реализацию закономерных изменений в ходе индивидуального развития организма. Изменяться могут морфологические, физиологические, биохимические, поведенческие и другие особенности организма. Время и последовательность этих изменений в онтогенезе определяется генотипом. Основными механизмами онтогенетической изменчивости являются: изменения активности генов,

различия в продукции гормонов железами внутренней секреции и изменения соотношения роста и дифференцировки клеток и тканей в процессе индивидуального развития. Примерами такой изменчивости могут служить: закономерное и постепенное физическое и умственное развитие человека, смена молочных зубов на постоянные, развитие вторичных половых признаков; поседение волос, потеря эластичности кожи и ломкость костей в старости и др.

Онтогенетическая изменчивость играет определенную роль в проявлении наследственной патологии у человека. Ряд наследственной и врожденной патологии проявляется в эмбриогенезе (полидактилия, ахондроплазия), многие в детском возрасте (фенилкетонурия, гемофилия), некоторые в зрелом (подагра у мужчин после 40 лет).

Комбинативная изменчивость

Комбинативная изменчивость – появление новых признаков у потомков, вследствие новых сочетаний генов их родителей, возникшие в процессе образования гамет и зигот. Например, если у родителей I и IV группы крови, то у детей может быть, либо II, либо III группы.

Мутационная изменчивость

Мутация – это скачкообразное, устойчивое изменение генетического материала под влиянием факторов внешней или внутренней среды, передающееся по наследству.

Свойства мутаций: возникают внезапно; наследуются; ненаправленны, неопределенны; неадаптивны; могут возникать повторно; являются материалом для отбора.

Процесс образования мутаций называется *мутагенезом*, а факторы, вызывающие мутации, – *мутагенами*. Мутагены первоначально воздействуют на генетический материал особи, вследствие чего может измениться фенотип. Это могут быть экзомутагены (факторы внешней среды) и эндомутагены (продукты метаболизма самого организма). Мутагенные факторы подразделяют на физические, химические и биологические.

К *физическим мутагенам* относятся различные виды излучений (преимущественно ионизирующие – α -, β - и γ -лучи, космическое и ультрафиолетовое излучения, рентгеновские лучи), температура, влажность и др.

К *химическим мутагенам* относятся: природные органические и неорганические вещества (нитриты, нитраты, алкалоиды, гормоны, ферменты и др.); продукты промышленной переработки природных соединений – угля, нефти; синтетические вещества, ранее не встречавшиеся в природе (пестициды, инсектициды, пищевые консерванты, моющие средства, дезодоранты); лекарственные препараты, которые могут также вызывать у человека врожденные пороки развития (иммуносупрессанты, некоторые антибиотики, наркотические вещества, синтетические кортикостероиды и др.). Химические мутагены обладают большой проникающей способностью,

вызывают преимущественно генные мутации и действуют в период репликации ДНК.

К *биологическим мутагенам* относятся: вирусы (краснухи, кори, гриппа); невирусные паразитарные агенты (микоплазмы, бактерии, риккетсии); продукты метаболизма паразитов (токсоплазмы, кошачьего сосальщика, трихинеллы).

Супермутагены – это факторы (чаще химической природы) повышающие частоту мутаций в сотни-десятки тысяч раз (например, колхицин, этиленимин, иприт). Они используются для получения индуцированных мутаций в селекции.

Антимутагены значительно снижают частоту мутаций. К ним относятся около 200 природных и синтетических соединений:

- некоторые аминокислоты (гистидин, метионин и др.);
- витамины (токоферол, аскорбиновая кислота, каротин и др.);
- фармакологические средства (интерферон, антиоксиданты, оксипиридины и др.);
- пищевые продукты (некоторые виды бобов, черный перец, капуста, экстракт яблок и др.);
- биологические (амины, ферменты перекисного окисления липидов, этиловый спирт и др.). Ряд антимутагенов используют в качестве радиопротекторов.

Классификация мутаций

По причинам, вызвавшим мутации, их подразделяют на спонтанные и индуцированные. *Спонтанные* (самопроизвольные) мутации происходят под действием естественных мутагенных факторов среды без вмешательства человека. Например, ахондроплазия и некоторые наследственные болезни обмена веществ. Их причинами являются ошибки репликации и репарации ДНК, действие перекисей и альдегидов, образующихся в организме, различные виды естественных излучений. *Индукцированные мутации* – результат направленного воздействия определенных мутагенных факторов. Так, впервые в 1925 г. Г. А. Надсон и Г. С. Филиппов получили мутации у дрожжей под действием ионизирующей радиации.

По мутировавшим клеткам мутации подразделяются на гаметические (генеративные) и соматические. *Гаметические мутации* происходят в половых клетках, проявляются у потомков, передаются по наследству при половом размножении (например, гемофилия и фенилкетонурия). *Соматические мутации* происходят в соматических клетках, передаются по наследству только при вегетативном размножении и проявляются у самой особи (например, разный цвет глаз у одного человека, белая прядь волос, опухоли).

По исходу для организма мутации бывают: отрицательные – летальные, несовместимые с жизнью (например, гаплоидия у человека) и полуметальные – снижающие жизнеспособность организма (например, трисомия по 21 хромосоме); нейтральные – существенно не влияющие на процессы

жизнедеятельности (например, синонимичные транзиции и трансверсии,); положительные – повышающие жизнеспособность (например, полиплоидия у растений, обитающих в суровых климатических условиях). Положительные мутации возникают редко, но имеют большое значение для эволюции.

По преимущественным проявлениям у организмов мутации подразделяют на морфологические, физиологические, биохимические, поведенческие и др.

Морфологические мутации проявляются недоразвитием органов или систем органов, например, отсутствие или недоразвитие конечностей, пальцев, желудка и т. п.

Физиологические мутации нарушают нормальное течение физиологических процессов, например, нарушение пищеварения при галактоземии, затруднение передачи нервных импульсов при сфинголипидозах и др.

Биохимические мутации обусловлены нарушением продукции биологически активных веществ (гормонов, ферментов и т. п.), например, нарушение свертывания крови при гемофилиях.

Поведенческие мутации возникают в связи с нарушением развития мозга и при некоторых геномных мутациях, например, агрессивное поведение людей, имеющих в кариотипе несколько Y-хромосом.

Такое подразделение мутаций весьма условно, так как не бывает чисто морфологических, физиологических, биохимических и других мутаций. Морфологические изменения всегда сопровождаются нарушением функций, биохимические дефекты всегда сопровождаются нарушением структуры и функции и т. п.

По изменениям генетического материала мутации подразделяют на геномные, хромосомные и генные.

Геномные мутации обусловлены изменениями числа хромосом. К ним относятся полиплоидия, гаплоидия и анеуплоидия. Аномалии числа хромосом могут быть вызваны разными причинами.

Полиплоидия – это кратное гаплоидному увеличение числа хромосом в соматических клетках ($3n$, $4n$, $5n$, ...). Полиплоидия используется в селекции растений и приводит к повышению урожайности. У млекопитающих и человека это летальные мутации.

Гаплоидия ($1n$) – одинарный набор хромосом в соматических клетках, например, у трутней пчел. Жизнеспособность гаплоидов снижается, так как в этом случае проявляются все рецессивные гены, содержащиеся в единственном числе. Для млекопитающих и человека это летальная мутация.

Анеуплоидия – не кратное гаплоидному уменьшение или увеличение числа хромосом ($2n \pm 1$, $2n \pm 2$ и т. д.). Разновидности анеуплоидии:

- трисомия – три гомологичные хромосомы в кариотипе, например при синдроме Дауна (трисомия по 21-й хромосоме);

- моносомия – в наборе одна из пары гомологичных хромосом, например, при синдроме Шерешевского-Тернера (моносомия X). Моносомии

по всем другим парам хромосом являются для человека летальными мутациями. Иногда встречаются двойные, тройные (по двум и трем разным хромосомам) моно- и трисомии, тетрасомии и другие;

– нулисомия – отсутствие пары хромосом (летальная мутация).

Геномные мутации всегда проявляются фенотипически и легко обнаруживаются цитогенетическими методами.

Хромосомные мутации (абберрации) обусловлены изменением структуры хромосом. Они могут быть внутривхромосомными и межхромосомными.

К *внутривхромосомным мутациям* относятся перестройки внутри одной хромосомы: делеция, дупликация, трансдукция.

Генные (точковые) мутации, или трансгенации, связаны с изменениями структуры гена (молекулы ДНК). Генные мутации могут затрагивать как структурные, так и функциональные гены: «сдвиг рамки считывания», транзиция – замена оснований $A \leftrightarrow G$, $C \leftrightarrow T$, трансверсия – замена пуринового основания на пиримидиновое $A \leftrightarrow C$, $G \leftrightarrow T$.

Тема 7. Биосфера – высший уровень организации жизни

7.1. Строение биосферы. Общие сведения о строении Земли

Вокруг земного ядра (центральной части планеты) расположены концентрические слои, или оболочки, каждая из которых характеризуется соответствующим составом и свойствами вещества.

Внешняя газовая оболочка Земли – *атмосфера* – не имеет верхней резкой границы и постепенно переходит в космическое пространство. В атмосфере сосредоточено только около одной миллиардной части массы Земли.

Атмосфера, общая масса которой составляет $5,15 \cdot 10^{15}$ т, простирается вверх от поверхности Земли примерно до 3 тыс. км. С высотой меняются химический состав и физические свойства атмосферы, поэтому ее подразделяют на тропосферу, стратосферу, мезосферу, ионосферу (термосферу) и экзосферу.

Основная масса воздуха в атмосфере (до 80%) находится в нижнем, приземном слое – тропосфере. Толщина тропосферы в среднем 11-12 км: 8-10 км – над полюсами, 16-18 км – над экватором. При удалении от поверхности Земли в тропосфере происходит понижение температуры на 6°C на 1 км (рис. 7.1). На высоте 18-20 км плавное уменьшение температуры прекращается, она остается почти постоянной: $-60 \dots -70^{\circ}\text{C}$. Этот участок атмосферы называется тропопаузой. Следующий слой – стратосфера – занимает высоту 20-50 км от земной поверхности. В ней сосредоточена остальная (20%) часть воздуха. Здесь температура повышается при удалении от поверхности Земли на $1-2^{\circ}\text{C}$ на 1 км и в стратопаузе на высоте 50-55 км доходит до 0°C . Далее на высоте 55-80 км расположена мезосфера. При удалении от Земли температура понижается на $2-3^{\circ}\text{C}$ на 1 км, и на высоте 80 км, в мезопаузе, она достигает $-75 \dots -90^{\circ}\text{C}$. Термосфера и экзосфера,

занимающие высоты соответственно 80-1000 и 1000-2000 км, представляют собой наиболее разреженные части атмосферы. Здесь встречаются лишь отдельные молекулы, атомы и ионы газов, плотность которых в миллионы раз меньше, чем у поверхности Земли. Следы газов обнаружены до высоты 10-20 тыс. км.

Толщина воздушной оболочки сравнительно невелика при сопоставлении с космическими расстояниями: она составляет одну четвертую радиуса Земли и одну десятитысячную часть расстояния от Земли до Солнца. Плотность атмосферы на уровне моря равна $0,001 \text{ г/см}^3$, т.е. в тысячу раз меньше плотности воды.

Между атмосферой, земной поверхностью и другими сферами Земли происходит постоянный обмен теплом, влагой и газами, который вместе с циркуляцией воздушных масс в атмосфере влияет на основные климатообразующие процессы. Атмосфера защищает живые организмы от мощного потока космического излучения. Ежесекундно на верхние слои атмосферы обрушивается поток космических лучей: гамма, рентгеновские, ультрафиолетовые, видимые, инфракрасные. Если бы все они достигали земной поверхности, то в течение нескольких мгновений уничтожили бы все живое.

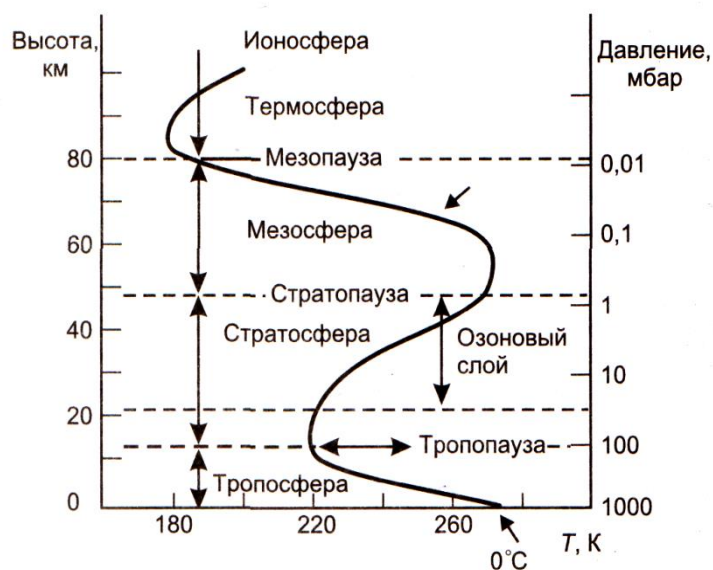


Рисунок 7.1 Схема строения атмосферы

Важнейшее защитное значение имеет озоновый экран. Он расположен в стратосфере на высоте от 20 до 50 км от поверхности Земли. Общее количество озона (O_3) в атмосфере оценивается в 3,3 млрд т. Мощность этого слоя сравнительно небольшая: суммарно она составляет 2 мм на экваторе и 4 мм у полюсов при нормальных условиях. Максимальная концентрация озона — 8 частей на миллион частей воздуха — находится на высоте 20-25 км.

Основное значение озонового экрана состоит в том, что он защищает живые организмы от жесткого ультрафиолетового излучения. Часть его энергии расходуется на реакцию: $3\text{O}_2 + 2\text{O}_3$. Озоновый экран поглощает ультрафиолетовые лучи с длиной волны около 290 нм и менее, поэтому до

земной поверхности доходят ультрафиолетовые лучи, полезные для высших животных и человека и губительные для микроорганизмов. Разрушение озонового слоя, замеченное в начале 1980-х гг., объясняется применением фреонов в холодильных установках и выбросом в атмосферу аэрозолей, применяемых в быту. Выбросы фреонов в мире тогда достигали 1,4 млн т в год, а вклад отдельных стран в загрязнение атмосферы фреонами составлял: 35% – США, 10% – Япония и Россия, 40% – страны ЕЭС, 5% – остальные страны. Согласованные меры позволили сократить поступление фреонов в атмосферу. Разрушительное воздействие на озоновый слой оказывают полеты сверхзвуковых самолетов и космических аппаратов.

Атмосфера защищает Землю от многочисленных метеоритов. Ежесекундно в атмосферу попадает до 200 млн метеоритов, доступных для наблюдения невооруженным глазом, но они сгорают в атмосфере. Замедляют свое движение в атмосфере мелкие частицы космической пыли. Ежедневно на Землю опускается около 1 мелких метеоритов. Это приводит к увеличению массы Земли 1 тыс. т в год. Атмосфера является теплоизоляционным фильтром. Без атмосферы перепад температур на Земле в сутки достигал бы 200 °С (от 100 °С днем до -100 °С ночью).

Гидросфера – водная среда, которая включает поверхностные и подземные воды. Гидросфера занимает большую часть площади нашей планеты, средняя толщина, или мощность, составляет 3790 м, а масса $1,4 \times 10^{21}$ т. Это соответствует 1/800 части общего объема планеты.

Поверхностные воды в основном сосредоточены в Мировом океане, содержащем около 91% всей воды на Земле. Поверхность Мирового океана (акватория) составляет 361 млн км². Она примерно в 2,4 раза больше площади суши – территории, занимающей 149 млн км². Если распределить воду ровным слоем, то она покроет Землю толщиной 3000 м.

Вода в океане (94%) и под землей – соленая. Количество пресной воды составляет 6 % общего объема воды на Земле, причем очень малая ее доля (всего 0,36%) имеется в легкодоступных для добычи местах. Большая часть пресной воды содержится в снегах, пресноводных айсбергах и ледниках (1,7%), находящихся в районах в основном Южного полярного круга, а также глубоко под землей (4%). Годовой мировой речной сток пресной воды составляет 37,3 – 45 тыс. км³. Кроме того, может использоваться часть подземных вод, равная 13 тыс. км³ (рис. 7.2).

В настоящее время человечество использует 3,8 тыс. км³ воды ежегодно, причем можно увеличить потребление максимум до 12 тыс. км³. При нынешних темпах роста потребления воды этого хватит на ближайшие 25 – 30 лет. Выкачивание грунтовых вод приводит к оседанию почвы и зданий (в Мехико и Бангкоке) и понижению уровней подземных вод на десятки метров (в Маниле).

Каждый житель Земли в среднем потребляет 650 м³ воды в год (1780 л в сутки). Однако для удовлетворения физиологических потребностей достаточно 2,5 л в день, т.е. около 1 м³ в год. Большое количество воды

требуется сельскому хозяйству (69%) главным образом для орошения; 23% воды потребляет промышленность; 6% расходуется в быту.

С учетом потребностей воды для промышленности и сельского хозяйства расход воды в нашей стране от 125 до 350 л в сутки на человека.

В развитых странах на каждого жителя приходится 200 – 300 л воды в сутки, Нью-Йорке – более 1000 л., Париже – 500 л., Лондоне – 300 л. В то же время 60 % суши не имеет достаточного количества пресной воды. Четвертая часть человечества (примерно 1,5 млн) ощущает ее недостаток, а еще 500 млн страдают от недостатка и плохого качества питьевой воды, что приводит к кишечным заболеваниям.

Не только пресные, но и соленые воды используются человеком, в частности для рыболовства.

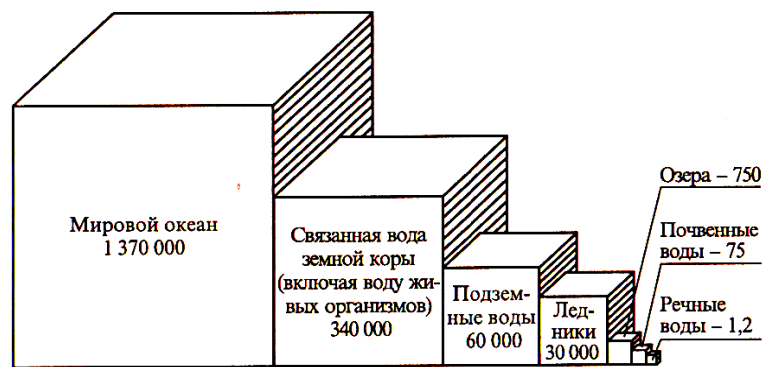


Рисунок 7.2 Распределение воды в гидросфере

Твердая земная кора ограничена сверху атмосферой и гидросферой снизу поверхностью мантии Земли. Ее средняя мощность достигает 33 км. Масса коры составляет 0,8% общей массы Земли, а ее плотность изменяется в пределах 2,7 – 2,9 г/см³. Кора сложена твердыми горными породами.

Ниже, до глубины 2900 км, располагается **мантия** Земли. Мантия Земли разделяется на верхнюю до глубины 950 км и нижнюю до 2900 км, характеризуется более однородным строением и непрерывным (по мере углубления) возрастанием плотности вещества от 3,5 до 5,6 г/см³, а также повышением температуры. На долю мантии приходится 41% массы Земли.

В пределах верхней мантии Земли, не превышающей глубину 410 км обнаружен слой, характеризующийся своеобразным состоянием вещества, менее вязким и более пластичным, чем выше- и нижележащие слои Земли. Этот слой менее плотных "размягченных" горных пород, называемый *астеносферой*, рассматривается как слой относительно подвижного состояния вещества, что обусловлено его частичным плавлением. В пределах астеносферы лежат обычно очаги питания вулканов и осуществляется перемещение подкорковых масс, которые сопровождаются изменением формы залегания, объема, внутренней структуры и взаимного расположения тел горных пород.

Земная кора и часть верхней мантии, расположенной выше астеносферы, образуют единый жесткий слой, называемый *литосферой*.

Литосфера (греч. *litos* – камень) – это внешняя твердая оболочка земного шара, состоящая из двух слоев: верхнего из осадочных пород с гранитом и нижнего – базальта. Литосфера по существу является своеобразной геосферой, отделенной от остальной части мантии активным поясом астеносферы. Земная кора имеет среднюю толщину (мощность) 33 км и состоит из твердых каменных масс (минералов и горных пород). По своему составу и мощности она неодинакова в различных ее частях. Раздел между корой и расположенной мантией Земли был установлен югославским ученым Ч. Мохоровичем и назван по его имени (раздел Мохоровича). Ниже раздела (границы) плотность вещества увеличивается до $3,3 \text{ г/см}^3$.

На основе различия в составе и мощности выделяют три типа земной коры: 1) материковая; 2) океаническая; 3) кора переходных областей.

Кроме отмеченных выше оболочек земли, закономерно сменяют друг друга от верхних границ атмосферы к центру Земли, выделяется биосфера, которую также называют сферой жизни.

Биосфера (от греч. *bios* – жизнь и *sphaira* – шар) – оболочка Земли, населенная живыми организмами, область обитания живых организмов планеты. Именно живые организмы сформировали отложения известняков, залежи угля и нефти, накопили свободный кислород в атмосфере.

Биосфера (область распространения живого вещества на Земле) представляет собой глобальный биотоп, населенный всеми живыми существами, в том числе и человеком, которые проживают на планете Земля.

Современная биосфера представляет собой сложную систему, состоящую из многих компонентов, которые включают всю живую и неживую (среда обитания) природу. Она охватывает часть атмосферы, гидросферу и верхнюю часть литосферы, взаимосвязанные биогеохимическими циклами миграции веществ и энергии.

Поэтому нельзя ставить в один ряд иерархически соподчиненных уровней биоценоз – экосистему – биосферу, как это иногда делается. Существуют два параллельных ряда явлений: организменный и средообразующий. Организменный ряд включает организм – популяцию – вид – биоценоз. В средообразующий ряд входят абиотические факторы – местообитание (станция) – биотоп – биосфера. Понятия «экосистема», «биогеоценоз», «биоценоз» и другие связывают два этих ряда и отражают единство биоценоза и его биотопа.

Неудачное обозначение биосферы как «живое тело», «организм» или даже «сверхорганизм», что иногда встречается в литературе, не имеет научного обоснования.

Структура биосферы. Биосфера представляет собой сложнейшую планетарную оболочку жизни, населенную организмами, которые в совокупности составляют живое вещество. Это самая крупная (глобальная) экосистема Земли – область системного взаимодействия живого и косного вещества.

Биосфера охватывает нижнюю часть атмосферы до высоты нового экрана (20–25 км), верхнюю часть литосферы (кора выветривания) и всю гидросферу до глубинных слоев океана (рис. 1).

Ограничивают область распространения жизни слишком высокие или низкие температуры. Нижнюю границу биосферы на материках условно проводят по изотерме 100 °С. При более высокой температуре большинство бактерий существовать не может. В Европе эта изотерма находится на глубине 10–15 км, в молодых альпийских прогибах она поднимается до 1,5–2 км. Фактически жизнь в литосфере прослеживается до глубины 3–4 км.

Предел протяженности биосферы – 39–40 км. Однако жизнь в биосфере сконцентрирована в значительно более узких пределах, охватывающих всего несколько десятков метров. По сравнению с диаметром Земли (13 000 км) биосфера – это тонкая пленка ее поверхности.

Что касается границы биосферы в морях и океанах, то английский натуралист Э. Форбс в 1841 г. по результатам своих наблюдений в Средиземном море категорически заявил, что глубже 540 м жизнь в океанических водах невозможна. Однако уже спустя 20 лет с глубины 2160 м с затонувшего судна был поднят кабель: он оказался весь усеян кораллами, устрицами, двустворчатыми и брюхоногими моллюсками, яйцами кальмаров.

23 января 1960 г. исследователи-океанологи Ж. Пикар Ц. Уолш опустились в батискафе в Марианскую впадину Тихого океана. На глубине 10 525 м они разглядели рыбу и креветку. Так было доказано существование живых организмов в самых глубоких местах океана. Следует только отметить, что плотность организмов в океане крайне неравномерна. Примерно 5/6 его обитателей предпочитают верхние, освещаемые солнцем слои. По мере спуска на глубину количество видов резко уменьшается.

Относительно верхней границы существования жизни следует заметить, что ученые обычно проводят ее на высоте 20–25 км, где находится спасительный для всего живого озоновый экран. Здесь та же ситуация с расселением организмов, что и в океане, только наоборот. Уже на высоте 8–9 км низкие температуры сильно ограничивают существование животных и растений.

Биосферу населяют около 2–2,5 млн видов живых существ. Особое место отводится растениям – производителям органического вещества. Их общий сухой вес (вес фитомассы) оценивается примерно в $2,42 \times 10^{12}$ т. Это составляет 99% всего живого вещества на планете. Оставшийся 1% приходится на гетеротрофные организмы.

Верхний предел жизни биосферы ограничен интенсивной концентрацией ультрафиолетовых лучей; нижний – высокой температурой земных недр (свыше 100 °С). Крайних пределов ее достигают только низшие организмы – бактерии. В. И. Вернадский, создатель современного учения о биосфере, подчеркивал, что биосфера включает в себя собственно "живую пленку" Земли (сумму населяющих Землю в каждый данный момент живых организмов, "живое вещество" планеты) и область "былых сфер",

очерченную распределением на Земле биогенных осадочных пород. Таким образом, биосфера – это с специфическим образом организованное единство всего живого и минеральных элементов. Взаимодействие между ними проявляется в потоках энергии и вещества за счет энергии солнечного излучения. Биосфера является самой крупной (глобальной) экосистемой Земли – областью системного взаимодействия живого и косного вещества на планете. По определению В.И. Вернадского, "пределы биосферы обусловлены прежде всего полем существования жизни".

Здесь уместно отметить, что биосферу не следует представлять как совокупность биогеоценозов, а лучше представлять ее иерархической структурой экосистем и геосистем.

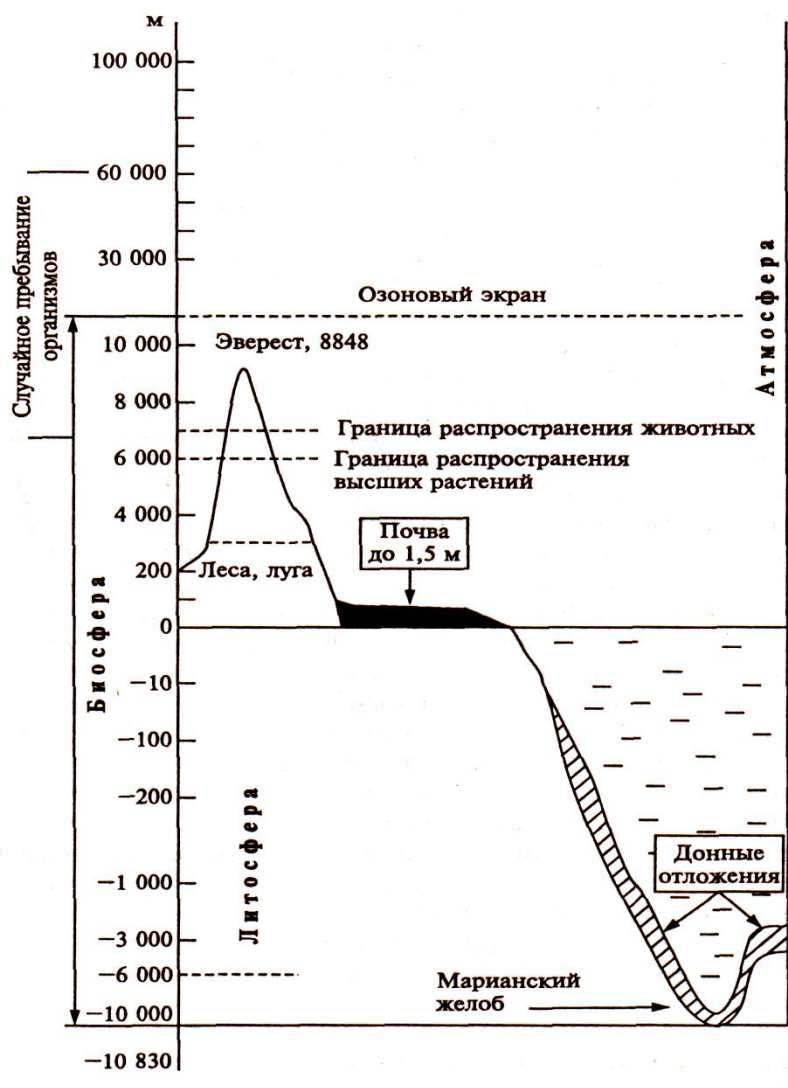


Рисунок 7.3 Состав биосферы

7.2. Учение В.И. Вернадского о биосфере и ноосфере

Одним из выдающихся естествоиспытателей, посвятивших себя изучению процессов, протекающих в биосфере, был академик Владимир Иванович Вернадский (1864–1945). Он является основоположником научного направления, названного им *биогеохимией*, которое легло в основу

современного учения о биосфере. Разрабатывая учение о биосфере, В.И. Вернадский пришел к выводу, что главным трансформатором космической энергии является зеленое вещество растений. Только они способны поглощать энергию солнечного излучения и синтезировать первичные органические соединения.

Согласно представлениям Вернадского, биосфера состоит нескольких разнородных компонентов. Главный и основной это *живое вещество*, совокупность всех живых организмов, населяющих Землю.

Живое вещество – совокупность живых организмов биосферы, численно выраженная в элементарном химическом составе, массе и энергии.

По Вернадскому, *живое вещество – это совокупность существующих (или существовавших в определенный отрезок времени) живых организмов, являющихся мощным геологическим фактором*. В отличие от живых существ, изучаемых биологией на всех уровнях их организации, живое вещество как биогеохимический фактор в понимании Вернадского характеризуется элементарным химическим составом, массой и энергией. Оно трансформирует солнечную энергию и вовлекает неорганическую материю в непрерывный круговорот. Через живое вещество многократно прошли атомы почти всех химических элементов. В конечном итоге живое вещество определило состав атмосферы, гидросферы, почв и в значительной степени осадочных пород нашей планеты. «Прекращение жизни, – писал Вернадский, – было бы неизбежно связано с прекращением химических изменений если не всей земной коры, то во всяком случае ее поверхности – лика Земли, биосферы».

Вернадский указывал, что живое вещество аккумулирует энергию космоса, трансформирует ее в энергию земных процессов (химическую, механическую, тепловую, электрическую и пр.) и в непрерывном обмене веществ с косной материей планеты обеспечивает образование нового живого вещества, которое не только замещает отмирающие его массы, но и привносит новые качества, определяя процесс эволюции органического мира (рис. 7.3).

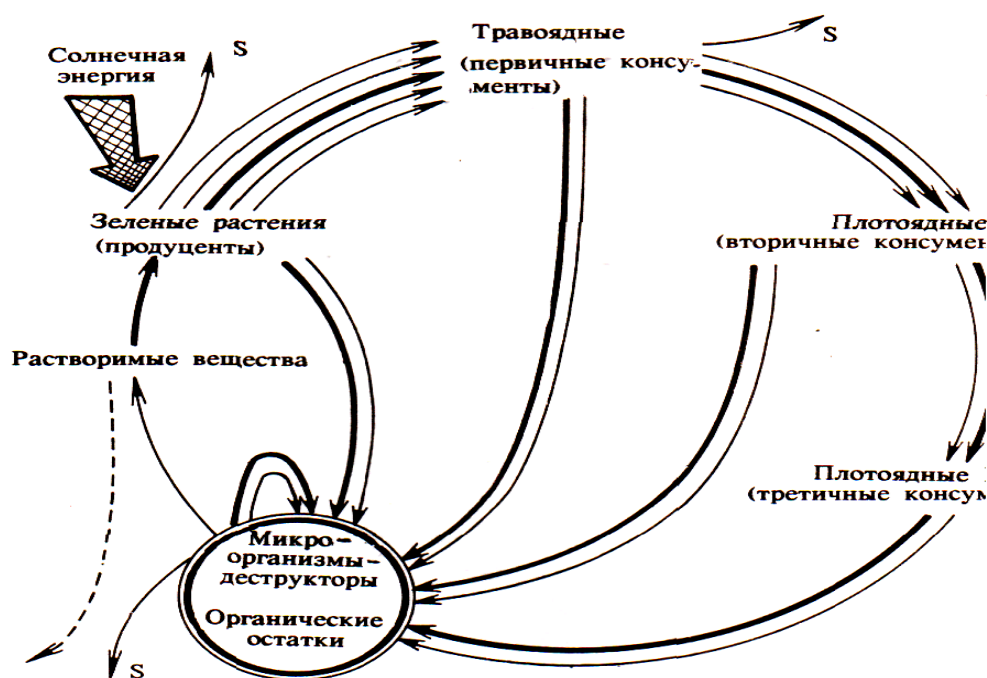


Рисунок 7.3 Круговорот вещества (жирные линии) и поток энергии (тонкие линии) в биосфере (по Ф. Рамаду, 1981): S – энтропия

В процессе жизнедеятельности живые организмы взаимодействуют с неживым (абиогенным) – *косным веществом*. Такое вещество образуется в результате процессов, в которых живые организмы не принимают участия, например, изверженные горные породы. Следующий компонент – *биогенное вещество*, создаваемое и перерабатываемое живыми организмами (газы атмосферы, каменный уголь, нефть, торф, известняк, мел, лесная подстилка, почвенный гумус и т.д.) Еще одно составляющее биосферы – *биокосное вещество* – результат совместной деятельности живых организмов (вода, почва, кора выветривания, осадочные породы, глинистые материалы) и косных (абиогенных) процессов.

Косное вещество резко преобладает по массе и объему. Живое вещество по массе составляет ничтожную часть нашей планеты: примерно 0,25 % биосферы. Причем «масса живого вещества остается в основном постоянной и определяется лучистой солнечной энергией заселения планеты». В настоящее время тот вывод Вернадского называется **законом константности**.

Круговорот веществ В.И. Вернадский назвал биогеохимическими циклами. Эти циклы и круговорот обеспечивают важнейшие функции живого вещества в целом. Ученый выделил пять таких функций:

- *газовая функция* – осуществляется зелеными растениями, выделяющими кислород в процессе фотосинтеза, а также всеми растениями и животными, выделяющими углекислый газ в результате дыхания, обуславливает миграцию газов и их превращение, обеспечивает газовый состав биосферы. Преобладающая масса газов на Земле имеет биогенное происхождение. В процессе функционирования живого вещества появляются основные газы: кислород, азот, углекислый газ, сероводород, метан и др.

- *концентрационная функция* – проявляется в способности живых организмов накапливать в своих телах многие химические элементы (на первом месте – углерод, среди металлов – кальций). Состав живого вещества существенно отличается от состава косного вещества планеты. В нем преобладают легкие атомы водорода, углерода, азота, кислорода, натрия, магния, алюминия, кремния, серы, хлора, калия, кальция. Концентрация этих элементов в теле живых организмов в сотни и тысячи раз выше, чем во внешней среде. Этим объясняется неоднородность химического состава биосферы.

- *окислительно-восстановительная функция*– выражается в химических превращениях веществ в процессе жизнедеятельности. В результате образуются соли, окислы, новые вещества, данной функцией связано формирование железных и марганцевых руд, известняков и т.п. В результате происходит превращение большинства химических соединений. При этом на поверхности Земли преобладают биогенные процессы окисления и восстановления.

- *биохимическая функция*– определяется как размножение, рост и перемещение в пространстве живого вещества. Все это приводит к круговороту химических элементов в природе, их биогенной миграции;

- *функция биогеохимической деятельности человека*– связана биогенной миграцией атомов, многократно усиливающейся под влиянием хозяйственной деятельности человека.

- *энергетическая функция* заключается в осуществлении связи биосферно-планетарных явлений с космическим излучением, преимущественно с солнечной радиацией. В основе этой функции лежит фотосинтетическая деятельность зеленых растений, в процессе которой происходит аккумуляция солнечной энергии и ее перераспределение между отдельными компонентами биосферы. За счет накопленной солнечной энергии протекают все жизненные явления на Земле.

- *деструкционная функция* обуславливает процессы, связанные с разложением организмов после их смерти, вследствие которого происходит минерализация органического вещества, т. е. превращение живого вещества в косное. В результате образуются также биогенное и биокосное вещества биосферы.

Характерные особенности присущи живому веществу это *огромная свободная энергия*. В процесс эволюции видов биогенная миграция атомов, т.е. энергия живого вещества биосферы, увеличилась во много раз и продолжает расти, ибо живое вещество перерабатывает энергию солнечных излучений, атомную энергию радиоактивного распада и космическую энергию рассеянных элементов, приходящих из нашей Галактики. Живому веществу присуща также *высокая скорости протекания химических реакций* по сравнению с веществом неживым, где похожие процессы идут в тысячи и миллионы раз медленнее. К примеру, некоторые гусеницы в сутки

могут переработать пищи в 200 раз больше, чем весят сами, а одна синица в день съедает столько гусениц, сколько весит сама.

Для живого вещества характерно то, что *слагающие его химические соединения*, главнейшими из которых являются белки, *устойчивы только в живых организмах*. После завершения процесса жизнедеятельности исходные живые органические вещества разлагаются до химических составных частей.

Живое вещество *существует на планете в форме непрерывно го чередования поколений*, благодаря чему вновь образовавшееся поколение генетически связано с живым веществом прошлых эпох. Это главная структурная единица биосферы, определяющая все другие процессы поверхности земной коры. Для живого вещества характерно *наличие эволюционного процесса*.

В.И. Вернадский сформулировал пять постулатов, относящихся к функции биосферы.

Первый постулат: «С самого начала биосферы жизнь, в нее входящая, должна была быть уже сложным телом, а не однородным веществом, поскольку связанные с жизнью ее биогеохимические функции по разнообразию и сложности не могут быть уделом какой-нибудь одной формы жизни». Другими словами, первобытная биосфера изначально отличалась богатым функциональным разнообразием.

Второй постулат: «Организмы проявляются не единично, а в массовом эффекте. Первое появление жизни должно было произойти не в виде появления одного какого-нибудь вида организмов, а их совокупности, отвечающей геохимической функции жизни. Должны были сразу появиться биоценозы».

Третий постулат: «В общем монолите жизни, как бы ни менялись его составные части, их химические функции не могли быть затронуты морфологическим изменением». То есть первичная биосфера была представлена «совокупностями» организмов типа биоценозов, которые и были главной «действующей силой» геохимических преобразований. Морфологические изменения «совокупностей» не отражались на «химических функциях» этих компонентов.

Четвертый постулат: «Живые организмы... своим дыханием, своим питанием, своим метаболизмом... непрерывной сменой поколений... порождают одно из грандиознейших планетных явлений... – миграцию химических элементов в биосфере», поэтому «на всем протяжении протекших миллионов лет мы видим образование тех же минералов, во все времена шли те же циклы химических элементов, какие мы видим и сейчас».

Пятый постулат: «Все без исключения функции живого вещества в биосфере могут быть исполнены простейшими одноклеточными организмами».

Ноосфера (от греч. *ноос* – разум) – это биосфера, разумно управляемая человеком. Ноосфера является высшей стадией развития биосферы, связанной с возникновением и становлением в ней цивилизованного

общества, с периодом, когда разумная деятельность человека становится главным фактором развития на Земле.

Термин и понятие «ноосфера» были введены в науку французскими учеными – математиком Э. Леруа, философом П. Тейяром де Шарденом и В.И. Вернадским.

Ноосфера – материальная оболочка Земли, меняющаяся под воздействием людей, которые своей деятельностью так преобразуют планету, что могут быть признаны «мощной геологической силой».

Ноосфера это уникальное единство человечества, производства и природы, которое должно преобразовываться и управляться высшим человеческим разумом. Именно последний гарантирует всестороннее прогрессивное развитие человечества на основе новых социальных законов и глубокого знания естественноисторических закономерностей.

Тема 8. Развитие эволюционных представлений

8.1. Представления о развитии живой природы в древности, средневековье и эпоху Возрождения

Идея эволюции прослеживается с глубокой древности. Ряд древнеиндийских, древнекитайских и древнегреческих философов высказывали мысли об эволюции всего мироздания, в том числе и биологической эволюции. Так согласно воззрениям ряда древнегреческих философов вся многообразная природа возникла естественным путем и происходит от одного или нескольких первоначал. В качестве первичных элементов назывались огонь, воздух, вода и земля (Эмпедокл) или один из этих элементов (Фалес, Анаксимандр, Анаксимен, Гераклит). Известен афоризм Гераклита: *«Все течет, ничего не стоит на месте»* и *«невозможно дважды войти в одну и ту же реку»*. Одним из первых происхождение живых организмов попытался объяснить древнегреческий философ Эмпедокл (490-430 гг. до н.э.). По его мнению, в результате смешения первичных элементов образуется множество комбинаций. Неудачные комбинации разрушаются, гармоничные сохраняются. Удачные комбинации создают органы животных, из органов образуются целостные организмы. Известным философом-материалистом античности является Демокрит (460-370 г. до н.э.). По Демокриту мир состоит из атомов, движущихся в пустоте. Атомы являются мельчайшими неделимыми частицами, отличающимися друг от друга по форме, размерам и массе. Возникновение любой вещи есть результат соединения атомов, уничтожение – результат разъединения. Дальнейшее развитие атомистическая теория получает во взглядах Эпикура (341-270 гг.).

Одновременно с эволюционизмом возникает и распространяется креационизм. Глубокий след в философии и науке оставила идеалистическая система Платона (427-347 до н. э.), которая является полностью **креационистской**. *"Давайте же установим причину, по которой создателю этого мира понадобилось его создавать. Создатель был хорош; а то, что*

хорошо, не содержит в себе и крупницы зависти; и Он, не ведающий зависти, пожелал, чтобы все сущее было подобно ему, сколь возможно. Это – самая весомая причина возникновения мира, которую дано постичь человеческой мудрости." Аристотель (384-322 гг. до н.э.) пришел к заключению, что вся природа представляет собой лестницу существ. Первая ступень – это неживая природа, вторая – растения, третья – низшие животные, четвертая – все прочие животные и, наконец, пятая – человек. Но "лестница" Аристотеля статична, поскольку ступени этой лестницы не связаны между собой каким-либо родством. По Аристотелю сама по себе материя инертна, движение материи вызывается божественным перводвигателем. Сторонником креационизма являлся римлянин **Цицерон**: *"Не удивительно ли, что всякий может убедить себя, будто твердые, отдельные частицы, случайно сталкиваясь друг с другом, движимые только лишь силой собственного веса, смогли породить столь изумительный, прекрасный мир? Если кто-то полагает, будто такое возможно, я не вижу причины, почему бы ему не верить, что, если взять бесконечное количество экземпляров двадцати одной буквы алфавита, встряхнуть их и высыпать на землю, то буквы могут лечь так, что сами собой выложат, скажем, полный текст "Анналов" Энния. На самом деле, я сомневаюсь, что случай позволит им сложиться хотя бы даже в один-единственный стих!"*

Таким образом, из представленного обзора можно сделать два основных вывода:

1. В античный период формируются две главные концепции мироздания: эволюционизм и креационизм. К философам-эволюционистам относятся **Анаксагор, Демокрит, Эпикур, Эмпедокл, Тит Лукреций Кар** и некоторые другие. К философам, исповедующим креационизм, – **Аристотель, Платон** и др.

2. Эволюционные концепции античных философов, несмотря на внешнюю близость с современными концепциями, в силу отсутствия фактов являются сугубо умозрительными («гениальными догадочками»).

Эпоха Средневековья (V-XV вв.) стала временем застоя в развитии эволюционных идей. Связано это с господством церкви и деятельностью инквизиции во всех сферах жизни общества. За этот период на кострах инквизиции было сожжено сотни ученых и уничтожены тысячи древних книг. Этот период можно охарактеризовать как *время господства креационистских взглядов*. В тоже время и в этот период отдельные философы высказывали прогрессивные взгляды. Особенно большое значение в этом отношении имели труды английского философа Роджера Бэкона (1214-1294). По мнению Бэкона, живые и неживые тела объединяет то, что они построены из одних и тех же материальных частиц. Живые организмы находятся в тесной зависимости от окружающей среды, солнечного света, тепла и т. д.

На смену Средневековью приходит эпоха Возрождения (XV–XVI вв.). С ее наступлением вновь получают распространение сочинения античных авторов. В результате развития торговли и мореплавания происходит

быстрое накопление фактических данных в области естественных наук. В этот период были сделаны первые гербарии, созданы ботанические сады и музеи. Накопленные данные нуждались в систематизации. Важный вклад в этой области был сделан знаменитым шведским ученым К. Линнеем (1707-1778). Линней ввел в науку бинарную номенклатуру, латинские названия организмов, принцип иерархичности систематических категорий и систематизировал большое количество растений и животных. Каждый вид он предложил называть двумя словами: родовым и видовым. Например, к роду *Carassius* (Карась) относятся карась золотой (*Carassius carassius*) и карась серебряный (*Carassius auratus*). Благодаря использованию бинарной номенклатуры и латинского языка, любой ихтиолог легко поймет о каких видах идет речь и в каком отношении находятся эти виды. Всех животных Линней разделил на 6 классов: млекопитающие, птицы, амфибии, рыбы, насекомые и черви. Человека Линней поместил вместе с приматами в отряд приматов. Еще более детально Линней подошёл к систематизации растений. Среди них он в основном по строению цветка он выделил 24 класса. Иерархичность системы Линнея означает, что каждый класс был разбит на отряды, отряды на роды, а роды – на виды. Предложенная система была удобна для практического использования, но, по сути, являлась искусственной. Многие виды, далекие в систематическом отношении, оказывались в одном таксоне. Справедливости ради следует отметить, что на тот момент наука еще не располагала данными для построения естественной системы. Несмотря на то, что К. Линней являлся последовательным креационистом («видов столько, сколько их создал всемогущий»), его деятельность стала одной из важнейших предпосылок дарвинизма. Примечательно, что к концу жизни под влиянием фактических данных К. Линней признал, что виды могут возникнуть путем скрещивания или в результате изменения среды.

Постепенно идеи эволюции начинают все отчетливее прослеживаться в трудах натуралистов и философов. По мнению Ж. Бюффона, развитие Земли охватывает 80-90 тыс. лет, но лишь в последние периоды на Земле появляются из неорганических веществ живые организмы: сначала растения, потом животные и человек. Ж. Бюффон видел доказательство единства происхождения в плане строения животных и объяснял сходство близких форм их происхождением от общих предков. Идея эволюции заложена и в трудах энциклопедиста Д. Дидро (1713-1784): мелкие изменения всех существ и длительность времени существования Земли могут объяснить возникновение разнообразия органического мира. Э. Дарвин (1731-1802) в поэтической форме утверждает принцип единства происхождения всех живых существ, указывает, что органический мир развивался миллионы лет. Во второй половине XVIII в. эпоха Просвещения доходит и до России. В различной форме эволюционные идеи начинают высказывать М. В. Ломоносов, К. Ф. Вольф, П. С. Паллас, А. Н. Радищев. В тоже время со стороны многих ученых идея эволюции живых организмов в начале XIX в.

встретила большое сопротивление. Одним из противников теории Ж.-Б. Ламарка был крупнейший биолог Франции Ж. Кювье (1769-1832 гг.). Ж.Кювье создал теорию катастроф для объяснения того факта, что им не были обнаружены промежуточные формы организмов. Согласно этой теории, мир неизменен. Появление определенных животных, растений связано с божественным творческим актом. Время от времени в определенных частях Земли происходили катастрофы, при которых все живое гибло, а вместо них поселялись организмы из других мест, где катастроф не было. Однако, применяя метод сравнения в изучении тела животного, Ж. Кювье установил, что организм теснейшим образом связан с внешней средой и представляет собой единое целое – все части организма соподчинены. На основе этих исследований ученый вывел закон корреляции органов: по одной кости можно восстановить весь внешний облик животного и его внутреннее строение. Одновременно с Ж. Кювье жил и работал другой французский натуралист Э. ЖоффруаСент-Илер (1772-1844 гг.). Оба натуралиста были связаны узами дружбы, но являлись противниками по научным и философским воззрениям. Э. ЖоффруаСент-Илер был сторонником эволюционных идей, т.е. идей об изменчивости. Исследуя различных животных, он заметил сходство (гомологию) строения скелетов передних конечностей позвоночных животных (1818 г.). На основе своих исследований он создал учение о едином плане строения позвоночных. “Природа создала всех живых существ по единому плану, – утверждал ЖоффруаСент-Илер, – но бесконечно варьирующему в деталях”. Все изменения он связывал с условиями окружающей среды.

Характеризуя развитие эволюционных взглядов в эту эпоху, можно сделать следующие выводы:

1. Происходит интенсивное накопление естественнонаучного материала.
2. Концепции креационизма подвергаются все большей критике, и одновременно появляются первые эволюционные концепции.

7.2. Эволюционная теория Ж.Б.Ламарка

Так большую известность получила эволюционная теория французского ученого Жана-Батиста Ламарка (1744-1829). Наиболее полно эволюционные взгляды Ж.Б. Ламарка изложены в книге «Философия зоологии» (1809 г.).

Основные положения теории Ж.Б. Ламарка.

1. Все виды организмов не существовали изначально, а возникли в определенное время. Причем первые организмы образовались путем самозарождения из неорганической природы. Затем в силу врожденной способности всех живых организмов к самосовершенствованию происходит процесс постепенного развития от простых и несовершенных организмов до наиболее сложных и совершенных. Этот процесс называется *градацией*.

2. Градация проявляется при неизменности внешней среды. Изменение условий существования заставляют организмы приспосабливаться к новой обстановке. Этим нарушается прогрессивное развитие организмов, и эволюционные линии могут отклоняться в сторону или вообще задерживаться на примитивных уровнях организации.

Помимо эволюции в естественных условиях Ламарк рассматривал вопрос о происхождении домашних животных и растений. По Ламарку сорта культурных растений и породы домашних животных были получены в результате выращивания исходных видов в различных географических и климатических условиях.

Механизм эволюции по Ламарку. Изменения растений и животных происходят неодинаково. Факторы среды (свет, тепло, влага) оказывают непосредственное влияние лишь на растения и низших животных. Классический пример – это изменение формы листовой пластинки у водяного лютика. Механизм преобразования у высших животных таков:

1. Изменения условий жизни вызывает у животных изменение потребностей, а, следовательно, и привычек.

2. В результате одни органы, необходимые в новых условиях, упражняются и развиваются, другие, ставшие ненужными постепенно исчезают (*первый закон Ламарка*).

3. При длительном воздействии новых условий приобретенные признаки закрепляются и передаются потомству (*второй закон Ламарка*).

Классический пример, иллюстрирующий эти положения, – это рассуждение о том, как жираф приобрел длинную шею. В качестве других примеров, Ламарк приводит следующие:

- редукция глаз у животных, обитающих под землей;
- утрата способности к полету у домашних птиц;
- утрата зубов у китов.

Оценка эволюционной теории Ж.Б. Ламарка. Ж.Б. Ламарк первым создал целостную концепцию естественной эволюции органического мира, которая протекает в направлении совершенствования и усложнения организации. В этой связи разработанная им эволюционная концепция является прогрессивной для своего времени. В тоже время недостатком этой концепции является неверное объяснение механизма эволюции. Предложенный им механизм эволюции встретил резкое неприятие большинства биологов того времени и, в какой-то степени, скомпрометировал саму идею эволюции.

7.3. Эволюционное учение Ч. Дарвина

Предпосылки создания эволюционной теории Ч. Дарвина. Возникновение теории Ч. Дарвина было обусловлено двумя важнейшими причинами:

- общественно-экономическими;
- уровнем развития естественных наук.

К общественно-экономическим предпосылкам относят интенсивное развитие науки, промышленности, техники, сельского хозяйства. В первой половине XIX века Англия была передовой капиталистической страной. Промышленность Англии работала не только на своем, но и на давальческом сырье из различных стран мира. Для освоения новых земель туда направлялись военные, торговые и научные экспедиции. В одной из таких экспедиций принял участие 22-летний Дарвин (1831-1836 гг., кругосветное путешествие на корабле «Бигль»). Непосредственной целью этого путешествия было составление гидрографических карт для Британского флота. В результате были сделаны обширные зоологические, ботанические и геологические наблюдения, которые во многом помогли созданию эволюционной теории. В сельском хозяйстве Англии к середине XIX века было выведено множество высокопродуктивных пород сельскохозяйственных животных и сортов растений. Бурный всплеск породообразования базировался на большой изменчивости домашних животных, а также на улучшении условий кормления и содержания их.

Появлению эволюционной теории в середине XIX века способствовали успехи естественных наук. К ним относятся достижения

- ✓ систематики (единство плана строения, создание и применение бинарной номенклатуры организмов);
- ✓ геологии (историческое развитие земной коры под влиянием естественных причин);
- ✓ эмбриологии (сходство зародышей систематически далеких друг от друга организмов);
- ✓ палеонтологии (находки ископаемых животных);
- ✓ животноводства и растениеводства (изменчивость пород домашних животных и сортов растений);
- ✓ создание первой теории о естественном развитии органического мира.

На формирование мировоззрения Дарвина большое влияние оказали идеи свободы конкуренции и борьбы за существование, широко распространенные в Англии к тому времени. В частности работы А. Смита «Исследования о природе и причинах богатства народов» и Мальтуса Т. «Опыт о законе народонаселения».

Основные положения эволюционной теории Ч. Дарвина. Сущность дарвиновской концепции эволюции сводится к ряду логичных, проверяемых в эксперименте и подтвержденных огромным количеством фактических данных положений:

1. Организмам как в прирученном, так и в диком состоянии свойственна изменчивость. Стимулом для возникновения изменчивости организмов служат изменения внешней среды, но характер изменчивости определяется спецификой самого организма, а не направлением изменений внешних условий.

2. В центре внимания эволюционной теории должны находиться не отдельные организмы, а биологические виды и популяции.

3. Все организмы в природе вынуждены вести борьбу за существование. Борьба за существование в природе складывается из их взаимодействия с неблагоприятными факторами внешней среды, а также из их конкуренции между собой. Важнейшей формой является внутривидовая борьба.

4. Неизбежным результатом изменчивости организмов и борьбы за существование является естественный отбор – преимущественное выживание и оставление потомства наиболее приспособленными особями. Хуже приспособленные организмы и целые виды вымирают, не оставляя потомства.

5. Частным случаем естественного отбора является половой отбор, обеспечивающий развитие признаков, связанных с функцией размножения.

6. Следствием естественного отбора является

- развитие приспособлений видов к условиям их существования;
- дивергенция;
- прогрессивная эволюция.

7. Породы домашних животных и сорта сельскохозяйственных растений созданы посредством искусственного отбора, аналогичного естественному отбору.

Оценка эволюционного учения Ч. Дарвина. Историческая заслуга Дарвина заключается в том, что он вскрыл движущий фактор эволюции – естественный отбор. На основе эволюционного учения Ч. Дарвина сложилась современная эволюционная теория, являющаяся теоретическим фундаментом развития многих биологических наук. В этой связи Шмальгаузен писал: *«путь теории Дарвина, несмотря на огромную массу препятствий, был победным путем. Теория Дарвина оплодотворила всю биологию, она перестроила все существовавшие биологические дисциплины и вызвала к жизни целый ряд новых»*. Первый тираж этой книги (1250 экземпляров) был продан в первый же день, и говорят, что по своему воздействию на человеческое мышление она уступала только Библии. Энгельс писал, что Ч. Дарвин «нанес сильнейший удар метафизическому взгляду на природу, доказав, что весь современный органический мир, растения и животные, а следовательно, также и человек, есть продукт процесса развития». К середине XX века Римская католическая церковь признала правомочность эволюционного взгляда на происхождение человека. Правда, с оговоркой, что «душа человека создана Богом» (Пий XII, энциклика «Происхождение человека»).

В тоже время в теории Дарвина имеются некоторые ошибочные утверждения:

✓ переоценка роли перенаселения для обоснования борьбы за существование;

- ✓ преувеличенное внимание в внутривидовой борьбе для объяснения дивергенции;
- ✓ недостаточная разработанность концепции биологического вида как формы организации живой материи, принципиально отличающейся от других таксонов;
- ✓ признание возможности эволюционных изменений на основе ненаследственной изменчивости.

7.4. Формирование современной теории эволюции

Интеграция дарвинизма с другими биологическими науками (генетика и экология) произошла в первой половине XX века. В результате была сформирована синтетическая теория эволюции. Название СТЭ было дано по названию книги Дж. Хаксли «Эволюция. Современный синтез», опубликованной в 1942 г. в Англии. Авторы синтетической теории эволюции разрабатывали новые вопросы или в свете современных знаний давали более точные ответы на старые. В создании СТЭ принимали участие ученые из разных стран. В СССР большой вклад в формирование этой теории внесли работы С.С. Четверикова, Н.И. Вавилова, И.И. Шмальгаузена, А. Н. Северцова. К сожалению, в конце 40-х годов в СССР научные исследования в области генетики и теории эволюции были свернуты. Несколько позже ситуация изменилась, но тем не менее генетические исследования в СССР уже никогда не достигали того уровня, на котором находились в довоенные времена. Из зарубежных ученых следует отметить работы Ф.Г. Добжанского, Р. Фишера, Дж. Холдейна, С. Райта, Майра, Дж. Симпсона.

Современная эволюционная биология далеко отошла не только от классического дарвинизма XIX века, но и от ряда положений синтетической теории эволюции. Современный эволюционизм – сложный комплекс различных теорий. В настоящее время многие биологи считают, что теория эволюции находится на пороге нового этапа развития. Следует отметить, что важнейшие положения синтетической теории эволюции будут сохранены и в ряде случаев расширены. Некоторые ученые предполагают именовать формирующуюся в результате современного синтеза эволюционную теорию системной. В таблице показаны основные положения классической и современной теории эволюции.

Таблица 8.1 Классические и современные представления об эволюции

Характеристики эволюционного процесса	Синтетическая теория эволюции	Современная теория эволюции
Материал эволюции	Мелкие, дискретные, случайные изменения наследственности, преимущественно мутации генов.	Наряду с мутациями имеются другие пути изменчивости (гибридизация, полиплоидия, симбиогенез, трансдукция генетического материала). Эволюция канализирована и в определенной степени направлена (запретами, генетически окружением, средой), имеет закономерный характер.
Фактор эволюции	Естественный отбор	Естественный отбор – основной, но не единственный фактор эволюции.
Элементарная эволюционирующая единица	Популяция или ее элементарная единица – дем.	Эволюционирует не обязательно популяция – это может быть и группа особей (но не единичная особь).
Способ эволюции	Эволюция идет путем дивергенции – каждый вид имеет одного предка (его популяцию), но вид может дать начало нескольким видам.	Дивергенция – лишь один из путей эволюции. Предками одного вида могут быть несколько видов.
Характер эволюции	Длительный и постепенный.	Может иметь место как микроэволюция, так и скачкообразные изменения (скачкообразные, скоротечные).
Автономность генотипа	Вид представлен из множественных единиц (подвиды, популяции), различающихся между собой, но объединенных потоком генов, панмиксией – отсутствием репродуктивной изоляции.	Генетическая замкнутость вида не абсолютна, может быть привнесение генетического материала извне.
Уровень эволюционных преобразований	Применение теории ограничено организмами, размножающимися половым путем и современными видами.	Рассматривается все разнообразие живых существ.
Направленность эволюции	Эволюция не целенаправленна и	Эволюция в определенной степени предсказуема – закономерна.

	непредсказуема.	
--	-----------------	--

ПРАКТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

ПЕРЕЧЕНЬ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ

для студентов 1 курса специальности
6-05-0521-02 Природоохранная деятельность

1. Система Мергелиса и Шварца.
2. Элементы и атомы, связи между атомами. Соединения и молекулы.
3. Углеводы: моносахариды, дисахариды и полисахариды растений, животных и бактерий. Их строение и выполняемые функции.
4. Митоз: его стадии и биологическое значение. Мейоз, его механизм, сущность и биологическое значение.
5. Законы Г. Менделя. Типы наследования.
6. Хромосомная теория наследственности. Кроссинговер и частота рекомбинаций.
7. Решение типовых генетических задач.
8. Пребиотическая (химическая) эволюция, биотическая эволюция, их этапы.

ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ТИПОВЫХ ЗАДАЧ

Пример 1. Какое потомство можно ожидать черного гомозиготного быка с красной коровой, если известно, что ген черной окраски шерсти крупного рогатого скота доминирует над геном красной окраски?

Какие телята родятся от гибридной коровы и гибридного быка? Какое потомство будет от красной коровы и гибридного быка?

Решение

Введем обозначения:

А – доминантный ген черной окраски;

а – рецессивный аллель гена, соответствующего красной окраске;

АА – Генотип гомозиготного черного быка;

аа – Генотип красной коровы (в задаче не указано что она гомозиготна, но т.к. ген, контролирующий красную окраску рецессивный, то фенотипически он может проявиться только в гомозиготном состоянии).

Таким образом решение задачи выглядит так:

$$\begin{array}{rcl}
 1. \text{ P: } \text{♀ } aa & \times & \text{♂ } AA \\
 \downarrow & & \downarrow \\
 \text{G: } & & \\
 \text{F}_1: & Aa & \text{(по генотипу)} \\
 & \text{черные} & \text{(по фенотипу)} \\
 & 100\% &
 \end{array}
 \quad \textcircled{A}$$

Доминантный ген ставится у гетерозиготной особи на первое место, т.к. по нему определяется фенотип.

2. черная × черная
 P_1 ♀ Aa × ♂ Aa
 G: (A) (a) и (A) (a)

Для определения потомства во втором поколении составим решетку Пеннета:

гаметы ♀	A	a
♂		
A	AA (черн.)	Aa (черн.)
a	Aa (черн.)	aa (красн.)

F_2 1AA : 2Aa : 1aa (по генотипу)
 3 черн. : 1 красн. (по фенотипу)
 75% : 25%

3. красная × красная
 P_2 ♀ aa × ♂ Aa
 G: (a) и (A) (a)
 F_2 Aa : 1aa (по генотипу)
 черные : красные (по фенотипу)
 50% : 50%

Пример 2. (Неполное доминирование)

Растения красноплодного крыжовника при скрещивании между собой дают потомство с красными ягодами, а растения белоплодного крыжовника – с белыми ягодами. В результате скрещивания обоих сортов друг с другом получаются розовые ягоды. 1. Какое потомство возникает при скрещивании между собой гибридных растений крыжовника с розовыми ягодами? 2. Какое потомство получится, если опылить красноплодный крыжовник пыльцой гибридного крыжовника с розовыми ягодами?

Решение

Обозначим красную окраску плодов буквой «А», белую – «а».

1. P : ♀ Aa × ♂ Aa
 G: (A) (a) и (A) (a)
 F_2 : AA : Aa : Aa : aa
 красные:розовые:белые
 25% 50% 25%

Гетерозигота Aa проявляет промежуточный признак (неполное доминирование).

2. P_1 : ♀ AA × ♂ Aa
 G: и (A) (a) (A) (a)

F: 1AA : 1Aa
красные : розовые
50% : 50%

Пример 3. Какими признаками будут обладать гибридные абрикосы, полученные в результате опыления красноплодных растений нормального роста пыльцой желтоплодных карликовых растений? Какой результат даст дальнейшее скрещивание таких гибридов? Известно, что красный цвет плодов – доминантный признак; желтый – рецессивный; нормальный рост – доминантный; карликовость – рецессивный признак. Все исходные растения гомозиготны; гены обоих признаков находятся в разных хромосомах.

Решение

Обозначим: «А» - ген, контролирующий красную окраску плодов; «а» – желтую; «В» – ген, контролирующий нормальный рост; «в» – контролирующий карликовость.

Схема скрещивания:

1. P: ♀ AABV × ♂ aavv

G: $\begin{pmatrix} AB \\ \end{pmatrix}$ $\begin{pmatrix} av \\ \end{pmatrix}$

F₁: AaVv (по генотипу, гибриды дигетерозиготны)

красноплодные (по фенотипу)

с нормальн. ростом

100%

2. P₁: ♀ AaVv × ♂ AaVv

Решетка Пеннета:

гаметы	AB	Av	aB	av
AB	AABV кр.н.	AABvk р.н.	AaBVk р.н.	AaBVk р.н.
Av	AABvk р.н.	AaVvk р.к.	AaVvk р.н.	Aaavk р.к.
aB	AaBVk р.н.	AaVvk р.н.	aaBVж .н.	aaBVж .н.
av	AaVvk р.н.	Aaavk р.к.	aaVvж. н.	aaavж. к.

Т.о. во втором поколении начинается расщепление по фенотипу:

F₂: 9 краснопл. : 3 краснопл. : 3 желтопл. : 1 желтопл.

нормальн.рост карликов.рост нормальн.рост карликов.рост

Пример 4. Какие группы крови будут у детей, если у матери I группа крови, а у отца – IV?

Решение

Р: ♀ I^O × ♂ $I^A I^B$
 G: I^O I^A I^B
 F: $I^O I^O$ и $I^B I^O$ (генотип)
 А и В (фенотип)

Ответ: Дети могут иметь группу крови А (II) или В (III).

Пример 5. Определите различия в численном соотношении образующихся гамет у двух организмов, имеющих следующую структуру генотипов:

1), 2) $\frac{AB}{ab}$.

Решение

У первого организма аллельные гены не сцеплены и наследуются независимо. Он образует в равном количестве четыре вида гамет (AB , Ab , aB , ab).

У второго организма наблюдается сцепление генов. Этот организм дает при полном сцеплении два вида гамет (AB и ab) в равном количестве. При неполном сцеплении генов будут образовываться дополнительные гаметы Ab и aB , но их будет значительно меньше.

РАЗДЕЛ КОНТРОЛЯ ЗНАНИЙ

Тестовый контроль знаний.

Тема 1. Биология как наука о жизни и ее значение.

1. Предметом изучения общей биологии является:
 - а) строение и функций организмов
 - б) природные явления
 - в) закономерности развития и функционирования живых систем
2. Какое из утверждений наиболее правильно?
 - а) только живые системы построены из сложных молекул
 - б) все живые системы обладают высокой степенью организации
 - в) живые системы отличаются от неживых составом химических элементов
 - г) в неживой природе не встречается высокая сложность организации системы
3. На каком минимальном уровне организации жизни проявляется такое свойство живых систем, как способность к обмену веществами, энергией, информацией:

а) биосферный	в) организменный
б) молекулярный	г) клеточный
4. Какой из уровней является высшим уровнем организации жизни:

а) биосферный	в) популяционно-видовой
б) биогеоценотический	г) организменный
5. Какой из научных методов исследования был основным в самый ранний период развития биологии:

а) экспериментальный	в) сравнительно-исторический
б) микроскопия	г) наблюдение и описание объектов
6. Развитие организма животного от момента образования зиготы до рождения изучает наука:

а) генетика	в) морфология
б) физиология	г) эмбриология
7. Строение и функции органоидов клетки изучает наука:

а) генетика	в) селекция
б) цитология	г) фенология
8. Для изучения тонкого строения хлоропласта используется метод:

а) экспериментальный	в) световой микроскопии
б) электронной микроскопии	г) гибридизации
9. Генные мутации происходят на уровне организации живого:

а) организменном	в) популяционно-видовом
б) клеточном	г) молекулярном
10. Роль рибосом в процессе биосинтеза белка изучают на уровне организации живого:

а) организменном	в) тканевом
б) клеточном	г) популяционно-видовом
11. Какое из утверждений наиболее правильно?
 - а) все живые организмы обладают одинаково сложным уровнем организации
 - б) все живые организмы обладают высоким уровнем обмена веществ
 - в) все живые организмы одинаково реагируют на окружающую среду

г) все живые организмы обладают одинаковым механизмом передачи наследственной информации

12. Живые системы считаются открытыми потому, что они:

- а) построены из тех же химических элементов, что и неживые системы
- б) обмениваются веществами, энергией и информацией с внешней средой
- в) обладают способностью к адаптациям
- г) способны размножаться

13. Межвидовые отношения начинают проявляться на ... уровне:

- а) биогеоценотическом
- б) популяционно-видовом
- в) организменном
- г) биосферном

14. Какой из уровней жизни является первым надорганизменным уровнем:

- а) биосферный
- б) биогеоценотический
- в) популяционно-видовой
- г) организменный

15. Что является наиболее общим для всех известных уровней организации жизни:

- а) сложность строения системы
- б) закономерности, действующие на каждом уровне
- в) элементы, составляющие систему
- г) качества, которыми определяется данная система

16. Сезонные изменения в живой природе изучают с помощью метода:

- а) экспериментального
- б) наблюдения
- в) проведения опытов
- г) палеонтологического

17. Генетика – наука, изучающая закономерности:

- а) наследственности и изменчивости организмов
- б) взаимоотношения организмов и среды
- в) исторического развития органического мира
- г) индивидуального развития организмов

18. Какой метод позволяет избирательно выделять и изучать органоиды клетки:

- а) скрещивание
- б) центрифугирование
- в) моделирование
- г) биохимический

19. Изучением многообразия организмов, их классификацией занимается наука:

- а) генетика
- б) систематика
- в) физиология
- г) экология

20. Процессы окисления органических веществ и синтеза молекул АТФ в митохондриях исследователи изучают на уровне организации живой природы:

- а) популяционно-видовом
- б) биогеоценотическом
- в) клеточном
- г) организменном

21. Работа по выведению нового сорта растения осуществляется на уровне организации живого:

- а) молекулярном
- б) биосферном
- в) популяционно-видовом
- г) биогеоценотическом

22. Строение и функции молекул белка изучают на уровне организации живого:

- а) организменном
- б) тканевом
- в) молекулярном
- г) популяционно-видовом

23. Живые системы считаются открытыми потому, что они:

- а) построены из тех же химических элементов, что и неживые системы
- б) обмениваются веществами, энергией и информацией с внешней средой
- в) обладают способностью к адаптациям
- г) способны размножаться

24. Межвидовые отношения начинают проявляться на ... уровне:

- а) биогеоценотическом
- б) популяционно-видовом
- в) организменном
- г) биосферном

25. Какой из уровней жизни является первым надорганизменным уровнем:

- а) биосферный
- б) биогеоценотический
- в) популяционно-видовой
- г) организменный

26. Что является наиболее общим для всех известных уровней организации жизни:

- а) сложность строения системы
- б) закономерности, действующие на каждом уровне
- в) элементы, составляющие систему
- г) качества, которыми определяется данная система

27. Сезонные изменения в живой природе изучают с помощью метода:

- а) экспериментального
- б) наблюдения
- в) проведения опытов
- г) палеонтологического

28. Генетика – наука, изучающая закономерности:

- а) наследственности и изменчивости организмов
- б) взаимоотношения организмов и среды
- в) исторического развития органического мира
- г) индивидуального развития организмов

29. Какой метод позволяет избирательно выделять и изучать органоиды клетки:

- а) скрещивание
- б) центрифугирование
- в) моделирование
- г) биохимический

30. Изучением многообразия организмов, их классификацией занимается наука:

- а) генетика
- б) систематика
- в) физиология
- г) экология

31. Процессы окисления органических веществ и синтеза молекул АТФ в митохондриях исследователи изучают на уровне организации живой природы:

- а) популяционно-видовом
- б) биогеоценотическом
- в) клеточном
- г) организменном

32. Работа по выведению нового сорта растения осуществляется на уровне организации живого:

- а) молекулярном
- б) биосферном
- в) популяционно-видовом
- г) биогеоценотическом

33. Строение и функции молекул белка изучают на уровне организации живого:

- а) организменном
- б) тканевом
- в) молекулярном
- г) популяционно-видовом

34. Живые системы считаются открытыми потому, что они:

- а) построены из тех же химических элементов, что и неживые системы
- б) обмениваются веществами, энергией и информацией с внешней средой
- в) обладают способностью к адаптациям
- г) способны размножаться

35. Межвидовые отношения начинают проявляться на ... уровне:

- а) биогеоценоотическом
- б) популяционно-видовом
- в) организменном
- г) биосферном

36. Какой из уровней жизни является первым надорганизменным уровнем:

- а) биосферный
- б) биогеоценоотический
- в) популяционно-видовой
- г) организменный

37. Что является наиболее общим для всех известных уровней организации жизни:

- а) сложность строения системы
- б) закономерности, действующие на каждом уровне
- в) элементы, составляющие систему
- г) качества, которыми определяется данная система

38. Какое из утверждений наиболее правильно?

- а) все живые организмы обладают одинаково сложным уровнем организации
- б) все живые организмы обладают высоким уровнем обмена веществ
- в) все живые организмы одинаково реагируют на окружающую среду
- г) все живые организмы обладают одинаковым механизмом передачи наследственной информации

39. Генетика – наука, изучающая закономерности:

- а) наследственности и изменчивости организмов
- б) взаимоотношения организмов и среды
- в) исторического развития органического мира
- г) индивидуального развития организмов

40. Какой метод позволяет избирательно выделять и изучать органоиды клетки:

- а) скрещивание
- б) центрифугирование
- в) моделирование
- г) биохимический

41. Развитие организма животного от момента образования зиготы до рождения изучает наука:

- а) генетика
- б) физиология
- в) морфология
- г) эмбриология

42. Строение и функции органоидов клетки изучает наука:

- а) генетика
- б) цитология
- в) селекция
- г) фенология

43. Для изучения тонкого строения хлоропласта используется метод:

- а) экспериментальный
- б) электронной микроскопии
- в) световой микроскопии
- г) гибридизации

44. Строение и функции молекул белка изучают на уровне организации живого:

- а) организменном
- б) тканевом
- в) молекулярном
- г) популяционно-видовом

Тема 2. Происхождение жизни.

1. К характеристике планетарной стадии развития Земли не относится следующее:

- а) $T > 1000$ градусов по Цельсию
- б) $T = 100$ градусов по Цельсию и ниже

- в) первичная атмосфера
- г) первичный океан

2. *Образование в водах первичного океана органических веществ из неорганических осуществлялось в результате действия:*

- а) химических реакций
- б) грозových разрядов
- в) ультрафиолетовой радиации
- г) химических реакций, грозových разрядов, ультрафиолетовой радиации.

3. *Историю Земли принято делить на промежутки времени, границами которых являются:*

- а) горообразовательные процессы
- б) глобальные изменения климата
- в) горообразовательные процессы, изменения очертаний материков, уровня океанов, поднятие и опускание суши
- г) поднятие и опускание суши.

4. *Сущность теории стационарного состояния заключается в том, что жизнь:*

- а) возникала неоднократно из неживого вещества
- б) существовала всегда
- в) была создана нематериальной субстанцией
- г) возникла в условиях Земли в результате процессов, подчиняющихся физическим и химическим законам.

5. *Концепция биогенеза заключается в следующем:*

- а) жизнь была создана нематериальной субстанцией
- б) жизнь может возникнуть только из предшествующей жизни
- в) источником спонтанного зарождения жизни служат либо неорганические соединения, либо гниющие органические остатки
- г) Земля никогда не возникала, а существовала вечно.

6. *Гипотеза этернизма заключается в следующем:*

- а) жизнь была создана не материальной субстанцией
- б) жизнь существовала всегда
- в) жизнь была занесена на Землю с других планет
- г) жизнь возникла в условиях Земли в результате процессов, подчиняющихся физическим и химическим процессам.

7. *Гипотеза этернизма была разработана:*

- а) В.Вернадским б) Л. Пастером в) А. Опариным г) В.Прейером

8. *Гипотеза о том, что жизнь возникла самопроизвольно из неорганических соединений или гниющих органических остатков, называется:*

- а) креационизм б) концепция абиогенеза
- в) гипотеза самозарождения г) гипотеза панспермии.

9. *Гипотеза о том, что жизнь была занесена на Землю с других планет, называется гипотезой:*

а) биопозза б) пансермии в) этернизма г) Опарина-Холдейна.

10. Гипотезу о том, что споры бактерий и других организмов могли быть занесены на Землю с метеоритами, предложил:

- а) Г.Рихтер б) Дж. Томсон
в) В.Вернадский г) В. Прейер

11. Биохимическая концепция А.И.Опарина была разработана в:

- а) 1668г. б) 1880г. в) 1947г. г) 1924г.

12. По мнению А.И.Опарина, решающая роль в превращении неживого в живое принадлежит:

- а) углеводам б) жиром
в) белкам г) нуклеиновым кислотам.

13. Система взглядов А.И.Опарина получила название:

- а) гипотезы пансермии б) гипотезы биопозза
в) коацерватной гипотезы г) гипотезы этернизма

14. Термическую теорию разработал(-и):

- а) С. Миллер б) С. Фокс
в) Ф. Денеш и К. Симионеску г) Дж. Оро

15. Гипотеза о том, что белковоподобные вещества могли быть синтезированы в мелких водоемах после отлива воды или испарения ее в жаркие дни, называется:

- а) гипотеза биопозза б) термическая теория
в) низкотемпературная теория г) гипотеза этернизма

16. Первыми фотосинтезирующими организмами, осуществляющими двухстадийный фотосинтез с выделением кислорода, были:

- а) анаэробные бактерии б) одноклеточные водоросли
в) цианобактерии г) бактериофаги

17. Гипотеза о том, что эукариотическая клетка возникла в результате нескольких последовательных симбиозов, называется гипотезой:

- а) аутогенной б) биопозза
в) этернизма г) симбиотической

18. Голосеменные растения появились в:

- а) девонском периоде палеозойской эры
б) пермском периоде палеозойской эры
в) триасовом периоде мезозойской эры
г) каменноугольном периоде палеозойской эры.

19. Какую эру называют «веком динозавров»?

- а) палеозойскую б) мезозойскую
в) кайнозойскую г) протерозойскую

20. Мысль о том, что рыбы могли зародиться из ила, черви из почвы, мыши из грязи, а мухи из мяса, является иллюстрацией гипотезы:

- а) биопозза б) этернизма
в) самозарождения г) панспермии

21. *Физико-химические условия звездной стадии развития Земли:*

- а) существование первичной атмосферы
- б) поверхность раскалена до 1000 град. по Цельсию, элементы находятся в виде атомов
- в) формирование первичного океана
- г) поверхность раскалена до 1500 град. по Цельсию, газы находятся в состоянии конденсации водяных паров.

22. *Пробионты образуются в результате соединения и взаимодействия коацерватов с:*

- а) белками б) жирами в) нуклеиновыми кислотами г) углеводами

23. *Сущность биохимических гипотез возникновения жизни на Земле заключается в том, что жизнь:*

- а) возникала неоднократно из неживого вещества
- б) существовала всегда
- в) была создана не материальной субстанцией
- г) возникла в условиях Земли в результате процессов, подчиняющихся физическим и химическим законам.

24. *Сущность гипотезы панспермии заключается в том, что жизнь:*

- а) существовала всегда
- б) была занесена на Землю с других планет
- в) была создана не материальной субстанцией
- г) возникала неоднократно из неживого вещества

25. *Концепцию самозарождения жизни впервые опровергнул, проделав опыт с мертвыми змеями:*

- а) Л. Пастер б) В. Прейер в) Ф. Реди г) А. Опарин

26. *В переводе с латинского языка на русский слово «этернизм» означает:*

- а) долгий б) временный в) вечный г) мгновенный

27. *Гипотеза этернизма была разработана в :*

- а) 1859 г. б) 1872 г. в) 1880 г. г) 1668 г.

28. *Гипотеза стационарного состояния называется:*

- а) креационизм б) концепция абиогенеза в) этернизма г) панспермия

29. *Гипотеза о том, что жизнь возникла в условиях Земли в результате процессов, подчиняющихся физическим и химическим законам, называется гипотезой:*

- а) этернизма б) абиогенеза
- в) биохимической г) панспермии

30. *Гипотеза о том, что жизнь возникла в специфических условиях древней Земли и является закономерным результатом химической эволюции соединений углерода во Вселенной, называется гипотезой:*

- а) панспермии б) биопоза в) Опарина-Холдейна г) этернизма

31. *Характер атмосферы первичной Земли, по мнению А.И. Опарина, был:*

- а) окислительный б) восстановительный
- в) окислительно-восстановительный г) нет правильного ответа

32. В переводе с латинского «коацерват» означает:
 а) капля б) сгусток в) цепочка г) звено
33. Гипотезу биопоэза сформулировал:
 а) Опарин б) Дж. Холдейн в) С. Миллер г) Дж. Бернал
34. Труд А.И.Опарина называется:
 а) «Возникновение биосферы» б) «Новая эра»
 в) «Происхождение жизни» г) «Появление жизни на Земле»
35. Гипотеза о том, что источником энергии для абиогенного синтеза сложных органических веществ служила холодная плазма, называется:
 а) гипотеза этернизма б) термическая теория
 в) низкотемпературная теория г) гипотеза биопоэза.
36. Появление эукариотических одноклеточных организмов произошло предположительно около:
 а) 4,5 млрд. лет тому назад б) 3 млрд. лет тому назад
 в) 1,5 млрд. лет тому назад г) 0.5 млрд. лет тому назад
37. Древнейший этап в истории Земли – это эра:
 а) протерозойская б) палеозойская в) архейская г) мезозойская
38. Гипотеза происхождения многоклеточных организмов от шароподобных колоний жгутиковых, первичным способом питания которых был фагоцитоз, называется:
 а) аутогенная гипотеза б) гипотеза Э. Геккеля
 в) симбиотическая гипотеза г) гипотеза И. Мечникова.
39. Плацентарные млекопитающие появились предположительно в:
 а) конце мезозойской эры б) середине мезозойской эры
 в) начале мезозойской эры г) начале кайнозойской эры
40. Мысль о том, что «жизненная сила» присутствует всюду, поэтому достаточно лишь вдохнуть ее, и неживое станет живым, является иллюстрацией гипотезы:
 а) биопоэза б) этернизма в) самозарождения г) панспермии
41. Первый живой организм называется:
 а) коацерват б) протобионт в) пробионт г) эукариот
42. В отличие от коацерватов пробионты способны к:
 а) росту б) обмену веществ
 в) размножению г) росту, обмену веществ, размножению.
43. Сущность гипотезы самозарождения жизни заключается в том, что жизнь:
 а) возникала неоднократно из неживого вещества

- б) существовала всегда
- в) была создана нематериальной субстанцией
- г) возникла в условиях Земли в результате процессов, подчиняющихся физическим и химическим законам.

44. Концепция абиогенеза следующая:

- а) жизнь была создана нематериальной субстанцией
- б) жизнь может возникнуть только из предшествующей жизни
- в) источником спонтанного зарождения жизни служат либо неорганические соединения, либо гниющие органические остатки
- г) Земля никогда не возникала, а существовала вечно.

45. Невозможность самопроизвольного зарождения микроорганизмов доказал:

- а) Л. Пастер
- б) Дж. Тиндаль
- в) Л. Спалланцани
- г) А. ван Левенгук

46. Гипотеза стационарного состояния по-другому называется гипотезой:

- а) панспермии
- б) Опарина-Холдейна
- в) этернизма
- г) биопозза

47. Гипотеза о том, что жизнь была создана нематериальной субстанцией, называется:

- а) гипотеза панспермии
- б) гипотеза этернизма
- в) гипотеза самозарождения
- г) креационизм.

48. Гипотеза о том, что Земля никогда не возникала и жизнь существовала вечно, называется гипотезой:

- а) биопозза
- б) панспермии
- в) этернизма
- г) Опарина-Холдейна

49. Гипотезу о космическом происхождении жизни высказал:

- а) В. Вернадский
- б) В. Прейер
- в) Г.Рихтер
- г) Ф. Реди

50. Биохимическую концепцию разработал:

- а) В. Прейер
- б) В.Вернадский
- в) А.Опарин
- г) Г. Рихтер

51. Возраст Земли, по мнению А.И.Опарина, составляет:

- а) 6 млрд. лет
- б) 5,2 млрд.лет
- в) 4,5 млрд. лет
- г) 3 млрд. лет

52. К образованию ферментов привело включение в состав коацерватов:

- а) ионов неметаллов
- б)ионов металлов
- в) нуклеиновых кислот
- г) аминокислот

53. Гипотеза биопозза была сформулирована в:

- а) 1880 г.
- б) 1924 г.
- в) 1947 г.
- г) 1929 г.

54. Гипотеза о том, что жизнь возникла в бескислородных условиях в первичном водном океане путем самоорганизации молекул органических веществ, возникших абиогенным путем, называется:

- а) гипотезой панспермии
- б) гипотезой Опарина-Холдейна
- в) гипотезой этернизма
- г) креационизмом.

55. Первыми автотрофными организмами на Земле были:

- а) аэробные бактерии
- б) анаэробные бактерии
- в) вирусы
- г) одноклеточные водоросли.

56. Гипотеза о том, что эукариотическая клетка возникла путем дифференциации исходной прокариотической клетки, называется гипотезой:

- а) биопозза б) аутогенной в) симбиотической г) этернизма

57. Гипотеза происхождения многоклеточных организмов от вольвоксоподобных жгутиковых называется:

- а) аутогенная гипотеза б) гипотеза Э. Геккеля
в) симбиотическая гипотеза г) гипотеза И. Мечникова.

58. Первые покрытосеменные растения появились в:

- а) триасовом периоде мезозойской эры
б) юрском периоде мезозойской эры
в) меловом периоде мезозойской эры
г) палеогеновом периоде кайнозойской эры.

59. Отряд приматов обособился от насекомоядных предположительно в:

- а) конце мезозойской эры б) середине мезозойской эры
в) начале мезозойской эры г) начале кайнозойской эры.

60. Первичными наземными споровыми растениями были:

- а) голосеменные б) мхи в) псилофиты г) папоротники

ПЕРЕЧЕНЬ ВОПРОСОВ К ЗАЧЕТУ

1. Биология – наука о многообразии живых организмов, их возникновении, развитии, структуре, функционировании, взаимоотношении друг с другом и окружающим миром. Разделы биологии.

2. Классификация живых организмов. Иерархия организации живой материи.

3. Пять царств: Prokariotae, Protoctistae, Fungi, Plantae, Animalia. Основополагающие признаки, положенные в современную классификацию живых организмов. Краткая характеристика каждого из царств

4. Микро- и макрокомпоненты. Элементы и атомы, связи между атомами. Соединения и молекулы. Вода, уникальность ее свойств и роль в клетке. Значение углерода. Виды углеродных связей

5. Углеводы: моносахариды, дисахариды, олигосахариды и полисахариды растений, животных и бактерий. Их строение и выполняемые функции.

6. Липиды. Их строение, свойства и роль в организме.

7. Аминокислоты. Белки. Состав, структура и физико-химические свойства.

8. Ферменты и коферменты. Их роль в метаболизме

9. Нуклеотиды, их строение. Нуклеиновые кислоты и выполняемые ими функции

10. Фотосинтез, его сущность. Световая и темновая стадии.

11. Клеточная теория, ее основные положения и дальнейшее развитие. Клетки прокариот и эукариот, их сравнительная характеристика.

Растительные и животные клетки, их отличительные черты и присущее им сходство

12. Строение и функции клетки. Клеточные или плазматические мембраны: строение и функции. Цитоплазма. Состав и значение. Клеточное ядро: его структура и роль в хранении и передаче информации. Клеточные органоиды, их строение и функции.

13. Клеточное деление животных, растительных клеток и бактерий. Митоз: его стадии и биологическое значение. Мейоз, его механизм, сущность и биологическое значение

14. Три закона Г. Менделя. Типы наследования. Изменчивость и стабильность признаков. Формирование генотипа и фенотипа. Факторы, влияющие на этот процесс

15. Хромосомная теория наследственности. Исследования Т. Моргана. Поведение хромосом как основа независимого распределения.

16. Сцепление. Кроссинговер и частота рекомбинаций.

17. Строение организма человека:

а) Значение опорно-двигательной системы. Строение скелета человека и его особенности. Мышцы – активная часть опорно-двигательного аппарата

б) Строение и функции органов пищеварительной системы

в) Значение дыхания. Органы дыхания, их строение и функции

г) Органы кровообращения: сердце и сосуды (артерии, капилляры, вены). Сердце, его строение и работа

д) Нервная система и ее функции. Общий план строения нервной системы

е) Мочеполовая система

ж) Органы чувств (зрения, слуха, обоняния, вкуса, осязания)

ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЙ РАЗДЕЛ

Учебная программа для специальности:
6-05-0521-02 Природоохранная деятельность.

I. ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА.

Учебная программа по дисциплине «Биология» разработана для учреждения образования «Брестский государственный технический университет» в соответствии с требованиями образовательного стандарта первой ступени высшего образования, утвержденного постановлением Министерства образования Республики Беларусь от 30 августа 2013 г., № 88 по специальности 6-05-0521-02 Природоохранная деятельность.

На современном этапе развития человечества, достижения в биологии приобретают все большее значение при решении актуальнейших проблем современности в области экологии, медицины, сельского хозяйства, ветеринарии. Биология также способна ответить на вопросы, связанные с глобальным антропогенным воздействием на биосферу, одним из которых является радиационное загрязнение.

Цель преподавания дисциплины «Биология» состоит в том, чтобы сформировать современные представления о фундаментальных общебиологических закономерностях становления, развития и функционирования живых систем различного ранга, раскрыть характер их соподчиненности, выработать понимание взаимосвязи живой и неживой природы.

Программа для специальности 6-05-0521-02 Природоохранная деятельность (дневное обучение) рассчитана на 48 аудиторных часов, из которых лекций – 32 часа, практических занятий – 16 часов. Самостоятельная работа – 60 часов. Общее количество – 108 часов. Зачетных единиц – 3.

1.1 План учебной дисциплины для дневной формы получения высшего образования

Код специальности (направления специальности)	Наименование специальности (направления специальности)	Курс	Семестр	Всего учебных часов	Количество зачетных единиц	Аудиторных часов (в соответствии с учебным планом УВО)					Академических часов на курсовой проект (работу)	Форма текущей аттестации
						Всего	Лекции	Лабораторные занятия	Практические занятия	Семинары		
6-05-0521-02	Природоохранная деятельность	1	1	108	3	48	32	-	16	-	-	зачет

II. СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

Тема 1. Введение в биологию. Ее значение и место в системе естественных наук. Биология – наука о многообразии живых организмов, их возникновении, развитии, структуре, функционировании, взаимоотношении друг с другом и окружающим миром. Отличительные признаки живой и неживой материи. Иерархия организации живых организмов.

Тема 2 Пять царств: Prokariotae, Protocistae, Fungi, Plantae, Animalia. Основопологающие признаки, положенные в современную классификацию живых организмов. Система Мергелиса и Шварца. Краткая характеристика каждого из царств. Сравнительная характеристика представителей различных царств. К. Линней и его роль в истории биологии. Бинарная номенклатура и ее значение.

Тема 3. Молекулярные основы жизни. Микро- и макрокомпоненты. Элементы и атомы, связи между атомами. Соединения и молекулы. Элементарный химический состав организмов: основные, макро- и микроэлементы и их роль. Значение элементарного химического состава. Вода, уникальность ее свойств и роль в клетке.

Тема 4. Органические соединения. Углеводы: моносахариды, дисахариды, олигосахариды и полисахариды растений, животных и бактерий. Их строение и выполняемые функции. Липиды: группы, строение (жиров) и функции. Их свойства и роль в организме. Аминокислоты: строение, группы. Образование пептидной связи. Незаменимые аминокислоты. Белки: состав, структура и физико-химические свойства.

Тема 5. Клетка – структурная основная и функциональная единица жизни. Клеточная теория, ее основные положения и дальнейшее развитие. Клетки прокариот и эукариот, их сравнительная характеристика. Растительные и животные клетки, их отличительные черты и присущее им сходство.

Тема 6. Строение и функции клетки. Клеточные или плазматические мембраны: строение и функции. Транспорт веществ через биомембраны. Цитоплазма. Состав и значение. Клеточное ядро: его структура и роль в хранении и передаче информации. Клеточные органоиды, их строение и функции. Движение, взаимодействие и контакты между клетками.

Тема 7. Обмен веществ и превращения энергии в живых организмах. Пластический и энергетический обмен – две стороны единого обмена веществ. Фото- и хемосинтез. Дыхание и брожение. Анаболизм (непрерывный синтез) и катаболизм (частичное разрушение компонентов живого организма) – процессы метаболизма. Автотрофная и гетеротрофная ассимиляция.

Тема 8. Воспроизведение клетки. Клеточный цикл: стадии и их характеристика. Клеточное деление животных, растительных клеток и бактерий. Митоз: его стадии и биологическое значение. Мейоз, его механизм, сущность и биологическое значение.

Тема 9. Генетическая информация, наследственность и изменчивость. Нуклеиновые кислоты. Центральная догма молекулярной биологии. Понятие гена. Генетический код и его свойства. Репликация ДНК – молекулярная основа деления клеток. Синтез белка. Регуляция синтеза белка у бактерий и высших организмов. 3 закона Г. Менделя. Типы наследования и экспрессия генов. Изменчивость и стабильность признаков. Формирование генотипа и фенотипа. Факторы, влияющие на этот процесс. Хромосомная теория наследственности. Кроссинговер и частота рекомбинаций. Мутации, их частота и причины.

Тема 10. Эволюция живых систем. Возникновение жизни (биогенез). Пребиотическая (химическая) эволюция, биотическая эволюция, их этапы. Теория Ч. Дарвина, ее характеристика и значение. Понятие о движущих силах эволюции. Современные представления об эволюции и ее факторах. Генетика популяций. Понятия о генофонде. Синтетическая теория эволюции и ее сущность. Предпосылки, доказательства и результаты эволюции. Видообразование. Прогресс и регресс в биологии. Пути достижения биологического прогресса.

Тема 11. Общий обзор строения организма человека. Анатомия человека как наука. Методы изучения анатомии. Значение опорно-двигательной системы. Скелет и его части, функции скелета. Строение кости. Развитие костей, их классификация. Строение скелета человека и его особенности. Соединение костей. Скелетные мышцы. Виды соединений костей. Соединение костей: непрерывные, прерывные, полусуставы. Суставы: строение, классификация. Мышцы как активная часть аппарата движения.

Тема 12. Пищеварение. Обмен веществ. Питательные вещества. Понятие о пищеварении. Пищеварительные ферменты и их роль. Строение и функции органов пищеварительной системы. Гигиена питания. Сущность и значение обмена веществ в жизни человека. Обмен белков, углеводов, жиров, воды, минеральных солей. Витамины, их значение для организма.

Тема. 13. Дыхание. Значение дыхания. Органы дыхания, их строение и функции. Легочная вентиляция. Газообмен в легких и тканях. Нервная и гуморальная регуляция дыхания. Гигиена дыхания.

Тема 14. Кровь. Кровообращение. Внутренняя среда организма. Лимфа. Кровь. Состав крови, плазма, форменные элементы крови, функции. Органы кровообращения: сердце и сосуды (артерии, капилляры, вены). Сердце, его строение и работа. Большой и малый круги кровообращения.

Тема 15. Нервная система. Высшая нервная деятельность. Нервная система и ее функции. Общий план строения нервной системы, подразделение по

топографическому и анатомо-функциональному принципам. Нейрон как структурно-функциональная единица нервной системы. Центральная нервная система: спинной и головной мозг. Периферическая нервная система. Общая характеристика высшей нервной деятельности. Безусловные и условные рефлексы.

Тема 16. Организмы и окружающая среда. Экосистемы. Биохимические, морфо-физиологические и поведенческие адаптации живых организмов. Значение адаптаций в распространении организмов и их участии в формировании биоценозов и экосистем. Влияние человека на экосистемы. Охрана окружающей среды. Рациональное природопользование, сохранение генофонда. Повышение продуктивности естественных и искусственных экосистем. Резервы биосферы и поддержание ее восстановительных возможностей.

III. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ «БИОЛОГИЯ»

№	Наименование разделов и тем	Число учебных аудиторных часов			Управляемая самостоятельная работа	Самостоятельная работа	Всего
		Лекции	Лабораторные занятия	Практические занятия			
1	Введение в биологию. Ее значение и место в системе естественных наук	2	-	-	-	4	6
2	Пять царств: Prokariotae, Protocistae, Fungi, Plantae, Animalia	2	-	2	-	4	8
3	Молекулярные основы жизни	2	-	2	-	4	8
4	Молекулярные основы жизни	2	-	2	-	4	8
5	Строение и функции клетки	2	-	-	-	4	6
6	Обмен веществ и превращения энергии в живых организмах	2	-	-	-	4	6
7	Воспроизведение клетки	2	-	2	-	4	8
8	Генетическая информация, наследственность и изменчивость	4	-	6	-	4	14
9	Эволюция живых систем	2	-	-	-	4	6
10	Общий обзор строения организма человека	2	-	2	-	4	8
11	Пищеварение	2	-	-	-	4	6
12	Дыхание	2	-	-	-	4	6
13	Кровь. Кровообращение	2				4	6
14	Нервная система	2				4	6
15	Организмы и окружающая среда	2				4	6
Итого:		32	-	16	-	60	108

IV. ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

4.1 ПЕРЕЧЕНЬ ЛИТЕРАТУРЫ

Основная:

- 4.1.1 Бавтуто, Г.А., Еремин, В.М. Ботаника: морфология и анатомия растений. Мн., Вышэйшая школа, 1997.
- 4.1.2 Билич, Г.Л. Биология. Полный курс. В 3 Т.- 4-е изд., испр. М.: ОНИКС 21 век, 2007.
- 4.1.3 Биология : учебник : в 2-х томах / под редакцией В.Н.Ярыгина. – Москва : ГЭОТАР-Медиа, 2020. – 917 с.
- 4.1.4 Генкель, П.А. Физиология растений. М., 1985.
- 4.1.5 Грин, Н., Стаут, У., Тейлор, Д. Биология. Пер. с англ./Под ред. Р.Сопера. в 3 т. – М.: Мир, 2021.
- 4.1.6 Молекулярная биология : учеб.-метод. / В.В. Давыдов [и др.]. - Минск : БГМУ, 2023. - 204 с.

Дополнительная:

- 4.1.7 Бавтуто, Г.А. Лабораторный практикум по анатомии и морфологии растений / Г.А. Бавтуто. Мн., 1975.
- 4.1.8 Кемп, П., Армс, К. Введение в биологию / П. Кемп, К. Армс. – М.: Мир, 1988.
- 4.1.9 Медников, Б. М. Биология: формы и уровни жизни: пособие для учащихся / Б. М. Медников. – М.: Просвещение, 1995.
- 4.1.10 Пехов, А.П. Биология с основами экологии / А.П. Пехов. – СПб.: изд-во «Лань», 2000.
- 4.1.11 Рейви, П., Эверт, Р., Айкхорн, С. Современная ботаника. В 2-х т., М.: Мир, 1990.
- 4.1.12 Рис, Э., Стернберг, М. От клеток к атомам / Э. Рис, М. Стернберг. М.; Мир, 1988.

4.2 ПЕРЕЧЕНЬ ТЕМ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ

- 4.2.1 Система Мергелиса и Шварца.
- 4.2.2 Элементы и атомы, связи между атомами. Соединения и молекулы.
- 4.2.3 Углеводы: моносахариды, дисахариды и полисахариды растений, животных и бактерий. Их строение и выполняемые функции.
- 4.2.4 Митоз: его стадии и биологическое значение. Мейоз, его механизм, сущность и биологическое значение.
- 4.2.5 Законы Г.Менделя. Типы наследования.
- 4.2.6 Хромосомная теория наследственности. Кроссинговер и частота рекомбинаций.
- 4.2.7 Решение типовых генетических задач.

4.2.8 Пребиотическая (химическая) эволюция, биотическая эволюция, их этапы.

4.3. Для диагностики результатов учебной деятельности используются:

- устный и письменный опрос во время лабораторных работ;
- письменные отчеты по практическим работам;
- защита практических работ;
- собеседование при проведении консультаций;
- коллоквиумы;
- выступление студентов на конференции по подготовленному реферату;
- сдача зачета.

4.3 ХАРАКТЕРИСТИКА РЕКОМЕНДУЕМЫХ МЕТОДОВ И ТЕХНОЛОГИЙ ОБУЧЕНИЯ

Для достижения поставленных целей обучения, а также для усвоения студентами содержания программы применяются различные методы обучения. В начале изучения курса основная роль принадлежит алгоритмизированным методам обучения, которые используются при решении типовых задач, а также в лабораторном практикуме. По возможности алгоритмизированному обучению необходимо придавать творческий характер, например, при формулировке практико-ориентированных типовых задач. В лекционном курсе могут быть использованы проблемные методы обучения.

Рекомендуемыми методами обучения, отвечающими целям изучения дисциплины, являются:

- элементы проблемного обучения (проблемное изложение, вариативное изложение, частично-поисковый метод), реализуемые на лекционных занятиях;
- элементы учебно-исследовательской деятельности, реализуемые на лабораторных занятиях, при самостоятельной работе.

4.4 МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ОРГАНИЗАЦИИ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ

При изучении дисциплины рекомендуется использовать следующие формы самостоятельной работы:

- проработка лекционного материала;
- контролируемая самостоятельная работа в виде решения задач в аудитории во время проведения занятий под контролем преподавателя;
- подготовка рефератов по индивидуальным темам.

<i>Вид самостоятельной работы</i>	<i>Форма контроля</i>
Работа над лекционным материалом	Устный опрос
Подготовка к практическим занятиям	Защита практических работ
Подготовка к сдаче зачета	Зачет

4.5 ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ НАГЛЯДНЫЕ ПОСОБИЯ, ОБОРУДОВАНИЕ

При чтении лекций, проведении лабораторных, практических и семинарских занятий используются: демонстрационные таблицы; технические средства обучения; коллекционный и гербарный материал; оборудование лаборатории; компьютерные имитационно-моделирующие и тестирующие программные средства.

План учебной дисциплины для дневной формы получения высшего образования

Код специальности (направления специальности)	Наименование специальности (направления специальности)	Курс	Семестр	Всего учебных часов	Количество зачетных единиц	Аудиторных часов (в соответствии с учебным планом УВО)					Академических часов на курсовой проект (работу)	Форма текущей аттестации
						Всего	Лекции	Лабораторные занятия	Практические занятия	Семинары		
6-05-0521-02	Природоохранная деятельность	1	1	108	3	48	32	-	16	-	-	зачет