

А. Г. Щуров

**ЭКОЛОГИЯ
ОРГАНИЗМ И СРЕДА**

Учебное пособие

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО МОРСКОГО И РЕЧНОГО ТРАНСПОРТА
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧЕРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ВОДНЫХ
КОММУНИКАЦИЙ»

А. Г. Щуров

ЭКОЛОГИЯ

ОРГАНИЗМ И СРЕДА

Санкт-Петербург
2009

УДК 504.75

ББК 28.081

Рецензенты:

доктор медицинских наук, доцент *П. В. Родичкин*;

кандидат технических наук, доцент

А. В. Яковлев

Щуров А. Г.

Экология. Организм и среда: учебное пособие. — СПб.: СПГУВК, 2009. — 111 с.

Изложены история развития и современные проблемы экологии, теории появления жизни на Земле и закономерности действия экологических факторов среды на живые организмы.

Учебное пособие предназначено для студентов всех специальностей университета, а также может быть использовано слушателями курсов повышения квалификации в области обеспечения экологической безопасности общехозяйственных систем управления.

УДК 504.75

ББК 28.081

© Щуров А. Г., 2009

© Санкт-Петербургский государственный
университет водных коммуникаций, 2009

1. История развития и современные проблемы экологии

1.1. Понятие экологии и история ее развития

Если в первой половине XX века слово «экология» знали только отдельные ученые, в основном, специалисты-биологи, то в последующем оно по мере роста проблем взаимоотношения человеческого общества с окружающей средой становилось все более популярным и в настоящее время знакомо каждому человеку, но не все понимают этот термин одинаково.

С современных позиций **экология — это наука о взаимоотношениях живых организмов и их сообществ между собой и средой их обитания.** Взаимоотношения в конечном счете сводятся к обмену материей, энергией и информацией.

Экология как наука является составной частью биологии и тесно связана с химией, физикой, геологией, почвоведением, математикой и другими естественными науками.

В буквальном смысле слова «экология» (от греч. «*ойкос*» — дом, жилище и «*логос*» — знание, наука) означает «наука о доме». Впервые термин экология предложил немецкий зоолог Эрнст Геккель (1834–1918) в 1866 году в работе «Всеобщая морфология организмов», в которой он дал следующее определение экологии как науки: «Под экологией мы понимаем общую науку об отношениях организмов с окружающей средой, куда мы относим в широком смысле все условия существования».

Следует заметить, что, говоря об «организмах», Э. Геккель, как это было тогда принято, рассматривал организмы как представителей какого-либо одного вида изолированно от других. По существу, это направление, сформулированное Э. Геккелем, соответствует современному пониманию термина «**аутэкология**» (от греч. «*аутос*» — сам) — **экология отдельных**

видов. Другими словами, аутэкология — это раздел экологии, изучающий реакции отдельных организмов на действия различных факторов внешней среды, их приспособленность и пределы существования в условиях среды обитания (изучение организмов на организменном уровне). Термин «аутэкология» был предложен швейцарским ботаником Карлом Шрётером (1855–1939) в 1896 году именно для обозначения экологии особей.

Однако с начала XX века экологические исследования стали постепенно развиваться на надорганизменном уровне. С этого времени возникло второе направление исследований, которое называется «синэкологией» (от греч. «син» — вместе) — **экология сообществ, биоценозов**, то есть раздел экологии, изучающий исторически сложившиеся совокупности растений, животных и микроорганизмов, населяющие определенный участок суши или водной среды. Впервые этот термин был также предложен Шрётером в 1902 году.

Таким образом, с этого времени возникло деление экологии в зависимости от объектов исследования с *учетом их уровня организации жизни* на два направления — аутэкологию и синэкологию (рис. 1).

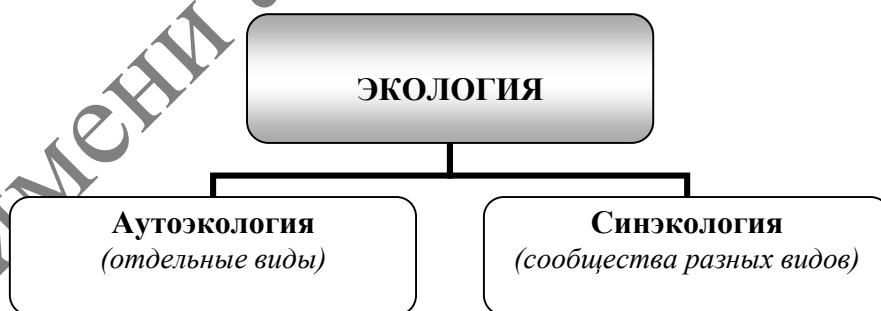


Рис. 1

Неоценимый вклад в развитие основ экологии внес Чарльз Дарвин (1809–1882), установивший основные закономерности эволюции органического мира и движущие силы эволюции, включая обоснование понятий «борьба за существование», «изменчивость», «наследственность».

В 1875 году австрийский геолог Эдуард Зюсс (1831–1914), обсуждая особенности Земли как планеты ввел термин «биосфера». Но он не дал этому термину четкого определения. **Фундаментальное учение о биосфере как особой оболочке Земли, включающей все живые организмы на планете, создано и разработано академиком В. И. Вернадским (1863–1945), опубликовавшим в 1926 году свой одноименный классический труд.**

В 1877 году немецким гидробиологом Карлом Мёбиусом (1825–1908) был предложен термин «биоценоз». Современное определение этого термина (Российский Энциклопедический словарь): **биоценоз** (от био... и греч. «*koinós*» — общий) — **совокупность растений, животных и микроорганизмов, населяющих данный участок суши или водоема и характеризующихся определенными отношениями между собой и приспособленностью к условиям окружающей среды** (например, биоценоз озера, леса).

В 1935 году английский ботаник (эколог) Артур Джордж Тенсли (1871–1955) ввел основное понятие экологии — «экосистема».

Под экосистемой понимается такое единство взаимосвязанных организмов и среды обитания, при котором обеспечиваются круговорот веществ, противостояние внешним воздействиям, производство биологической продукции и некоторые другие функции саморегуляции. Понятие экосистемы включает не только биологические элементы — организмы, но и абиотические факторы, необходимые для жизни этих организмов: температуру, влажность, освещенность, уровень радиации и т. п. С этого времени экологические исследования на надорганизменном уровне (синэкология) стали развиваться особенно широко.

В 1944 году В. Н. Сукачевым (1880–1967) был предложен термин **«биогеоценоз»** (от «био»..., «гео» — земля и греч. «*koinós*» — общий), **обозначающий однородный участок земной поверхности с определенным составом живых (биоценоз) и косных (приземный слой атмосферы)**

ры, солнечная энергия, почва и др.) компонентов и динамическим взаимодействием между ними (обмен веществом и энергией); в определенном контексте этот термин употребляется как синоним экосистемы.

Главное значение этих понятий состоит в том, что они подчеркивают обязательное наличие взаимоотношений, взаимозависимости и причинно-следственных связей. Иначе говоря — объединение компонентов в функциональное целое. Подробно, на каждом из этих терминов мы остановимся в следующих разделах.

В середине 20-х годов XX века американскими социологами Р. Парком, Э. Берджессом и Р. Маккензи впервые было использовано понятие **«социальная экология»** в качестве названия теории, изучающей внутренние механизмы поведения населения крупного индустриального города. С конца 1960-х годов данное понятие фактически приобрело новое значение: **оно предполагает изучение взаимосвязей, общества и окружающей среды с позиции системы «общество – природа».**

Одновременно с социальной экологией стала развиваться **экология человека, изучающая взаимосвязи человека с окружающей средой, воздействие человека на среду и воздействие загрязненной природной и социальной среды на человека.** Это направление экологии тесно связано с проблемами сохранения физического и психического (душевного) здоровья человека в загрязненной окружающей среде. В ряде работ экологию человека рассматривают как раздел социальной экологии.

Сегодня стало очевидным, что экологические проблемы из локальных превратились в глобальные, то есть охватывающие все человечество. Ни одна страна не в состоянии решить свои экологические проблемы в одиночку или сотрудничая лишь с небольшой группой стран. Необходимы четкие согласованные усилия всех государств, координация их действий на строгой международно-правовой основе. Высокая приоритетность экологического фактора в международных отношениях постоянно возрастает, что связано с

прогрессирующим ухудшением состояния биосферы. Есть все основания полагать, что в XXI веке экология войдет в разряд высших приоритетов в международных отношениях.

Международное сотрудничество в области охраны окружающей среды регулируется **международным экологическим правом**, в основе которого лежат общепризнанные принципы и нормы.

Важнейший вклад в становление этих принципов внесли Стокгольмская конференция ООН по проблемам окружающей человека среды (1972); Всемирная хартия природы, одобренная Генеральной Ассамблеей ООН (1982); Международная конференция ООН по окружающей среде и развитию (Рио-де-Жанейро, 1992); Международная конференция ООН по народонаселению и развитию (Каир, 1994); Специальная сессия Генеральной Ассамблеи ООН, посвященная обзору и оценке осуществления Повестки дня на XXI век (Рио+5) (Нью-Йорк, 1997); Киотское соглашение (1997); Конференция ООН по окружающей среде и развитию (Рио+10) (Йоханнесбург, 2002).

На Стокгольмской конференции ООН (1972) была принята декларация, в которой определялись стратегические цели и направления действий мирового сообщества в области охраны окружающей среды, установлен Всемирный день окружающей среды — 5 июня, образован постоянно действующий орган ООН по окружающей среде (ЮНЕП — United Nations Environment Program) со штаб-квартирой в г. Найроби (Кения). Программа ЮНЕП предусматривает организацию и планирование природоохранных действий по оценке окружающей среды (глобальная система наблюдений), управлению окружающей средой и вспомогательным мерам (образование в области окружающей среды и подготовка кадров). ЮНЕП координирует также деятельность других международных организаций по использованию, воспроизводству и охране компонентов окружающей среды — земель, вод, атмосферы, растительного и животного мира и др.

Всемирная хартия природы — международный природоохранный документ, принятый в 1982 году Генеральной Ассамблеей ООН, который возлагает на все государства ответственность за сохранение нашей планеты и ее богатств. Всемирная хартия природы определила приоритетные направления экологической деятельности международного сообщества для того периода, что в значительной мере предопределило дальнейшее формирование экологической политики государств. В Хартии провозглашены следующие основные принципы:

- человечество осознает, что является составной частью природы, поэтому к природе следует относиться с уважением и не нарушать ее основных принципов;
- генетическая основа жизни на Земле не должна подвергаться опасности: все формы жизни и среды обитания должны сохраняться;
- все регионы Земли как на суше, так и на морях должны находиться под охраной;
- природные ресурсы должны не расточаться, а использоваться умеренно.

На **Международной конференции ООН по окружающей среде и развитию (1992)** были одобрены пять основных документов: «Декларация по окружающей среде и развитию», «Повестка дня на XXI век», «Заявление о принципах управления, сохранения и устойчивого развития всех типов лесов», «Рамочная конвенция ООН об изменении климата, (РКИК)», «Конвенция по биологическому разнообразию».

На конференции было признано, что проблемы окружающей среды и экономического развития могут успешно рассматриваться только в единстве, государства должны сотрудничать в духе всемерного партнерства. Также было подчеркнуто, что развитие и защита окружающей среды взаимосвязаны и неделимы. В основу разработки экологической стратегии государствам мирового сообщества рекомендовалось положить концепцию устойчивого развития, под которым понимается одновременное решение

проблем экономического развития и экологии. Этому нет разумной альтернативы.

Киотский протокол — международный документ, который был принят в Киото (Япония) в 1997 году в дополнение к Рамочной конвенции ООН об изменении климата (РКИК). Он обязывает развитые страны и страны с переходной экономикой сократить или стабилизировать выбросы парниковых газов в 2008–2012 годах по сравнению с 1990 годом. Период подписания протокола открылся 16 марта 1998 года.

По состоянию на 2006 год Протокол был ратифицирован 161 страной мира (совокупно ответственными за более чем 61 % общемировых выбросов). Заметным исключением из этого списка являются США и Австралия.

Киотский протокол стал первым глобальным соглашением об охране окружающей среды, основанным на рыночных механизмах регулирования — механизме международной торговли квотами на выбросы парниковых газов.

Страны, подписавшие Протокол, определили для себя количественные обязательства по ограничению либо сокращению выбросов на период с 1 января 2008 до 31 декабря 2012 года. Цель ограничений — снизить в этот период совокупный средний уровень выбросов шести типов газов (CO_2 , CH_4 , гидрофторуглеводороды, перфторуглеводороды, N_2O , SF_6) на 5,2 % по сравнению с уровнем 1990 года.

Основные обязательства взяли на себя индустриальные страны. Евросоюз должен сократить выбросы на 8 %; Япония и Канада — на 6 %; Страны Восточной Европы и Прибалтики — в среднем на 8 %; Россия и Украина — сохранить среднегодовые выбросы в 2008–2012 годах на уровне 1990 года.

Развивающиеся страны, включая Китай и Индию, обязательств на себя не брали.

Будучи правопреемником СССР, Российская Федерация взяла на себя договорные обязательства бывшего СССР по предотвращению экологической катастрофы, сохранению биосферы и обеспечению развития человечества.

Большая роль в решении глобальных природоохранных проблем принадлежит Международному союзу охраны природы (Фонтебло, 1948), переименованному в 1988 году (Коста-Рика) во **Всемирный союз охраны природы (ВСОП)**, который в настоящее время стал одним из лидеров в разработке проблем биоразнообразия. По инициативе ВСОП выпущена Международная Красная книга редких и исчезающих видов растений и животных в пяти томах.

Россия принимает участие в работе и других специализированных организаций ООН, в частности ЮНЕСКО (Организация Объединенных наций по вопросам образования, науки и культуры), ВОЗ (Всемирная организация здравоохранения), ФАО (орган ООН по продовольствию и сельскому хозяйству). Укрепляются научные связи России с МАГАТЭ (Международное агентство по атомной энергии). Россия активно содействует реализации основных программ Всемирной метеорологической организации ООН (ВМО), в частности Всемирной климатической программы. По каналам ВМО в Россию поступает информация о состоянии Мирового океана, атмосферы, озонового слоя Земли и о загрязнении окружающей среды.

Продолжает развиваться экологическое сотрудничество России по линии международных конвенций (договоров) и соглашений на многосторонней основе. Свыше 50 международных документов, подписанных Российской Федерацией и СССР, регулируют ныне российское экологическое сотрудничество с другими государствами, в том числе в рамках Конвенции ООН по морскому праву (1982) и по другим соглашениям и договорам об охране Мирового океана; по выполнению Конвенций о сохранении живых ресурсов в Балтийском море (1973), о международной торговле видами

дикой фауны и флоры (1973), о защите Черного моря (ратифицирована в 1993 г.), о сохранении водно-болотных угодий (1971). В 1992 году Россия стала членом Конвенции о биологическом разнообразии.

На основе межправительственных соглашений развивается двустороннее сотрудничество Российской Федерации в области охраны окружающей среды со всеми пограничными странами, включая государства СНГ, а также с США, Великобританией, Францией, Китаем и другими государствами. Наша страна неоднократно проявляла инициативы на международном уровне, например, в предложениях по природоохранному взаимодействию в азиатско-тихоокеанском регионе (г. Красноярск, сентябрь 1988), по защите морской среды Балтики (г. Мурманск, октябрь 1987), по координации усилий в области экологии под эгидой ООН (43-я сессия Генеральной Ассамблеи ООН, декабрь 1988) и др.

1.2. Составные части и направления современной экологии

Экология как наука прежде всего подразделяется на следующие составные части (рис. 2):

- **общая (фундаментальная, классическая) экология**, изучающая общие закономерности организации жизни, всю живую природу в целом;
- **теоретическая экология**, вскрывающая общие закономерности организации жизни с использованием математического моделирования биологических процессов и количественных методов определения функций экосистем;
- **частная (прикладная) экология**, изучающая механизмы разрушения биосферы человеком и разрабатывающая способы предотвращения этих процессов, принципы охраны окружающей природной среды и рационального использования природных ресурсов.



Рис. 2

С учетом изучения уровня организации жизни на земле экология, как было уже сказано, подразделяется на аутэкологию (экология отдельных особей), синэкологию (экология сообществ). По этому признаку выделяют также **демэкологию** (от греч. «*demos*» — народ) — экологию популяций, то есть раздел экологии, изучающий элементарные надорганизменные системы.

В зависимости от среды жизни или местообитания экология подразделяется на экологию гидросферы, атмосферы, почвы; экологию океана, моря, пресных вод; экологию суши и т. д.

В зависимости от объекта исследования экология делится на такие таксономические ветви, как экология микроорганизмов, экология растений, экология животных, экология насекомых, экология позвоночных и т. д.

С учетом климатических и географических зон экология делится на экологию тропиков, умеренной зоны, полярной зоны.

По фактору времени экология подразделяется на историческую и эволюционную.

Экологи выделяют, как было уже сказано, такие направления, как **социальная экология**, изучающая взаимоотношения в системе «человеческое общество — природа» и ее часть — **экология человека (антропо-экология)**, в которой рассматривается взаимодействие человека как биосоциального существа с окружающим миром (природной и социальной средой).

Современная экология является комплексной наукой, изучающей сложнейшие проблемы взаимодействия человека с окружающей средой. Актуальность, многогранность и сложность этих проблем привели к «экологизации» многих естественных, технических и гуманитарных наук, в результате чего на стыке экологии с другими отраслями знаний созданы такие направления, как **урбоэкология (экология города)** — наука о структуре и функционировании городских экосистем и о взаимодействии человека и окружающей городской среды; **инженерная экология** — наука о способах и средствах преодоления разрушения природной среды производственной деятельностью.

В настоящее время экологические исследования часто опираются на методы и понятийно-терминологический аппарат других биологических и не биологических наук. В этой связи введены понятия «географическая экология», «глобальная экология», или «геоэкология», «химическая экология», «математическая экология», «медицинская экология», «экологическая медицина» «космическая экология» и др. (рис. 3).



Рис. 3

Следует отметить, что существуют и другие классификационные признаки, по которым экология делится на составные части или направления.

1.3. Задачи экологии как науки

Предметом изучения экологии являются объекты организменного, популяционного, видового, биоценотического и биосферного уровней организации экосистем и их взаимодействие с окружающей средой. Главным объектом изучения экологии являются **экосистемы, или единые природные комплексы, образованные живыми организмами и средой их обитания.**

Стратегической задачей экологии является изучение законов взаимодействия природы и общества и оптимизация этого взаимодействия на основе нового взгляда, рассматривающего человеческое общество как неотъемлемую часть биосферы.

В целом же **задачи экологии** весьма многообразны и включают:

- **разработку** общей теории (концепции) устойчивости экологических систем, биологического разнообразия и механизмов его поддержания;
- **исследование** антропогенных воздействий на природные системы и биосферу в целом;
- **прогнозирование** изменений природы под влиянием деятельности человека;
- **создание научной основы** рациональной эксплуатации биологических ресурсов;
- **сохранение** среды обитания человека;
- **регуляция численности** популяций;
- **экологическая индикация** загрязнения природных сред;
- **восстановление** нарушенных природных систем, в том числе рекультивация выведенных из использования сельскохозяйственных угодий, восстановление пастбищ, плодородия истощенных почв, продуктивности водоемов и др.;
- **сохранение** (консервация) эталонных участков биосферы.

1.4. Экологизация общественного сознания

В современной жизни в связи с выдвиганием на первый план проблем взаимодействия человека с окружающей природной средой, резким усилением взаимного отрицательного влияния человека и природной среды, негативными последствиями научно-технического прогресса, ухудшением состояния окружающей среды, возросшей ролью экономических, социальных и нравственных аспектов сам термин «экология» получил более широкое толкование. При этом при оценке и решении проблем взаимодействия человеческого общества и природы основополагающим является экологический подход.

Такой подход возможен при экологизации общественного сознания, сущность которой заключается в перестройке общественного сознания, отказе от **принципа антропоцентризма** и переход на реализацию **принципа биоцентризма**, или **экоцентризма**.

Основные положения **принципа антропоцентризма**:

- 1) человек — это высшая ценность, а природа объявляется собственностью человечества;
- 2) иерархическая картина мира представлена в виде пирамиды, на вершине которой стоит человек, несколько ниже — вещи, созданные человеком и для человека, еще ниже — различные объекты природы;
- 3) характер взаимодействия с природой определяется прагматическим подходом: правильно и разрешено то, что полезно человеку и человечеству;
- 4) этические нормы и правила действуют только в мире людей и не распространяются на взаимодействие с миром природы;
- 5) дальнейшее развитие природы мыслится как процесс, который должен подчиняться процессу развития человека.

Принцип биоцентризма включает следующие основные положения:

1) высшую ценность представляет гармоническое развитие человека и природы: человек — не властелин природы, а один из членов природного сообщества;

2) отказ от иерархической картины мира в пользу человека;

3) характер взаимодействия с природой определяется принципом, по которому правильно и разрешено только то, что не нарушает существующее в природе экологическое равновесие;

4) этические нормы и правила равным образом распространяются как на взаимодействие между людьми, так и на взаимодействие с миром природы;

5) развитие природы и человека мыслится как процесс *коэволюции* — взаимного единства.

Другими словами, человек и природа едины и неотделимы друг от друга, а следовательно, противопоставлять их друг другу в корне неверно и бессмысленно. Человек не в состоянии отменить или изменить законы природы, ибо они объективны и действуют помимо его воли. Человек не может господствовать над природой, он принадлежит ей и находится внутри нее, он может взаимодействовать с природой, используя ее законы. Взаимодействие человека с природой может быть эффективным, если оно основано на использовании ее законов. Целью взаимодействия с природой является максимальное удовлетворение как потребностей человека, так и потребностей всего экологического сообщества.

1.5. Роль образования и воспитания в экологизации сознания

Экологизация общественного сознания достигается в процессе экологического образования и воспитания.

Экологическое образование — целенаправленно организованный, планомерно и систематически осуществляемый процесс овладения экологическими знаниями, умениями и навыками. Действующая в настоящее

время в нашей стране система экологического образования носит непрерывный, комплексный, междисциплинарный и интегрированный характер, с дифференциацией в зависимости от профессиональной ориентации. Созданы центры по экологическому образованию населения, апробируется экологическая компонента содержания профессионального образования.

Экологическое воспитание призвано формировать активную природоохранную позицию и достигается с помощью комплекса *природоохранного и экологического обучения*, включающего воспитание в узком смысле слова, школьное и вузовское экологическое просвещение и пропаганду экологического мировоззрения.

Основная цель экологического воспитания в современных условиях сводится к усвоению следующих постулатов:

- всякая жизнь самоценна, уникальна и неповторима, человек ответственен за все живое;
- природа вечна и бесконечна, поэтому она была и всегда будет сильнее человека; основой взаимоотношения с природой должна стать взаимопомощь, а не противоборство;
- чем более разнообразна биосфера, тем она устойчивее;
- человек оказывает на природную среду недопустимое по масштабам дестабилизирующее воздействие;
- земля может ответить человечеству на свое уничтожение неотразимым ударом;
- антропоцентрический тип сознания должен быть вытеснен биоцентрическим (экоцентрическим);
- люди должны быть ориентированы на радикальное изменение системы ценностей и поведения, а именно, на отказ от перепотребления (для развитых стран), от установки на многодетную семью (для развивающихся стран) и от экологической безответственности и вседозволенности.

Высшей стадией экологизации сознания является экологическая

культура, центральная идея которой заключается в совместном гармоническом развитии природы и человека и отношении к природе не только как к материальной, но и как к духовной ценности.

В отличие от простой информированности о состоянии природы экологическая культура включает не только специальные знания в области экологии, но и эмоционально-ценностное отношение к природе и здоровью человека, отказ от потребительского отношения к природе, а также готовность предпринимать определенные действия по защите природы и здоровья человека.

Правила «не повреди» и «думать глобально, действовать локально» обязательны для всех людей. Во имя жизни на Земле человечеству предстоит возродить, сберечь и развить все основные ценности экологической культуры.

1.6. Объем экологических знаний и навыков для специалистов различных направлений и специальностей

Специалист с высшим образованием независимо от профессиональной направленности и специальности должен:

- понимать суть особенностей Земли как сложной системы; взаимосвязанность природных и социально-экономических факторов в глобальном экологическом кризисе и его отдельных проявлениях;
- понимать взаимосвязь абиотических факторов и биотической компоненты экосистемы, иметь представление о пределах толерантности организмов и популяций и об их экологической нише как обобщенном выражении экологической индивидуальности вида;
- знать основные принципы, закономерности и законы пространственно-временной организации геосистем локального и регионального уровней;
- знать основы биологической продуктивности биосферы;

– иметь представление о воздействии различных технических систем на природную среду и о методах оценки возникающего экологического риска; о мерах по предотвращению экологически опасных ситуаций или катастроф;

– знать назначение и классификацию мониторинга природной среды.

Перечисленные знания позволят сформировать у специалиста активную природоохранную позицию и добиваться в решении экономических и технических задач оптимальных условий производства и распределения продукции для достижения высоких темпов экономического роста страны и повышения благосостояния населения.

Другими словами, экология является теоретическим фундаментом рационального природопользования и охраны окружающей природной среды.

1.7. Современные экологические проблемы и основные пути их решения

В начале XXI века экологическая ситуация во всем мире, в том числе и во многих регионах нашей страны, продолжает ухудшаться. Основными экологическими проблемами, которые ведут к ухудшению экологической ситуации, являются:

- демографический взрыв — резкое увеличение численности населения в мире;
- переэксплуатация природных ресурсов — чрезмерное потребление ресурсов природы в результате увеличения потребностей человека и численности населения, а также неправильного исходного представления, что природа бесконечно богата и ее единственная задача — служить людям;
- индустриализация общества — развитие транспорта, промышленности, энергетики, которые приводят к ухудшению качества окружающей среды.

Говоря о **демографическом взрыве**, необходимо, прежде всего, отметить, что в работах Хайнца фон Фёрстера, С. П. Капицы, Майкла Кремера, А. В. Коротаева и других ученых показано, что рост населения Земли в течение последних 100 тыс. лет (вплоть до 60-х–70-х годов прошлого века), следовал *закону гиперболического роста численности населения Земли*, согласно которому скорость роста численности населения Земли примерно пропорциональна квадрату его численности.

Начиная с 1960-х годов относительные темпы роста населения стали все больше замедляться, и на смену мировому гиперболическому демографическому росту пришел прямо противоположный тип роста, *логистический*, согласно которому скорость размножения популяции при прочих равных условиях пропорциональна количеству доступных ресурсов.

С 1989 года стали снижаться и абсолютные темпы прироста численности населения мира и в настоящее время составляют ежегодно в среднем 86 млн человек. К 2100 году прирост может снизиться до величины менее 5 млн человек за десятилетие. По модели французского медика Жана-Ноэля Бирабена предел роста составит 10–12 млрд человек, большинство других моделей предполагает несколько менее высокий уровень стабилизации численности населения мира. Окончательный сценарий динамики численности населения мира пока не ясен.

В целом, динамика численности населения в последние столетия и ее прогноз может быть представлена следующим образом: в 1900 году численность населения составляла 1,5 млрд чел., в 2000-м — 6 млрд, в 2005-м — 6,5 млрд, в 2015 г. — 15 млрд (по другим источникам — 8–9 млрд).

Все еще сохраняющиеся высокие темпы роста численности населения мира в решающей степени определяются темпами его увеличения в развивающихся странах, где по состоянию на 1994 год проживало примерно 80 % населения. Так, численность населения мира ежедневно увеличивалась в 1992 году на 254 тыс. человек, менее 13 тыс. из них приходилось

на долю промышленно развитых стран, остальные 241 — на развивающиеся страны: 60 % — Азия, 20 % — Африка, 10 % — Латинская Америка.

Начало демографического взрыва приходится на 1950-е годы, он продолжается вплоть до настоящего времени, хотя и идет в соответствии с явлением так называемого *демографического перехода* быстрыми темпами на спад. Под демографическим переходом следует понимать исторически быстрое снижение рождаемости и смертности, в результате чего воспроизводство населения сводится к простому замещению поколений. Этот процесс является частью перехода от традиционного общества (для которого характерна высокая рождаемость и высокая смертность) к современному.

В настоящее время тенденция снижения рождаемости уже коснулась всех развивающихся стран, что обусловлено социально-экономическими изменениями развивающегося общества в целом и изменениями в семье, в положении женщины, ее вовлечении в производство. Продолжается снижение общего уровня смертности, на фоне чего видна очень молодая структура населения в развивающихся странах. Это до некоторой степени способствует продолжению современного демографического взрыва. Незначительны успехи в снижении младенческой смертности, особенно в наименее развитых странах. С другой стороны, в большинстве стран Тропической Африки смертность в последние годы растет из-за продолжающейся эпидемии СПИДа.

В целом, особенностью современного демографического взрыва является то, что в развивающихся странах наблюдается быстрый рост населения, значительно опережающий их социально-экономическое развитие, усугубляя и без того сложные проблемы занятости, социальной сферы, обеспечения продовольствием, экономики и т. п.

Современный демографический взрыв не только происходит в большом числе стран, непосредственно охватывая значительную часть мирового населения, но по существу, прямо или косвенно затрагивает все мировое

сообщество, превращая локальную демографическую проблему в одну из глобальных проблем современности.

Вместе с тем необходимо принимать во внимание, что в настоящее время темпы роста населения снижаются практически во всех странах мира, и можно говорить, что мы живем в эпоху окончания демографического взрыва. Однако угроза достижения катастрофических значений уровня относительного перенаселения до сих пор сохраняется применительно к отдельным странам, где скорость демографического роста остаётся до сих пор исключительно высокой, а замедляется она недостаточными темпами (прежде всего речь идет о странах Тропической Африки, таких как Нигер, ДРК, Ангола и т. д.).

Чрезмерное потребление (переексплуатация) природных ресурсов является причиной множества экологических проблем. Все ресурсы мы берем у земли и из земли, не давая ей шанса восстановиться и заместить саму себя.

В целом, природные ресурсы делятся на *неисчерпаемые* (ресурсы космического масштаба: солнечная энергия, энергия морских приливов, водные ресурсы планеты и т.п.) и *исчерпаемые*, которые в свою очередь делятся на *невозобновляемые* (запасы угля, торфа, нефти и других полезных ископаемых) и *возобновляемые* (все формы живого и биокосного вещества, почва, растительность, животный мир, микроорганизмы и т. д.).

Экологические последствия чрезмерного потребления включают истощение невозобновляемых ресурсов, таких как металл и твердое ископаемое топливо, а также неправильное управление возобновляемыми ресурсами, включая воду, леса и землю.

Общий уровень потребления природных энергетических ресурсов растет (уголь, нефть, газ и т. д.), и все больше накапливается *твердых отходов*.

Потребление древесины в качестве дров, бумаги, мебели и прочего

приводит к сведению лесов и уничтожению почвенного покрова. Каждый год вырубается столько леса, что площадь вырубок приблизительно равна территории Греции.

Использование хлорфторуглеродов в быту и промышленности (кондиционеры, холодильные установки, аэрозоли, огнетушители и т. д.) и их производство приводит к истощению озонового слоя, которое продолжается и по сей день.

Озоновый слой — часть атмосферы (стратосферы) на высоте от 12 до 50 км, в котором под воздействием ультрафиолетового излучения Солнца кислород (O_2) ионизируется, приобретая третий атом кислорода, и получается озон (O_3). Разрушение озона осуществляется в реакциях фотоллиза и так называемых кислородных, азотных, водородных и галогеновых циклах.

Наибольшая плотность озона встречается на высоте 20 км, наибольшая часть в общем объеме — на высоте 40 км. Если бы можно было извлечь весь озон, находящийся в атмосфере, и сжать под нормальным давлением, то в результате вышел бы слой, покрывающий поверхность Земли с шириной всего 3 мм. Для сравнения, вся сжатая под нормальным давлением атмосфера составляла бы слой в 8 км.

Относительно высокая концентрация озона (около 8 мл/м³) поглощает опасные ультрафиолетовые лучи и защищает все живущее на суше от губительного излучения. Более того, если бы не озоновый слой, то жизнь не смогла бы вообще выбраться из океанов и высокоразвитые формы жизни типа млекопитающих, включая человека, не возникли бы.

В результате истощения озонового слоя увеличивается проникновение на поверхность земли опасных для живых существ, в том числе и для людей, ультрафиолетовых лучей Солнца (длиной волны 100 нм и до 315 нм), что приводит к увеличению раковых заболеваний, прежде всего раку кожи.

Спрос человечества на большее количество еды и на ее лучшее качество привел к тому, что для того, чтобы получить хорошие урожаи, мы стали использовать различные химикаты в сельском хозяйстве, что привело к *загрязнению и заражению почвы*. Эти опасные вещества все равно попадают к потребителям через еду или воду.

Высокий рост городов влечет за собой свои специфические проблемы. Около половины населения планеты в настоящее время проживает в городах. Шумовое загрязнение, загрязнение воздуха, недостаточное обеспечение чистой водой, плохие санитарные условия — это только часть таких проблем. Если такая система потребления останется, то к 2025 году 2/3 населения будут жить в условиях, где будет ощущаться серьезная проблема с водой.

Существует необходимость перейти на систему устойчивого потребления, то есть к такому использованию, распределению и обращению природных ресурсов (вода, бумага, нефть, газ и т. д.), которое насколько возможно минимизирует негативные последствия для окружающей среды, защитит окружающую среду для себя и будущих поколений.

Потребление само по себе не пагубно. Каждый из нас нуждается в еде, воде и месте для жилья. Каждый из нас имеет право потреблять, но это должно происходить ответственно. Мы должны предоставить Земле шанс возобновлять свои ресурсы и понимать, что они понадобятся и другим поколениям.

Махатма Ганди говорил: «Ресурсов земли достаточно, чтобы удовлетворить потребности каждого из нас, но не жадность каждого из нас». Мы должны помнить, что большинство ресурсов планеты ограничены, и мы должны рационально и с уважением их потреблять.

Не менее важную роль играет **индустриализация общества**, ухудшающая качество окружающей среды.

Выбросы CO₂ и других эмиссий, источниками которых являются в

основном машины и промышленные предприятия, приводят к *выпадению кислотных осадков, загрязнению атмосферы, почвы и гидросферы, усилению парникового эффекта* и, в конечном счете, *глобальному потеплению*, что в свою очередь ведет к учащению засух, наводнений, ураганов и землетрясений. Ожидается, что CO_2 и другие газы увеличат температуру на планете в среднем на 2°C к 2100 году.

Парниковый эффект — эффект разогрева приземного слоя воздуха, вызванный тем, что солнечная энергия, особенно видимая часть спектра, на которую приходится около половины энергии, поглощается поверхностью планеты и разогревает ее (особенно излучение в УФ- и ИК-областях — 400–1500 нм). Дело в том, что и земля, и водная поверхность, и атмосфера в свою очередь тоже испускают энергию, только уже в несколько иной форме — как невидимое инфракрасное, или тепловое, излучение (75 % теплового излучения приходится на диапазон 7,8–28 мкм), которое поглощается атмосферой.

В среднем же достаточно длительное время в космическое пространство уходит ровно столько энергии в виде инфракрасного излучения, сколько ее поступает в виде солнечного света. Таким образом, устанавливается тепловое равновесие нашей планеты. Весь вопрос в том, при какой температуре установится это равновесие.

Если бы атмосферы не было, средняя температура Земли составляла бы -23°C . Защитное действие атмосферы, поглощающей часть инфракрасного излучения земной поверхности, приводит к тому, что в действительности эта температура составляет $+15^\circ\text{C}$. Повышение температуры суть следствие парникового эффекта в атмосфере, который усиливается с увеличением количества углекислого газа, водяного пара, озона, оксидов азота, метана, хлорфторуглеводородов и других газов в атмосфере.

Похожий процесс в миниатюре происходит в обычной огородной теплице. Роль поглощающих газов здесь выполняет покрывающая ее плен-

ка, пропускающая энергию солнечного света (прозрачная), но задерживающая направленное вверх тепловое излучение почвы (малопрозрачная).

В последние десятилетия в атмосфере все больше и больше увеличивается концентрация углекислого газа. Это происходит оттого, что с каждым годом увеличиваются объемы сжигания ископаемого топлива и древесины. Вследствие этого средняя температура воздуха у поверхности Земли повышается примерно на $0,5^{\circ}\text{C}$ за столетие. Если нынешние темпы сжигания топлива, а значит, и повышение концентрации парниковых газов сохранятся и в дальнейшем, то, по некоторым прогнозам, в следующем столетии ожидается еще большее потепление климата.

При увеличении содержания углекислого газа с 336 до 450 частей на миллион частей атмосферного воздуха следует рассчитывать на глобальное повышение температуры на $1\text{--}1,5^{\circ}\text{C}$, а при концентрации углекислого газа до 600–700 ч/млн — на $4\text{--}5^{\circ}\text{C}$. Это может привести к катастрофическим изменениям климата. Ежегодное увеличение составляет около 1–2 ч/млн

Говоря о *сокращении глобального биоразнообразия*, необходимо отметить, что оно пока не имеет угрожающих масштабов. Речь идет об угрозе исчезновения редких видов в отдельных регионах планеты, уничтожении их местообитаний, сокращении площадей девственных лесов, истощении биоресурсов морских и пресноводных водоемов, инвазии чужеродных видов и пр. Поэтому все разговоры о «снижении разнообразия» надо отводить, и принимать во внимание только конкретные региональные проблемы, информацию о тенденциях изменения численности и состояния популяций видов, перешагнувших порог репродукционной способности и не способных без поддержки со стороны человека восстановиться.

Необходимо иметь в виду, что сокращение биоразнообразия происходит под влиянием разных факторов, обусловленных различными экологическими проблемами. Основными факторами возможного сокращения

биоразнообразия являются: огонь, истребление популяций человеком, уничтожение местообитаний, загрязнение (изменение химизма) среды, изменение климата и т. д.

Рис. 5



Все эти проблемы (рис. 5) обсуждаются сегодня в средствах массовой информации и в научных кругах.

Эксплуатация природных ресурсов и природных систем без понимания и учета взаимосвязи процессов, вызванных техническим прогрессом, с органическим миром (биосферой) неизбежно ведет к необратимым отрицательным последствиям, к экологическому кризису.

Успешное решение экологических задач в определенном регионе или в масштабе всей планеты возможно лишь в том случае, если граждане владеют определенными знаниями в области экологии, позволяющими оценивать общественное производство с экологических позиций, то есть обладают необходимым каждому экологическим мышлением.

Основными путями решения экологических проблем являются:

1. Психологическая переориентация сознания, смена стереотипов поведения мирового сообщества. Переход от принципа антропоцентризма к принципу биоцентризма: пересмотр самооценки человека как венца при-

роды, ее преобразователя и повелителя; осознание того, что человек – всего лишь один из членов природного сообщества.

2. Форсирование и глобализация научно-технического прогресса, которое приведет к постиндустриальному обществу:

- а) изменение структуры производства, уменьшение в ней удельного веса добывающей промышленности, загрязняющей биосферу;
- б) переход от углеводородной энергетики к ядерной;
- в) внедрение нанотехнологий;
- г) замена транспорта, работающего на жидком топливе, каким-либо экологически чистым;
- д) перестройка всей химической промышленности.

3. Преодоление или хотя бы существенное сокращение технико-экономического и социокультурного разрыва между развитыми и отстающими странами (постиндустриальным центром мирового сообщества и его периферией и полупериферией).

Вопросы и задания для самопроверки

1. Что изучает экология?
2. Назовите основные составляющие и направления экологии.
3. Каковы задачи экологии?
4. Назовите основные экологические проблемы.
5. Назовите основные причины возникновения экологических проблем.
6. Перечислите основные направления решения экологических проблем.

2. Появление и эволюция жизни на Земле

2.1. Теории происхождения жизни на Земле

Происхождение жизни и биосферы представляет собой крупнейшую проблему современного естествознания. Существуют разные теории, касающиеся происхождения жизни, да и всей Вселенной, однако все они далеко не достоверны, гипотетичны.

Наиболее распространенными теориями происхождения жизни на Земле являются следующие:

- креационизм (жизнь была создана сверхъестественным существом в определенное время);
- самопроизвольное зарождение (жизнь возникала неоднократно из неживого вещества);
- стационарное состояние (жизнь существовала всегда);
- панспермия (жизнь занесена на нашу планету извне);
- биохимическая эволюция (жизнь возникла в результате процессов, подчиняющихся химическим и физическим законам).

Креационизм. Самые ранние представления о происхождении жизни сводятся к мифу о сотворении мира. Согласно этой теории жизнь возникла в результате какого-то сверхъестественного события в прошлом, создана сверхъестественным существом в определенное время. Ее придерживаются последователи почти всех наиболее распространенных религиозных учений. В 1650 году архиепископ Ашер из г. Арма (Ирландия) высчитал, что Бог сотворил мир в октябре 4004 г. до н. э. и закончил свой труд 23 октября в 9 часов утра, создав человека. Ашер получил эту дату, сложив возраст всех людей, упоминающихся в библейской генеалогии, от Адама до Христа. С точки зрения арифметики это разумно, однако при этом получается, что Адам жил в то время, когда, как показывают археологические находки, на Ближнем Востоке существовала хорошо развитая го-

родская цивилизация.

Традиционное иудейско-христианское представление о сотворении мира, изложенное в Книге Бытия (Библия), вызывало и продолжает вызывать споры. Если наука в поисках истины широко использует наблюдения и эксперимент, то богословие постигает истину через божественное откровение и веру.

Вера признает вещи, которым нет доказательств в научном смысле слова. Это означает, что логически не может быть противоречия между научным и богословским объяснением сотворения мира, так как эти две сферы мышления взаимно исключают одна другую. Для ученого, научная истина всегда содержит элемент гипотезы, предварительности, но для верующего теологическая истина абсолютна.

Процесс божественного сотворения мира мыслится как имевший место лишь единожды и поэтому недоступный для наблюдения. Этого достаточно, чтобы вынести всю концепцию божественного сотворения за рамки научного исследования. Наука занимается только теми явлениями, которые поддаются наблюдению, а поэтому она никогда не будет в состоянии ни доказать, ни отвергнуть эту концепцию.

Самопроизвольное (спонтанное) зарождение. Эта теория была распространена в Древнем Китае, Вавилоне и Египте в качестве альтернативы креационизму, с которым она сосуществовала. Аристотель (384–322 гг. до н. э.), которого часто провозглашают основателем биологии, придерживался теории спонтанного зарождения жизни. На основе собственных наблюдений он развивал эту теорию дальше, связывая все организмы в непрерывный ряд — «лестницу природы».

Согласно гипотезе Аристотеля о спонтанном зарождении, определенные «частицы» вещества содержат некое «активное начало», которое при подходящих условиях может создать живой организм. Аристотель был прав, считая, что это активное начало содержится в оплодотворенном яйце,

но ошибочно полагал, что оно присутствует также в солнечном свете, тине и гниющем мясе.

С распространением христианства теория спонтанного зарождения жизни оказалась не в чести: ее признали лишь те, кто верил в колдовство и поклонялся нечистой силе, но эта идея все же продолжала существовать где-то на заднем плане в течение еще многих веков.

Ученые средневековья, которые верили в эту теорию, до середины XVII в. спорили лишь о том, рассматривать самозарождение как проявление «духовного начала» или как естественный процесс образования живых организмов. Для подтверждения этой теории ряд ученых в этот период проводил эксперименты. Так, Ван Гельмонт (1577–1644) описал эксперимент, в котором он за три недели якобы создал мышей. Для этого нужны были грязная рубашка, темный шкаф и горсть пшеницы. Активным началом в процессе зарождения мыши этот знаменитый и удачливый ученый считал человеческий пот.

Однако, в 1688 году итальянский биолог и врач Франческо Реди, живший во Флоренции, подошел к проблеме возникновения жизни более строго и подверг сомнению теорию спонтанного зарождения. Реди установил, что маленькие белые червячки, появляющиеся на гниющем мясе, — это личинки мух. Проведя ряд экспериментов, он получил данные, подтверждающие мысль о том, что жизнь может возникнуть только из предшествующей жизни (концепция биогенеза).

«Убежденность была бы тщетой, если бы ее нельзя было подтвердить экспериментом. Поэтому в середине июля я взял четыре больших сосуда с широким горлом, поместил в один из них землю, в другой — немного рыбы, в третий — угрей из Арно, в четвертый — кусок молочной телятины, плотно закрыл их и запечатал. Затем я поместил то же самое в четыре других сосуда, оставив их открытыми... Вскоре мясо и рыба в незапечатанных сосудах зачервили; можно было видеть, как мухи свободно зале-

тают в сосуды и вылетают из них. Но в запечатанных сосудах я не видел ни одного червяка, хотя прошло много дней, после того как в них была положена дохлая рыба» (Реди).

В 1765 году Ладзаро Спалланцани провел следующий опыт: подвергнув мясные и овощные отвары кипячению в течение нескольких часов, он сразу же их запечатал, после чего снял с огня. Исследовав жидкости через несколько дней, Спалланцани не обнаружил в них никаких признаков жизни. Из этого он сделал вывод, что высокая температура уничтожила все формы живых существ и что без них ничто живое уже не могло возникнуть.

Несмотря на это, идея самозарождения жизни сохранялась до середины XIX века, причем подтверждением ей стали опыты Велера по синтезу мочевины из неорганических соединений, проведенные в 1828 году. Ученые, которые придерживались этой концепции, называли себя «виталистами» (от лат. «*vita*» — жизнь).

В 1859 году французская академия наук учредила премию тому, кто наконец сможет разрешить эту проблему. Ее получил в 1862 году Луи Пастер, который доказал, что брожение и гниение вызывают не безжизненные химические реагенты, а бактерии. Этот факт имел огромное не только практическое, но и философское значение, так как свидетельствовал, что живое возникает только из живого, а значит, жизнь так же вечна, как материя. Теория, основанная на этих положениях, получила название **теории биогенеза**.

В то же время, в 1859 году, вышла в свет книга Ч. Дарвина «Происхождение видов путем естественного отбора, или Сохранение благоприятствуемых пород в борьбе за жизнь». Сформулированные Ч. Дарвином основные положения эволюционного учения поставили прочную преграду между живым и неживым.

После объединения идей Дарвина и Пастера вопрос о возникновении жизни принял вполне четкую форму: «Откуда взялся первоначальный жи-

вой зачаток?». Исходя из невозможности возникновения жизни из неживого, то есть из невозможности абиогенеза, одна часть ученых в XIX веке снова вернулась к мысли об «акте первичного творения жизни», другая пришла к «теории стационарного состояния» и третья — к представлению о вечно существующих «семенах жизни», переносимых метеоритами («космическая теория происхождения жизни», или «теория панспермии»).

Теория стационарного состояния. Согласно этой теории, Земля никогда не возникала, а существовала вечно; она всегда была способна поддерживать жизнь, а если и изменялась, то очень мало; виды также существовали всегда.

Оценки возраста Земли сильно варьировали — от примерно 6000 лет по расчетам архиепископа Ашера до $5000 \cdot 10^6$ лет по современным оценкам, основанным на учете скоростей радиоактивного распада. Более совершенные методы датирования дают все более высокие оценки возраста Земли, что позволяет сторонникам теории стационарного состояния полагать, что Земля существовала всегда. Согласно этой теории виды также никогда не возникали, они существовали всегда, и у каждого вида есть лишь две возможности — либо изменение численности, либо вымирание.

Сторонники этой теории не признают, что наличие или отсутствие определенных ископаемых остатков может указывать на время появления или вымирания того или иного вида, и приводят в качестве примера представителя кистеперых рыб — латимерию. По палеонтологическим данным кистеперые вымерли в конце мелового периода 70 млн лет назад. Однако это заключение пришлось пересмотреть, когда в районе Мадагаскара были найдены живые представители кистеперых. Сторонники теории стационарного состояния утверждают, что, только изучая ныне живущие виды и сравнивая их с ископаемыми останками, можно сделать вывод о вымирании, да и в этом случае весьма вероятно, что он окажется неверным. Используя палеонтологические данные для подтверждения теории стациона-

нарного состояния, ее немногочисленные сторонники интерпретируют появление ископаемых остатков в экологическом аспекте. Так, например, внезапное появление какого-либо ископаемого вида в определенном пласте они объясняют увеличением численности его популяции или его перемещением в места, благоприятные для сохранения остатков. Большая часть доводов в пользу этой теории связана с такими неясными аспектами эволюции, как значение разрывов в палеонтологической летописи, и она наиболее подробно разработана именно в этом направлении.

Теория панспермии. Эта теория не предлагает никакого механизма для объяснения первичного возникновения жизни, а выдвигает идею о ее внезапном происхождении в результате занесения на нашу планету извне. Поэтому ее нельзя считать теорией возникновения жизни как таковой; она просто переносит проблему возникновения жизни в какое-то другое место Вселенной — жизнь занесена на нашу планету извне. Теория панспермии утверждает, что жизнь могла возникнуть один или несколько раз в разное время и в разных частях Галактики или Вселенной. Для обоснования этой теории используются многократные появления НЛО, наскальные изображения предметов, похожих на ракеты и «космонавтов», а также сообщения о встречах с инопланетянами.

При изучении материала метеоритов и комет были обнаружены многие «предшественники живого» — такие вещества, как цианогены, синильная кислота и органические соединения, которые, возможно, сыграли роль «семян», падавших на голую землю. Появился ряд сообщений о нахождении в метеоритах объектов, напоминающих примитивные формы жизни, однако доводы в пользу их биологической природы пока не кажутся ученым убедительными. Однако уже в XIX веке несколько ученых предположили, что жизнь могла возникнуть из неорганических веществ в некоем первичном океане (Гексли, Тендаль, Геккель, Пфлюгер). Развитие этих идей стало возможным с появлением биохимии, или, как ее сначала называли, физиологической химии.

2.2. Теория биохимической эволюции

В настоящее время установилось почти традиционное представление о том, что периоду **биологической (органической) эволюции живых существ** на Земле предшествовал период **химической эволюции**. В этот период эволюция шла от атома до молекулы, от молекулы до полимера, от полимера до организма. Химической эволюции, в свою очередь, предшествовала **звездная стадия развития доорганической природы**; предполагают, что эти события происходили около 4,5–6 млрд лет тому назад.

В соответствии с концепцией Отто Юльевича Шмидта (1891–1956) на стадии звездной эволюции (более 5 млрд лет назад) в результате Большого взрыва из газово-пылевого облака образовалось Солнце. Из оставшейся части облака, вращающегося вокруг Солнца, формировались планеты Солнечной системы, в том числе и Земля.

Первоначально Земля была холодной, но благодаря распаду радиоактивных элементов она разогрелась, температура в ее недрах достигла выше 1000°C. В результате твердые породы начали плавиться и распределяться определенным образом: в центре — самые тяжелые, на поверхности — самые легкие. Под влиянием высокой температуры вещества вступали в химические реакции. Так была сформирована первичная атмосфера Земли, которая в то время была бескислородной. В ее состав входили азот, водяной пар, углекислый газ, сероводород, аммиак, метан и др. Свободный кислород, который выделялся из мантии, быстро расходовался на процессы окисления.

Затем наступил период охлаждения планеты. Температура на поверхности Земли снизилась до 100° С. Началась конденсация водяного пара в атмосфере, пошли проливные дожди, продолжавшиеся тысячелетия. Горячая вода заполняла впадины земной поверхности.

Эту концепцию развили или углубили в своих работах в 1924 году русский биохимик А. И. Опарин (1894–1980) и в 1929 году английский

биолог, генетик и физиолог Джон Холдейн (1892–1964). Современная теория возникновения жизни на Земле, называемая **теорией биопоэза** (теория перехода от неживого к живому), была сформулирована в 1947 году английским ученым Джоном Берналом (1901–1971). Суть этой теории сводится к представлениям о трех этапах возникновения жизни, которые являются составляющими процесса (периода) **химической эволюции**.

На первом этапе произошло возникновение органических молекул из неорганических, то есть произошел **абиогенный синтез**. Опарин и Холдейн предположили (а позднее, в 1953 году, Миллер подтвердил это экспериментально), что в основе абиогенного синтеза лежало воздействие сильных электрических разрядов, ультрафиолетового облучения и радиации на первичную атмосферу Земли, содержащую пары воды, метан, аммиак, углекислый газ, азот и в очень небольшом количестве водород. В результате образовались углеродные и азотистые соединения умеренной сложности — аминокислоты и азотистые основания (возможно, аденин). Эти соединения входили в состав так называемого первичного бульона.

Важно понимать, что свободного кислорода в это время на Земле не было. Он находился в связанном состоянии с такими элементами, как железо, алюминий, кремний, в составе минералов в земной коре. Кислород входил также в состав воды и оксидов углерода (CO и CO_2).

Органических веществ, образовавшихся на первом этапе, было очень мало, вероятность реакций между ними была чрезвычайно мала.

На втором этапе шел процесс концентрации возникших органических веществ. Такая концентрация могла идти за счет осаждения органики на частицах глины или гидроокиси железа, а также за счет образования органическими веществами пленки на поверхности воды. Такую пленку прибивало к берегу, где концентрация органических веществ увеличивалась в тысячи раз. Кроме того, концентрированию мог способствовать процесс объединения однородных частиц в разбавленных растворах — закон, хоро-

шо известный в химии. В результате повышения концентрации вероятность взаимодействия между органическими молекулами значительно возросла, что в конечном счете привело к возникновению **коацерватов** — молекул, окруженных водной оболочкой; такие коацерваты объединялись, образуя многомолекулярные комплексы, то есть уже могли появиться **полимеры**.

На третьем этапе началось самовоспроизведение органических молекул, то есть было положено начало размножению. Вероятно, первыми такими молекулами были ДНК и РНК. Очень важным процессом было возникновение мембран, то есть обособление клеток. В основе этого процесса могла лежать адсорбция растворенных в воде белковых молекул на поверхности липидной пленки, покрывающей водоемы. В результате могли возникать двойные липопротеидные пленки, от которых могли отрываться пузырьки. Теоретически они могли покрываться вторым липидно-белковым слоем, что приводило к возникновению четырехслойной оболочки с двумя слоями белков по краям и двумя слоями липидов внутри. Взаимная ориентация этих слоев определялась силами электрического притяжения и гидрофобного взаимодействия.

Описанный механизм образования мембран — только один из возможных. Образование мембран привело к возникновению систем, которые были способны к саморегуляции и самовоспроизведению. Это и были первые живые организмы — **протобионты** — доклеточные образования, обладающие некоторыми свойствами клеток: способностью к обмену веществ, самовоспроизведением и др. (около 4 млрд лет назад).

Где бы (в воде или на суше) и как бы ни протекали первые этапы эволюции жизни, но примерно 3,5 млрд лет тому назад на Земле уже существовали **прокариотные организмы** (безъядерные организмы). Аналогом ядра является нуклеоид, генетическая система которого (генофор) соответствует примитивной хромосоме. Митоза у прокариот нет, клетки прокари-

от лишены хлоропластов, митохондрий, аппарата Гольджи, центриолей, а рибосомы существенно отличаются от рибосом эукариотических клеток.

Прокариоты (от греч. «*pro*» — перед, до и «*karyon*» — ядро) составляют отдельное царство (возможно, надцарство), включающее одноклеточные (архебактерии, эубактерии) и многоклеточные (сине-зеленые водоросли, или цианобактерии) организмы. Термин «прокариоты» предложен в 1937 году Э. Шаттоном, который впервые сформулировал принципиальные различия прокариот и эукариот.

Именно такой возраст имеют породы Варравуанской группы в Западной Австралии, в которых были найдены самые древние остатки прокариот, которых палеонтологи обозначают как **микрофоссилии**. Палеохимические исследования самых древних из известных на планете осадочных пород — формация Исуа в Гренландии — позволяют предполагать наличие микробной жизни значительно раньше, 3,8 млрд лет назад.

Дискуссионным остается вопрос о способе питания первых живых организмов — протобионтов. Долгое время считалось практически общепризнанным, что они должны были быть гетеротрофами. Однако современные гетеротрофы для осуществления своих энергетических и синтетических процессов используют сложную систему ферментных реакций. Метаболизм же протобионтов несомненно был примитивен и для его осуществления они скорее всего нуждались в экзогенных источниках энергии, наиболее стабильным из которых могла быть только лучистая энергия Солнца.

В связи с этим вполне справедливым выглядит предположение Л. Н. Серавина (1994) о том, что протобионты были автогетеротрофами, точнее фотогетеротрофами. Это означает, что они использовали для построения своего тела органические молекулы, которые, скорее всего, в достаточно большом количестве имелись в первичных биотопах, какими бы они ни были, а в качестве энергии — лучистую энергию.

На основе примитивной фотогетеротрофии у прокариот в дальнейшем формировался фотосинтез с участием хлорофиллов. На его раннее возникновение в истории жизни на Земле указывают палеохимические данные, согласно которым в осадочных породах возраста 3,5 млрд лет обнаруживается повышенное содержание легкого изотопа ^{12}C (известно, что фотосинтезирующие организмы легче усваивают $^{12}\text{CO}_2$, чем $^{13}\text{CO}_2$).

Некоторые результаты исследований формации Исуа в Гренландии позволяют предполагать, что фотосинтетической активностью обладали уже организмы, жившие на планете 3,8 млрд лет назад.

В целом, эволюция первичных гетеротрофов (она длилась 1000–1500 млн лет) шла в направлении освобождения зависимости от органических соединений абиогенного происхождения.

В этой связи чрезвычайно важным событием оказалось возникновение **бактериального фотосинтеза**, который привел к накоплению органических веществ уже биогенного происхождения. Однако бактериальный фотосинтез был бескислородным (аноксигенным). И лишь значительно позднее цианобактерии (синезеленые) начали выделять при фотосинтезе кислород, который они получали в процессе фотолиза воды.

Гетеротрофия, по-видимому, развивалась вторично, возможно, после формирования озонового экрана, препятствующего доступу на поверхность планеты богатых энергией ультрафиолетовых лучей. Напомним, что само появление озонового экрана связано с накоплением в атмосфере кислорода, который имеет биогенное происхождение.

Представления о первичной фотогетеротрофии протобионтов, хорошо согласующиеся с палеохимическими данными, затрудняют принятие гипотезы о возникновении и развитии жизни в глубинах океана, в районах с гидротермальной активностью. Даже если признать подобный сценарий развития событий, то необходимо допустить, что уже на ранних этапах своей эволюции протобионты оказались на мелководьях или, по крайней

мере, в пределах фотического слоя первичного океана, то есть там, где возможно существование фотогетеротрофов.

На уровне прокариот, очевидно, шла наработка различных биохимических механизмов усвоения и преобразования потребляемых клеткой химических соединений. Поводом для подобного предположения служат современные прокариоты, обладающие широчайшим разнообразием метаболических процессов, от факультативно анаэробного до, напротив, факультативно аэробного, с многочисленными переходными формами.

Здесь мы сталкиваемся с разными типами брожений (спиртовое, молочнокислое, маслянокислое и др.), которые, несомненно, дали начало гликолизу эукариот. Именно у прокариот эволюировали цикл Кребса, дыхательная цепь и окислительное фосфорилирование, что, по сравнению с анаэробной утилизацией глюкозы, дает дополнительный выигрыш в 36 молекул АТФ в пересчете на одну молекулу глюкозы. Развивались различные способы получения энергии из химических соединений — хемосинтез.

Наконец, формируются и разные варианты бактериального фотосинтеза на основе бактериохлорофиллов и, как завершающий этап биохимической эволюции — фотосинтез с участием хлорофиллов. Он распространен только среди цианобактерий и ничем принципиально не отличается от присущего фотосинтезирующим эукариотам.

По-видимому, именно цианобактерии сыграли неординарную роль в эволюции биосферы, поскольку с их активностью связывают накопление кислорода в атмосфере Земли. Строматолиты, образованные сообществами цианобактерий, становятся многочисленными в раннепротерозойских отложениях, образовавшихся примерно 2,3 млрд лет назад.

Выделявшийся стромалитообразующими цианобактериями кислород, по-видимому, вначале расходовался на окисление растворенного в первобытном океане железа, которое содержалось там в закисной (двухвалентной) форме. При окислении оно переходило в окисную (трехвалент-

ную) форму и осаждалось в виде окислов, образывавших слои окисных пород, так называемых полосчатых железняков (полосчатые железнорудные формации). Их образование происходило в относительно короткий в геологическом масштабе период (несколько сот миллионов лет), начавшийся немногим менее 2 млрд лет тому назад. После окисления основной массы растворенного в океане железа кислород, выделяемый цианобактериями, стал в большом количестве поступать в атмосферу.

Накопление в атмосфере Земли кислорода привело к появлению **кислородно-озонового экрана**, который защитил первичные живые организмы от губительного действия ультрафиолета и создал условия для существования аэробов.

Судя по тому, что для всех эукариот (немногие исключения имеют вторичную природу) характерен аэробный метаболизм, их формирование происходило уже после накопления в атмосфере значительного количества свободного кислорода. Первые ископаемые эукариоты, так называемые акритархи, датируются возрастом примерно в 1,5 млрд лет. Это небольшие, но крупные относительно бактерий, организмы (в среднем 10–500 мкм), одетые толстостенной оболочкой, часто орнаментированной, и имеющие сферическую или звездчатую форму. Очевидно, это представители каких-то вымерших групп протистов.

Таким образом, если на развитие прокариот, начиная с первых этапов химической эволюции, ушло около 500 млн лет, то между первыми прокариотами и первыми эукариотами лежит неизмеримо больший отрезок времени, протяженностью примерно в 2 млрд лет.

Эволюция прокариот привела к возникновению эукариотических клеток, то есть клеток, имеющих оформленное ядро. Подлинное начало жизни связано именно с возникновением такой клетки. С этого момента начинается **период органической (биологической) эволюции**.

В связи с теорией происхождения жизни часто возникает вопрос: по-

чему же жизнь не может возникнуть заново в наше время?

На этот вопрос существует два основных ответа: во-первых, в настоящее время нет соответствующих условий, а во-вторых, чрезвычайно велика вероятность уничтожения появившейся новой жизни другими живыми существами.

Помимо изложенной выше основной и общепризнанной теории происхождения жизни имеются и альтернативные гипотезы. Об одной из них мы уже упоминали — это **теория «космического заноса» (панспермии)**, согласно которой одним из главных источников предбиологических органических молекул является вещество комет. Ее идея основана на том факте, что в кометах были обнаружены большие количества циана и синильной кислоты; из их производных — цианамида или дицианамида могли бы синтезироваться сложные органические соединения.

Предполагают также, что источником атмосферного кислорода помимо фотосинтеза могли быть и другие процессы, например, разложение водяного пара в верхних слоях атмосферы с последующим рассеянием водорода гравитационным полем Земли.

Для стадии полимеризации возможна такая альтернатива, как термический синтез. Существенным моментом в теории Опарина–Холдейна было влияние радиации, особенно ультрафиолетовых лучей, под воздействием которых первые реакции химического синтеза могли протекать при низких температурах. Однако синтез аминокислот и протеиноидов может быть в принципе осуществлен обычными методами при относительно высоких температурах — от +160 до +210 °C, то есть значительно выше точки кипения при современном атмосферном давлении.

В теории происхождения жизни имеются и другие нерешенные вопросы. К их числу относится вопрос о роли случая в возникновении жизни. На вопрос, случайно или закономерно возникновение живых форм, можно ответить так: возникновение простых органических форм, таких как аде-

нин, закономерно, а возникновение отдельных организмов представляет собой случайный процесс. Основным же нерешенным вопросом остается следующий: каким образом из ряда простых химических соединений мог возникнуть сложный механизм воспроизведения без участия каких-то структур, образованных ранее?

Несмотря на ряд нерешенных вопросов, большинство современных авторов гипотез о происхождении жизни на Земле допускают, что в течение огромного промежутка времени планета наша после возникновения 4,55 млрд лет назад была безжизненной, и на ее поверхности, в атмосфере и океане происходил медленный **абиогенный синтез** органических соединений, который привел к образованию первых примитивных организмов.

Возможно, Земля и жизнь на ней — почти ровесники, и поэтому предпочтительнее говорить о появлении жизни на Земле, а не об ее происхождении. Это заключение подтверждает на современном научном материале обобщение В. И. Вернадского, который свыше 50 лет тому назад писал, что «для нашей планеты эмпирически установлено существование жизни в самых древних доступных отложениях, нам на нашей планете известных. С другой стороны, нигде мы не нашли в биосфере горных пород, которые указывали бы на их образование в течение геологического времени в отсутствие живого вещества. Даже массивные породы, как вулканические, так и плутонические, носят в себе несомненные следы существования живого вещества в условиях их образования. Эмпирически, таким образом, мы не нашли указаний на время, когда живого вещества на нашей планете не было. Жизнь на ней геологически вечна».

В свете новых данных неизбежно следует вывод о раннем зарождении жизни в пределах Солнечной системы. Химическая эволюция вещества Земли и остальных планет совершалась еще в космических условиях в период, предшествующий их образованию. Ряд обстоятельств говорит о том, что образование основной массы сложных органических веществ как

родоначальников жизни совершалось за пределами Земли также в период, предшествующий ее образованию.

В настоящее время получены космохимические данные, указывающие на широкие возможности возникновения органических веществ как предшественников жизни в космических условиях. Органические соединения достаточно большой сложности содержатся в метеоритах, относящихся к углистым хондритам, возраст которых, по данным ядерной геохронологии, установлен в пределах 4,5–4,6 млрд лет, что совпадает с возрастом Земли и Луны.

Органическое вещество в метеоритах впервые обнаружил знаменитый шведский химик И. Берцелиус в 1834 году. В органическом веществе метеоритов обнаружены углеводороды, спирты, органические полимеры, аминокислоты, которые обычно выступают как составные части белковых тел. Все органические соединения метеоритов не обнаружили так называемой хиральности, то есть оптической активности (вращение плоскости поляризации света), свойственной органическим веществам биологического происхождения, что свидетельствует об их абиогенном происхождении.

Метеориты представляют собой осколки более крупных тел — астероидов. Большинство изученных (по отражательной способности) астероидов имеет тот же состав, что и метеориты с органическими молекулами. Соответственно можно сделать вывод, что образование органических соединений в Солнечной системе на ранних стадиях ее развития было типичным и массовым явлением. Видимо, эти процессы происходили на последних стадиях остывания солнечной туманности при температуре ниже 500° К, когда совершались реакции между водородом, CO₂ и простейшими соединениями азота в присутствии веществ, которые могли быть катализаторами этих реакций (магнетит, гидратированные силикаты и др.) и при наличии ионизирующей радиации, радиоактивных изотопов. Отсюда следует, что синтез довольно сложных органических соединений как предше-

ственников живого вещества был закономерным этапом в химической эволюции Солнечной системы в канун формирования планет. Возникшие в космических условиях органические вещества вошли в состав многих тел и попали на рождающуюся Землю на последних стадиях аккумуляции, но лишь на Земле реализовались возможности дальнейшей прогрессивной эволюции, которые обеспечили быстрое возникновение саморегулирующихся высокомолекулярных систем — непосредственных предков первых живых организмов. В метеоритах и астероидах химическая эволюция оказалась замороженной.

2.3. Уровни организации живой материи

Под уровнем организации живой материи (жизни) понимают то функциональное место, которое данная биологическая структура занимает в общей системе организации мира. Обычно выделяют следующие уровни организации живой материи: молекулярный, клеточный, организменный, популяционно-видовой, биогеоценотический и биосферный.



Рис. 6

Молекулярный уровень организации подразумевает, что любая живая система состоит из биологических макромолекул: нуклеиновых кислот, белков, полисахаридов, липидов и других органических соединений. С этого уровня начинаются основные процессы жизнедеятельности

(обмен веществ и энергии, передача наследственной информации и т. д.).

Термин **клеточный уровень** означает, что клетка является структурной и функциональной единицей всех живых организмов является клетка. К неклеточной форме жизни относят вирусы, которые могут размножаться только внутри клеток, то есть существование этой формы жизни также зависит от клеток.

На **организменном уровне** возникают взаимосвязанные системы органов, специализированных для выполнения различных функций. Единицей организменного уровня является особь, которая рассматривается как живая система от момента ее зарождения до смерти, то есть в процессе онтогенеза.

Следующий — **популяционно-видовой уровень** — это уже совокупность организмов одного и того же вида, объединенная общим местом обитания. В такой совокупности создается популяция — надорганизменная система. В популяции происходят элементарные эволюционные процессы.

Биогеоценотический уровень организации — это эволюционно сложившаяся, пространственно ограниченная, длительно самоподдерживающаяся, однородная природная система функционально взаимосвязанного комплекса живых организмов и неживых компонентов окружающей среды. Такая система характеризуется относительно самостоятельным обменом веществ и особым типом использования потока солнечной энергии. Живыми компонентами биогеоценоза служат **автотрофные организмы** — **продуценты** (зеленые растения и хемосинтетики) и **гетеротрофные организмы** (животные, грибы, многие бактерии, вирусы). Среди гетеротрофов различают следующие экологические компоненты — **консументы** (растительноядные животные, хищники, паразитические растения) и разлагающие органику **редуценты** (бактерии и грибы). Неживыми компонентами являются солнечная энергия, атмосфера, вода в свободном и связанном ви-

де и субстраты (почва, грунт водоемов, для планктона — вода, для аэропланктона — воздух).

Биосферный уровень организации есть совокупность всех биогеоценозов. Биосфера — это система, которая охватывает все явления жизни на Земле. На этом уровне происходит круговорот веществ и превращение энергии. В биосфере различают следующие уровни: **аэробииосфера** — она охватывает нижнюю часть атмосферы, **гидробиосфера** — вся гидросфера, **террабиосфера** — это поверхность суши и **литобиосфера** — верхние слои литосферы. Над и под собственно биосферой (эубиосферой) лежат слои, в которые живая материя попадает случайно, — это **парабиосфера** и **метабиосфера**. Далее находятся слои, куда живое не может попасть даже случайно, — **апобиосфера** и **абиосфера**. Общая толща эубиосферы оценивается в 12–17 км (в глубь литосферы до 2–3 км, иногда до 5–6 км, до дна Мирового океана — 11 км и над поверхностью Земли до 6–7 км).

Существенное влияние на биосферный уровень организации живой материи оказывает антропогенный фактор. В процессе жизнедеятельности человека накапливаются ксенобиотики, то есть чужеродные для организмов химические вещества, не входящие в естественный биотический круговорот (например, пестициды, минеральные удобрения, препараты бытовой химии, химические лекарственные средства, радиоактивные вещества и т. д.). Попадая в среду обитания живых организмов, ксенобиотики могут вызвать гибель организмов, изменить наследственность, снизить иммунитет, нарушить обмен веществ. Эти влияния, в конечном счете, сказываются и на биосферном уровне организации живой материи.

Рассматривая вопрос о взаимной связи различных уровней организации живой материи, следует иметь в виду, что каждый уровень организации обусловлен группой системообразующих факторов, то есть факторов, оказывающихся ведущими в формировании данной системы (например, вода — системообразующий фактор в формировании водных экосистем).

Но, по сути, всегда имеется группа взаимосвязанных системообразующих факторов (в отношении воды — это температура, соленость, осмотическое давление воды). Объединяющим фактором в пределах каждого уровня организации является обмен веществ и энергии, характерный для этого уровня. Несмотря на специфичность каждого из уровней организации, все они взаимосвязаны и подчиняются общим закономерностям существования живой материи. Каждый последующий уровень организации является следствием предыдущего (например, клеточный уровень организации вытекает из молекулярного уровня). Фактором, объединяющим все уровни организации в единое целое — биосферу, — является биотический обмен веществ.

2.4. Основные свойства и функции живого вещества

По современным представлениям *живые земные тела — это открытые саморегулирующиеся системы, построенные из биополимеров и способные к самовоспроизведению*. Такие тела обладают способностью к авторегуляции, относительным постоянством химического состава и представляют собой открытые системы, то есть системы, которые потребляют энергию из внешней среды и находятся в состоянии динамического равновесия с ней.

В. И. Вернадский в своих работах убедительно показал, что все количество живых организмов Земли образует единое целое — **живое вещество планеты**. В настоящее время этот термин получил широкое распространение.

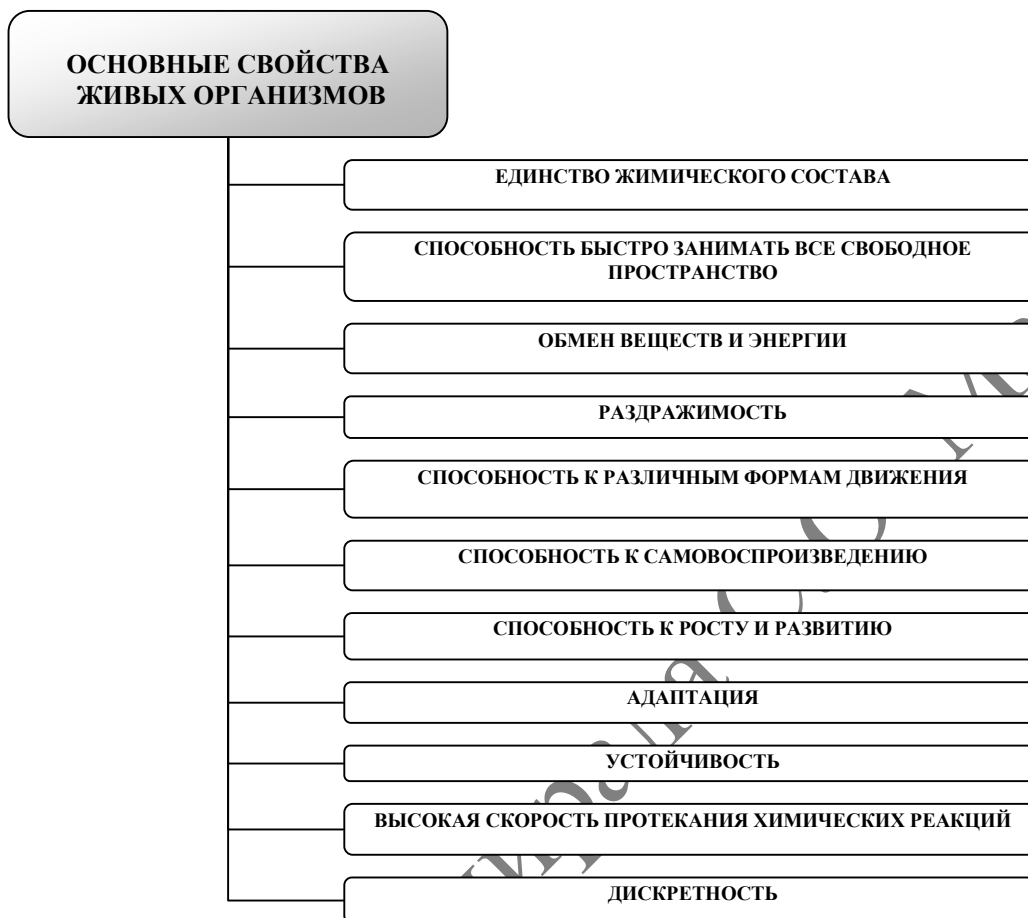


Рис. 7

Перечислим основные свойства живых организмов (рис. 7).

Единство химического состава. В состав живых организмов входят те же химические элементы, что и в объекты неживой природы, но соотношение элементов разное. Оценка среднего химического состава живого вещества была произведена А. Н. Виноградовым. В живых организмах 98 % химического состава приходится на кислород, углерод, водород и азот, при этом кислород составляет 70 %, углерод — 18 %, водород — 10,5 %, каждый из остальных элементов — менее 0,5 %. Живые организмы состоят из сложных молекул углеводов, липидов (жиров и жироподобных веществ), белков и нуклеиновых кислот ДНК и РНК, а также воды и мине-

ральных солей.

Способность быстро занимать все свободное пространство — В. И. Вернадский назвал это свойство «всюдностью жизни».

Обмен веществ и энергии. Живые системы используют внешние источники энергии (свет, пищу и др.). Через живые системы проходят потоки веществ и энергии, поэтому они и называются открытыми. Обмен веществ состоит из двух взаимосвязанных процессов — ассимиляции и диссимиляции. Ассимиляция (анаболизм) — это синтез органических веществ в организме, а диссимиляция (катаболизм) — распад сложных органических веществ с выделением энергии, которая идет на реакции биосинтеза. Именно обмен веществ и обеспечивает относительное постоянство химического состава организма.

Раздражимость (возбудимость). Способность (или свойство) внутриклеточных образований, клеток, тканей и органов реагировать изменением структур и функций на сдвиги различных факторов внешней и внутренней среды. Это свойство связано с передачей информации из внешней среды биологической системе, благодаря чему живые организмы способны избирательно реагировать на меняющиеся условия окружающей среды.

Способность к различным формам движения. Способность не только к физическим и химическим формам движения, но и к биологическим (органическим), то есть движение не только пассивное — под действием силы тяжести и прочих сил, но и активное. Органические, или биологические формы движения связаны с развитием белковой формы жизни. Наиболее общие физические формы движения материи — механическая, атомно-молекулярная, электромагнитная, гравитационная, внутриатомная, внутриядерная; химическая форма движения — движение атомов внутри молекул.

Способность к самовоспроизведению (размножению). Благодаря этой способности не прекращается существование вида. В основе самовос-

произведения лежит образование новых молекул и структур на основе информации, заложенной в ДНК.

Способность к росту и развитию. В процессе роста увеличивается масса и объем организма. В результате развития возникает новое качественное состояние живой материи. Развитие живой материи может быть индивидуальным и историческим. Процесс индивидуального развития подразумевает развитие особи от зарождения (зиготы) до смерти (в половой клетке заложена определенная программа дальнейшего развития организма) называется онтогенезом. Эволюционное (историческое) развитие отдельных систематических групп организмов и всего органического мира (графически обычно изображается в виде филогенетического дерева) называется филогенезом. Историческое развитие (филогенез) сопровождается появлением новых видов. В результате исторического развития возникло все разнообразие живых организмов. Онтогенез — краткое повторение филогенеза.

Адаптация — способность приспосабливаться к изменяющимся условиям жизни (температуре, влажности, освещению и т. д.).

Устойчивость (физическая и химическая) — способность при жизни активно регулировать, то есть сохранять свой состав и функцию. После смерти происходит активное разложение организма.

Высокая скорость протекания химических реакций — реакции в живом организме протекают в тысячи раз быстрее по сравнению с неживым веществом (благодаря ферментам, коферментам, катализаторам и т. д.).

Дискретность (прерывистость биологических систем). Любая биологическая система состоит из отдельных взаимодействующих частей, которые вместе образуют структурно-функциональное единство.

В 1928–1930 годах В. И. Вернадский описал пять основных биохимических функций живого вещества (см. рис. 8).

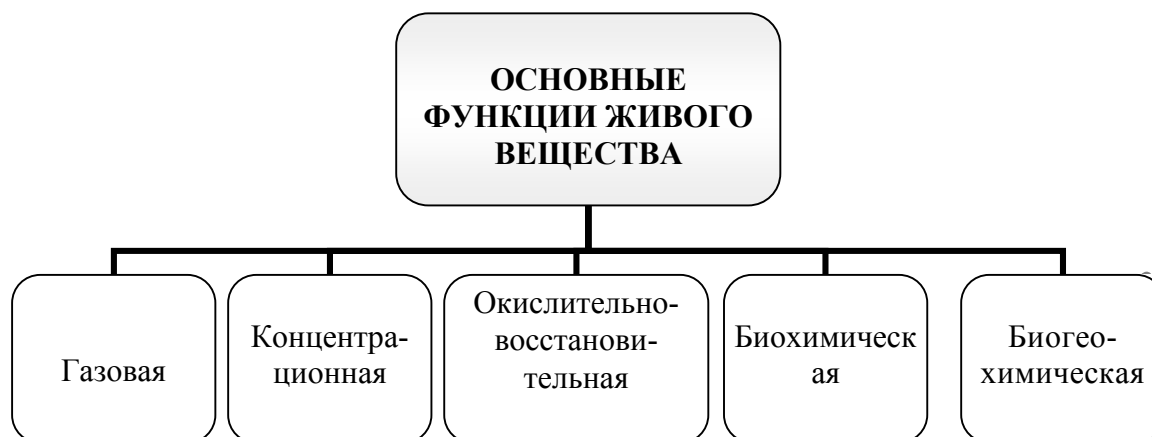


Рис. 8

1. Газовая. Газовые функции заключаются в участии живых организмов в миграции газов и их превращениях. В зависимости от того, о каких газах идет речь, выделяется несколько газовых функций:

Кислородно-диоксидуглеродная — создание основной массы свободного кислорода на планете.носителем данной функции является каждый зеленый организм. Выделение кислорода идет только при солнечном свете, ночью этот фотохимический процесс сменяется выделением зелеными растениями углекислого газа.

Диоксидуглеродная, не зависящая от кислородной, — образование биогенной угольной кислоты как следствие дыхания животных, грибов и бактерий. Значение функции возрастает в области подземной тропосферы, не имеющей кислорода.

Озонная и пероксидводородная — образование озона (и, возможно, пероксида водорода). Биогенный кислород, переходя в озон, предохраняет жизнь от разрушительного действия радиации Солнца. Выполнение этой функции вызвало образование защитного озонового экрана.

Азотная — создание основной массы свободного азота тропосферы за счет выделения его азотовыделяющими бактериями при разложении органического вещества. Реакция происходит в условиях как суши, так и

океана.

Углеродородная — осуществление превращений многих биогенных газов, роль которых в биосфере огромна. К их числу относятся, например, природный газ, терпены, содержащиеся в эфирных маслах, скипидаре и обуславливающие аромат цветов, запах хвойных.

Вследствие выполнения живым веществом газовых биогеохимических функций в течение геологического развития Земли сложились современный химический состав атмосферы с уникально высоким содержанием кислорода и низким содержанием углекислого газа, а также умеренные температурные условия. В соответствии с гипотезой О. Г. Сорохтина, не весь кислород атмосферы имеет биогенное происхождение, 30 % его поступило в воздушный бассейн в результате дегазации недр.

2. Концентрационная. Организмы накапливают в своих телах многие химические элементы. На первом месте стоит *углерод*, который содержится в угле — твердом горючем веществе органического происхождения. В угле содержание углерода по степени концентрации в тысячи раз больше, чем в среднем для земной коры.

Нефть — концентратор углерода и *водорода*, поскольку они имеют биогенное происхождение.

Целые горные хребты сложены останками животных с известковыми составляющими, где важное место занимает *кальций*.

Фосфор накапливается позвоночными животными, сосредоточиваясь в их костях.

У значительной части *железных руд* имеется биогенное происхождение. Они формируются под действием железобактерий.

Накопителями *алюминия* являются бокситы — горная порода, состоящая из нескольких минералов — гидроксидов алюминия.

3. Окислительно-восстановительная. Прежде всего, следует отметить функцию захвата и захоронения избыточной углекислоты морскими

организмами путем перевода ее в соединения углекислого кальция, а также путем образования биомассы живого вещества.

Вследствие выполнения окислительно-восстановительных функций осуществляются химические превращения веществ, содержащих атомы с переменной валентностью.

Окислительная функция выражается в окислении с участием бактерий и, возможно, грибов всех бедных кислородом соединений в почве, коре выветривания и гидросфере. Например, так образуются болотные железные руды, бурые железистые конкреции, ожелезненные горизонты.

Восстановительная функция противоположна по своей сути окислительной. Благодаря ей в результате деятельности анаэробных бактерий в нижней трети профиля заболоченных почв, практически лишенного кислорода, образуются оксидные формы железа.

4. Биохимическая. Она связана с ростом, размножением и перемещением живых организмов в пространстве, с их распространением в разные географические области.

5. Биогеохимическая деятельность человечества. Она охватывает все возрастающие количества веществ земной коры для нужд промышленности, транспорта, сельского хозяйства.

Жизнь на Земле — самый выдающийся процесс на ее поверхности, получающий живительную энергию Солнца и приводящий в движение (круговорот веществ) едва ли не все химические элементы таблицы Менделеева. Биосфера занимает часть земного пространства, охваченного жизнью с ее активным химическим проявлением. По своим требованиям к условиям внешней среды организмы расселяются в разных верхних горизонтах Земли: в нижней части атмосферы, в гидросфере, в почвах, в глубинах литосферы, пропитанных природными водами и нефтяными месторождениями.

Все живое вещество по своей массе ничтожно мало по сравнению с

массой любой из верхних оболочек земного шара (атмосферы, гидросферы). По современным оценкам, общее количество массы живого вещества равно 2420 млрд т ($2,42 \cdot 10^{12}$ т), в то время как масса атмосферы равна $5,15 \cdot 10^{15}$ т, гидросферы — $1,5 \cdot 10^{18}$, а Земли — $6 \cdot 10^{21}$ т. Легко видеть, что масса живого вещества меньше одной миллиардной массы Земли ($0,4 \cdot 10^{-9}$ т).

Если живое вещество равномерно распределить по поверхности нашей планеты, то оно покроет ее слоем толщиной 2 см. Зная, что на Земле в настоящее время живет около 6 млрд человек, предполагая, что средняя масса человека (включая детей) равна 40 кг, легко найти массу человечества: $M = 2,4 \cdot 10^8$ т и увидеть, что она примерно в 10 000 раз меньше массы живого вещества планеты и в 10^{13} раз меньше массы планеты. Однако по своему активному воздействию на окружающую среду эта пылинка — живое вещество — занимает особое место и качественно резко отличается от других оболочек земного шара.

2.5. Движущие силы эволюции

Движущие силы (или факторы) эволюции органического мира — процессы, определяющие механизмы эволюции. Согласно Ч. Дарвину к ним относят:

- наследственную изменчивость,
- борьбу за существование,
- естественный отбор.

Наследственность — свойство организма передавать свои признаки и особенности развития следующим поколениям. Наследственности противопоставляется изменчивость.

Изменчивость — это свойство организма приобретать индивидуальные различия, явление неполного сходства родителей и их потомства, братьев и сестер, различных особей одного вида. На основе изменчивости

организмов появляется генетическое разнообразие форм, которые в результате действия естественного отбора преобразуются в новые подвиды и виды.

Различают два вида изменчивости (рис. 9).



Рис. 9

Модификационная, или фенотипическая изменчивость — изменчивость, выражающаяся в изменениях фенотипа под влиянием факторов внешней среды. **Фенотип** — совокупность всех внешних и внутренних признаков и свойств организма, формирующихся в результате взаимодействия с внешней средой. Фенотипические признаки не передаются от родителей потомкам по наследству.

Другими словами, модификационная изменчивость не вызывает изменений генотипа. Она связана с реакцией данного, одного и того же генотипа на изменение внешней среды: в оптимальных условиях выявляется максимум возможностей, присущих данному генотипу. Так, продуктивность беспородных животных в условиях улучшенного содержания и ухода повышается (надой молока, нагул мяса). В этом случае все особи с одинаковым генотипом отвечают на внешние условия одинаково (Ч. Дарвин этот тип изменчивости назвал *определенной изменчивостью*). Однако другой признак — жирность молока — слабо подвержен изменениям условий среды, а масть животного — еще более устойчивый признак.

Модификационная изменчивость обычно колеблется в определенных пределах. Степень варьирования признака у организма, то есть пределы модификационной изменчивости, называется *нормой реакции*. Она контролируется генотипом, то есть наследуется. У гетерозиготных организмов при изменении условий среды можно вызвать различные проявления данного признака.

Широкая норма реакции свойственна таким признакам, как удои молока, размеры листьев, окраска у некоторых бабочек, а узкая норма реакции — жирности молока, яйценоскости у кур, интенсивности окраски венчиков у цветков и др.

Свойства модификаций:

- 1) ненаследуемость;
- 2) групповой характер изменений;
- 3) соотнесение изменений действию определенного фактора среды;
- 4) обусловленность пределов изменчивости генотипом.

Наследственная, или генотипическая изменчивость — свойство организмов приобретать в процессе индивидуального развития (то есть онтогенеза) и передавать потомству новые признаки, которые определяются генотипом. **Генотип** — это совокупность наследственных признаков организма.

Механизм наследственных изменений — изменение генов и хромосом, рекомбинация (сочетание) родительских признаков у потомства.

Роль наследственной изменчивости в эволюции — поставка материала для действия естественного отбора. Этот вид изменчивости подразделяется на:

- 1) мутационную;
- 2) комбинативную.

Мутационная наследственная изменчивость связана со скачкообразными и устойчивыми изменениями единиц наследственности — генов,

влекущими за собой изменения наследственных признаков, в результате чего новый организм иногда резко отличается от исходной формы. Такие изменения называются *мутациями*. Они резко отличаются от модификаций, не затрагивающих генотипа особи.

Комбинативная наследственная изменчивость связана с получением новых сочетаний генов в генотипе. Сами наследственные факторы (гены) при этом не изменяются, но новые их сочетания между собой приводят к появлению организмов с новым фенотипом.

Термин «мутация» был впервые введен де Фризом (1848–1935). Мутации обязательно вызывают изменения генотипа, которые *наследуются потомством и не связаны со скрещиванием и рекомбинацией генов*.

Мутации можно объединить в группы — классифицировать по характеру проявления, по месту и по уровню возникновения (рис. 10).

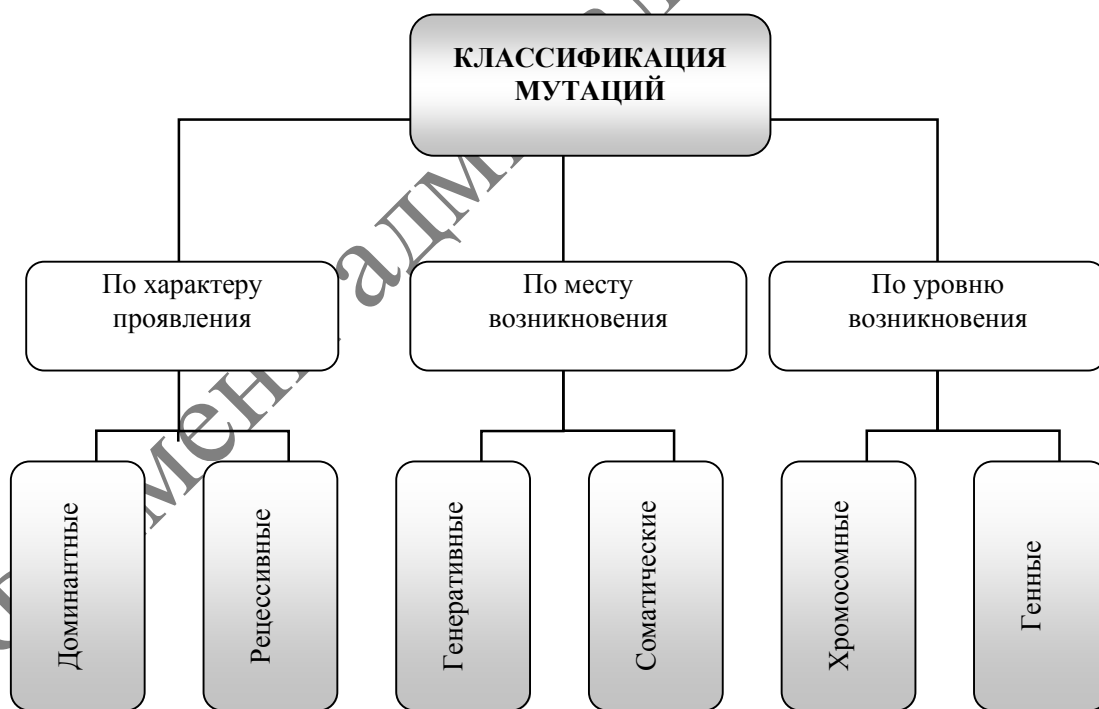


Рис. 10

Мутации по характеру проявления бывают *доминантными* и *рецессивными*. Их также подразделяют по месту возникновения на *генеративные* и *соматические*.

Мутация, возникшая в половых клетках, не влияет на признаки данного организма, а проявляется только в следующем поколении. Такие мутации называют *генеративными*.

Соматическими мутациями называют такие мутации, когда изменяются гены в соматических клетках. Такие мутации проявляются у данного организма и не передаются потомству при половом размножении.

Мутации классифицируют по уровню их возникновения на *хромосомные* и *генные*. К мутациям относится также *изменение кариотипа* (изменение числа хромосом).

Хромосомные мутации связаны с изменением структуры хромосом. Существуют следующие виды перестроек хромосом: отрыв различных участков хромосомы, удвоение отдельных фрагментов, поворот участка хромосомы на 180° или присоединение отдельного участка хромосомы к другой хромосоме. Подобное изменение влечет за собой нарушение функции генов в хромосоме и наследственных свойств организма, а иногда и его гибель.

Генные мутации затрагивают структуру самого гена и влекут за собой изменение свойств организма (гемофилия, дальтонизм, альбинизм, окраска венчиков цветков и т. д.). Генные мутации возникают как в соматических, так и в половых клетках. Они могут быть *доминантными* и *рецессивными*. Первые проявляются как у гомозигот, так и у гетерозигот, вторые — только у гомозигот. У растений возникшие соматические генные мутации сохраняются при вегетативном размножении. Мутации в половых клетках наследуются при семенном размножении растений и при половом размножении животных.

Одни мутации оказывают на организм положительное действие, другие — безразличны, а третьи — вредны, вызывая либо гибель организма, либо ослабление его жизнеспособности (например, серповидноклеточная анемия, гемофилия у человека).

По характеру изменения хромосом выделяют полиплоидию и гетероплоидию.

Полиплоидия — увеличение числа хромосом, кратное гаплоидному набору. В соответствии с этим у растений различают триплоиды ($3n$), тетраплоиды ($4n$) и т. д. В растениеводстве известно более 500 полиплоидов (сахарная свекла, виноград, гречиха, мята, редис, лук и др.). Все они выделяются большой вегетативной массой и имеют большую хозяйственную ценность.

Гетероплоидия — изменение числа хромосом, не кратное гаплоидному набору. При этом набор хромосом в клетке может быть увеличен на одну, две, три хромосомы ($2n + 1$; $2n + 2$; $2n + 3$) или уменьшен на одну хромосому ($2n - 1$). Например, у человека с синдромом Дауна оказывается одна лишняя хромосома по 21-й паре и кариотип такого человека составляет 47 хромосом. У людей с синдромом Шерешевского–Тернера ($2n-1$) отсутствует одна X-хромосома и в кариотипе остается 45 хромосом. Эти и другие подобные отклонения числовых отношений в кариотипе человека сопровождаются расстройством здоровья, нарушением психики и телосложения, снижением жизнеспособности и др.

Свойства мутаций:

- 1) мутации возникают внезапно, скачкообразно;
- 2) мутации наследственны, то есть стойко передаются из поколения в поколение;
- 3) мутации ненаправленны — мутировать может любой локус, вызывая изменения как незначительных, так и жизненно важных признаков;
- 4) одни и те же мутации могут возникать повторно;
- 5) по своему проявлению мутации могут быть полезными и вредными, доминантными и рецессивными.

Способность к мутированию — одно из свойств гена. Каждая отдельная мутация вызывается какой-то причиной, но в большинстве случаев

эти причины неизвестны. Мутации связаны с изменениями во внешней среде. Это убедительно доказывается тем, что путем воздействия внешними факторами удается резко повысить их число.

Комбинативная наследственная изменчивость возникает:

- 1) в результате обмена гомологичными участками гомологичных хромосом в процессе мейоза;
- 2) как следствие независимого расхождения хромосом при мейозе;
- 3) как следствие случайного сочетания хромосом при скрещивании;
- 4) в результате сочетания отдельных генов и хромосом, новая комбинация которых при размножении приводит к изменению определенных признаков и свойств организма.

В селекции важное значение имеет **закон гомологических рядов наследственной изменчивости**, сформулированный российским ученым Н. И. Вавиловым. Он гласит: **внутри разных видов и родов, генетически близких** (имеющих единое происхождение), **наблюдаются сходные ряды наследственной изменчивости**. Такой характер изменчивости выявлен у многих злаков (рис, пшеница, овес, просо и др.), у которых сходно варьируют окраска и консистенция зерна, холодостойкость и иные качества.

Зная характер наследственных изменений у одних сортов, можно предвидеть сходные изменения у родственных видов и, воздействуя на них мутагенами, вызывать у них подобные полезные изменения, что значительно облегчает получение хозяйственно ценных форм. Известны многие примеры гомологической изменчивости и у человека. Например, альбинизм (дефект синтеза клетками красящего вещества) обнаружен у европейцев, негров и индейцев; среди млекопитающих — у грызунов, хищных, приматов; малорослые темнокожие люди — пигмеи — встречаются в тропических лесах Экваториальной Африки, на Филиппинских островах и в джунглях полуострова Малакки.

Некоторые наследственные дефекты и уродства, присущие человеку,

отмечены и у животных. Таких животных используют в качестве модели для изучения аналогичных дефектов у человека. Например, катаракта глаза бывает у мыши, крысы, собаки, лошади; гемофилия — у мыши и кошки, диабет — у крысы; врожденная глухота — у морской свинки, мыши, собаки; заячья губа — у мыши, собаки, свиньи и т. д. Эти наследственные дефекты — убедительное подтверждение закона гомологических рядов наследственной изменчивости Вавилова.

Борьба за существование — сложные взаимоотношения между особями одного вида, разных видов, с факторами неживой природы.

Давно известно, что все живые организмы размножаются в геометрической прогрессии, однако в каждом поколении огромное количество живых организмов гибнет на разных стадиях своего жизненного цикла. Из множества рожденных потомков только немногие доживают до вступления в цикл размножения. Не все дожившие участвуют в размножении. При оплодотворении каждая зигота получает только крохотный шанс на жизнь. За саму жизнь приходится бороться. Но мало просто выжить и благополучно состариться. Для того чтобы оставить свой след в эволюции, нужно произвести потомство. Но и этого мало. Мало просто произвести потомство, нужно это потомство сохранить. За это тоже надо бороться.

В целом, причина борьбы за существование — способность особей к безграничному размножению, увеличению численности и ограниченность ресурсов (пищи, территории и др.) для их существования.

Принято выделять три формы борьбы за существование:

- конституциональная борьба (борьба с неблагоприятными условиями неживой природы — абиотическими факторами);
- межвидовая борьба (борьба с представителями других видов);
- внутривидовая борьба (борьба с представителями своего вида).

Конституциональная борьба за существование. С одной стороны, на любой организм постоянно влияют неблагоприятные условия: избыток

или недостаток влаги, света, повышенной или пониженной температуры воздуха и т. д; с другой стороны, в каждом поколении рождаются особи, которые генетически отличаются друг от друга. Среди них выживают только те, кто наилучшим образом приспособлен к тем условиям, которые имеются в данный момент времени. Преимущество в борьбе за жизнь получают особи, которые способны адаптироваться ко всему спектру этих изменений. Борьба за жизнь происходит каждую минуту, но победителями в этой борьбе оказывается те, кто продержится дольше, те, кто обладает наиболее надежными и хорошо скоординированными адаптациями.

Физический мир вокруг живых организмов постоянно и непредсказуемо меняется. Вместе с ним меняются и правила борьбы за жизнь, меняются критерии приспособленности.

Межвидовая борьба за существование проявляется во взаимоотношениях между особями разных видов. Жизнь каждого организма зависит не только от абиотических условий, но и от множества других видов животных, растений, микроорганизмов, с которыми он, так или иначе, взаимодействует. Каждое усовершенствование любого вида в экосистеме ведет к ухудшению условий для других видов. Поэтому, для того, чтобы выжить, все виды, входящие в экосистему должны непрерывно эволюционировать. Эта закономерность получила название «принцип Красной Королевы».

В межвидовой борьбе не бывает передышек. Она идет постоянно, день за днем, поколение за поколением, и правила этой борьбы постоянно меняются. Возникает ситуация замкнутого круга, когда усовершенствование жертвы в противостоянии хищнику влечет за собой усовершенствование способов охоты у хищников, которое в свою очередь влечет за собой усовершенствование жертвы, и так круг за кругом. Всем видам, входящим в экосистему, приходится «бежать изо всех сил, только для того, чтобы остаться на месте» — постоянно меняться только для того, чтобы сохранить свое место в экосистеме.

Парадоксальная особенность межвидовой борьбы за существование состоит в том, что в ней бывают побежденные, но не бывает безусловных победителей. Если один из видов, включенных в экосистему, «проигрывает» в этой борьбе и вымирает, то жизнь видов-победителей от этого не становится легче. Вымирание тех или иных видов не снижает остроты межвидовой борьбы в биоценозе — на смену вымершим видам приходят их бывшие конкуренты.

Особой остроты межвидовая борьба достигает в тех случаях, когда противоборствуют разные виды, обитающие в сходных экологических условиях и использующие одинаковые источники питания. В результате межвидовой конкуренции происходит либо вытеснение одного из видов, либо приспособление видов к разным условиям в пределах единого ареала, либо, наконец, их территориальное разобщение.

Прямая межвидовая борьба — поедание особями одного вида особей другого вида (отношения «хищник — жертва») или паразитирование на них (отношения «паразит — хозяин»). Косвенная или конкурентная борьба — борьба между видами со сходными потребностями, например щукой и окунем, обитающими в одном водоеме и конкурирующими из-за пищи.

Внутривидовая борьба за существование проявляется во взаимоотношениях между особями одного вида. Наибольшая напряженность внутривидовой борьбы наблюдается вследствие сходства потребностей у особей одного вида (необходимость сходной пищи, освещенности, почвы и др.). Именно на внутривидовом уровне реализуется и межвидовая борьба, и борьба с абиотическими факторами.

Особи, принадлежащие к одному виду, отличаются друг от друга по множеству признаков. Среди множества особей данного вида выживают и размножаются только те, которые лучше, чем их соплеменники противостоят превратностям климата, спасаются от хищников, добывают пищу, защищаются от паразитов.

Таким образом, борьба с абиотическими факторами и межвидовая борьба являются компонентами внутривидовой конкуренции. Однако конкуренция между особями одного вида этим не ограничивается.

Наибольшая напряженность внутривидовой борьбы наблюдается вследствие сходства потребностей у особей одного вида (необходимость сходной пищи, освещенности, почвы и др.).

Тенденция каждого вида к неограниченному размножению вступает в противоречие с ограниченностью жизненных ресурсов. В результате возникает жесткая конкуренция между особями одного вида, поскольку все они имеют одинаковые потребности. Эта конкуренция может быть прямой и легко заметной для наблюдателя. Однако чаще всего внутривидовая конкуренция оказывается не прямой, скрытой от наблюдения. Победители во внутривидовой борьбе получают преимущество в размножении и, соответственно, растет их генетический вклад в следующее поколение.

Многие натуралисты отмечают распространенность внутривидовой взаимопомощи, кооперации и даже самопожертвования в мире животных. На самом деле внутривидовая взаимопомощь является весьма эффективным способом борьбы за существование, если мы, следуя Дарвину, понимаем ее «в широком и метафорическом смысле, включая не только жизнь особи, но и успех в оставлении потомства». Если мы внимательно проанализируем примеры «самопожертвования», то обнаружим, что животные, как правило, жертвуют собой ради своих потомков или других близких родственников. Во внутривидовой кооперации почти всегда участвуют представители близко родственных групп. Из поколения в поколение увеличивается генетический вклад особей, склонных к взаимопомощи.

Наиболее яркие примеры кооперации и взаимопомощи наблюдаются в сообществах социальных насекомых (пчел, муравьев, термитов).

Таким образом, борьба за жизнь является следствием противоречия между тенденцией всех живых организмов к неограниченному размноже-

нию и ограниченностью жизненных ресурсов. Она может принимать разные формы, но результат ее всегда один – из множества рожденных особей каждого вида выживают и размножаются только те, которые лучше других приспособлены к тем условиям, которые существуют в популяции в каждый момент времени.

Естественный отбор — процесс, в результате которого выживают и оставляют после себя потомство преимущественно особи с полезными в данных условиях наследственными изменениями.

Отбор — результат борьбы за существование, главный фактор эволюции, сохраняющий особей преимущественно с полезными в определенных условиях среды наследственными изменениями.

Отбирающий фактор — условия внешней среды: высокая или низкая температура воздуха; избыток или недостаток влаги, света, пищи.

Механизм действия естественного отбора можно представить следующим образом:

- *появление у особей наследственных изменений* (полезных, вредных, нейтральных);
- *сохранение в результате борьбы за существование, естественного отбора преимущественно особей с полезными в данных условиях среды наследственными изменениями;*
- *размножение особей с полезными изменениями, увеличение их численности;*
- *преимущественное выживание особей с изменениями, соответствующими среде обитания, среди потомства, их размножение и передача полезных изменений части потомков;*
- *распространение полезных в данных условиях среды наследственных изменений.*

Естественный отбор происходит автоматически. Все живые организмы из поколения в поколение проходят суровую проверку по всем

мельчайшим деталям их строения, функционирования всех их систем в разнообразных условиях. Только те, кто выдержал эту проверку, оказываются отобранными и дают начало следующему поколению. *Эффективность естественного отбора* зависит от его интенсивности и запаса наследственной изменчивости, накопленного в популяции. *Интенсивность* отбора определяется тем, какая доля особей доживает до половой зрелости и участвует в размножении. Чем меньше эта доля, тем больше интенсивность отбора.

Интенсивность отбора варьирует в широких пределах в зависимости от вида и экологической ситуации. Однако она никогда не бывает нулевой. Даже в человеческих популяциях его интенсивность весьма значительна. В природных популяциях микроорганизмов, растений и животных интенсивность естественного отбора гораздо выше. Однако даже самый интенсивный отбор будет неэффективен, если изменчивость особей в популяции незначительна или носит ненаследственный характер.

Важнейшим свойством естественного отбора является его *способность накапливать и совмещать полезные аллели* (аллели — различные формы одного и того же гена, расположенные в одинаковых участках парных хромосом). Отбор действует в каждом поколении, и в каждом поколении он начинается с того состояния популяции, в которое она была приведена в результате предыдущего цикла отбора. Результаты действия естественного отбора аккумулируются, накапливаются из поколения в поколение. Все новые и новые аллели возникают в популяции за счет мутационного процесса.

Способность отбора накапливать и совмещать полезные аллели и удалять вредные обуславливает и постепенность эволюции, и возникновение изумительно сложных органов, форм и функций. Самые сложные приспособления в строении, функциях и поведении живых организмов сформировались постепенно путем систематического отбора случайно возник-

кающих мутаций.

Объектами отбора всегда являются отдельные особи, а не популяции и не виды. Ни одно приспособление, сколь угодно полезное для вида, не сможет быть подхвачено естественным отбором и распространиться в популяции, если оно вредно для конкретных особей.

В процессе естественного отбора происходят приспособления организмов к условиям жизни, имеющие относительный характер. В результате этого отбора не только адаптивно меняются признаки организмов, но и возникают новые подвиды и виды.

В результате взаимодействия факторов эволюционного процесса формируется адаптация, то есть возникает комплекс морфофизиологических, поведенческих и информационных особенностей особей, популяций или видов, который обеспечивает успех в конкуренции и устойчивость к воздействиям факторов окружающей абиотической среды. Эволюционная адаптация приводит к появлению практически необратимых генетически закрепленных форм приспособления. Появление этих форм обусловлено естественным отбором; такие формы устойчивы во времени и пространстве ареала популяции или вида.

2.6. Главные направления биологической эволюции

Основными направлениями эволюционного процесса являются биологический прогресс и регресс.

Биологический прогресс означает успех данной группы живых организмов в борьбе за существование, что сопровождается повышением численности особей этой группы, расширением ее ареала и распадением на более мелкие систематические единицы (отряды на семейства, семейства на роды и т. д.). Все эти явления взаимосвязаны, так как увеличение численности требует расширения ареала, а в результате заселения новых мест обитания возникает идиоадаптация, что приводит к образованию новых

подвидов, видов, родов и т. д.

Биологический прогресс достигается с помощью **ароморфозов и идиоадаптаций**, которые в свою очередь также можно рассматривать как главные направления эволюции.

Биологическим регрессом называют упадок данной группы живых организмов из-за того, что она не смогла приспособиться к изменениям условий среды или была вытеснена более удачливыми конкурентами. Для регресса характерно уменьшение числа особей в данной группе, сужение ее ареала и уменьшение количества входящих в нее более мелких систематических единиц. Регресс в конце концов может привести к полному вымиранию данной группы. Регресс достигается с помощью **общей дегенерации**, которую также можно рассматривать как одно из основных направлений эволюции.

Ароморфозом (морфофизиологическим, функциональным прогрессом) называется эволюционное преобразование строения и функций организма до такой степени, когда организм переходит на новый уровень организации существования (функционирования). Наиболее крупными ароморфозами, возникшими еще в докембрии, были возникновение фотосинтеза, появление многоклеточных организмов и полового размножения.

В числе крупных ароморфозов можно назвать также развитие гомойотермии (поддержания постоянной температуры тела) у птиц и млекопитающих, возникновение живорождения и выкармливания детенышей молоком у млекопитающих, переход к размножению семенами у семенных растений и т. п. Эволюция кровеносной системы от трубчатого сердца к четырехкамерному также шла путем ряда последовательных ароморфозов.

Ароморфозы имеют широкое приспособительное значение и предоставляют возможности для освоения новой среды обитания. Так, появление у пресмыкающихся яйца в яйцевых оболочках позволило им освоить даже засушливые местообитания, тогда как их предки земноводные долж-

ны были, по крайней мере на период размножения, уходить в воду.

Идиоадаптацией называется всего лишь частное приспособление организмов к определенному образу жизни, не приводящее к новому уровню организации жизни (или функционирования) в конкретных условиях внешней среды.

Благодаря формированию различных идиоадаптаций животные близких видов могут жить в самых различных географических зонах. Например, представителей семейства волчьих можно встретить на всей территории от Арктики до тропиков, что значительно снижает конкуренцию между видами. Идиоадаптация обеспечила этому семейству значительное расширение ареала и увеличение числа видов, что является критерием биологического прогресса. Но при этом ни про один вид нельзя сказать, что он находится на более высоком уровне эволюции, чем другие.

Примерами идиоадаптаций могут служить различные типы клювов у птиц в связи с типом пищи и способом ее добывания (рис) или различные приспособления к опылению и распространению семян у растений.

В результате идиоадаптаций возникают мелкие систематические группы (до семейств включительно).

Ароморфозы возникают в эволюции значительно реже и быстрее, чем идиоадаптации или общая дегенерация. Ароморфозы определяют крупные вехи в истории живой природы, поднимая организацию группы организмов на более высокий уровень и открывая для нее новые пути для освоения внешней среды. После очередного ароморфоза развитие продолжается путем идиоадаптаций, когда новая, более высоко организованная группа осваивает всю доступную для нее среду обитания.

Таким образом, каждый ароморфоз — это скачок в эволюции, который открывает новые возможности для последующих идиоадаптаций.

Общая дегенерация — переход организмов в новые, обычно более простые, условия существования, сопровождающиеся упрощением их

строения.

В процессе эволюции многие виды и более крупные систематические единицы обнаруживали заметный прогресс, который затем сменялся регрессом. Так, в каменноугольном периоде прогрессировали споровые растения (псилофиты) и земноводные. Затем наступил их регресс, который сопровождался прогрессом голосеменных растений и пресмыкающихся. Наконец, в кайнозое и эти группы подверглись регрессу, в результате чего численность их особей и систематических групп резко сократилась, а некоторые отряды (динозавры) исчезли вовсе. Наступил прогресс покрытосеменных растений, млекопитающих и птиц.

В настоящее время в результате антропогенного давления на среду происходит регресс многих видов животных, в первую очередь крупных млекопитающих. Напротив, виды, приспособившиеся к деятельности человека (серая крыса, ворона, таракан) могут обнаруживать тенденцию к прогрессу.

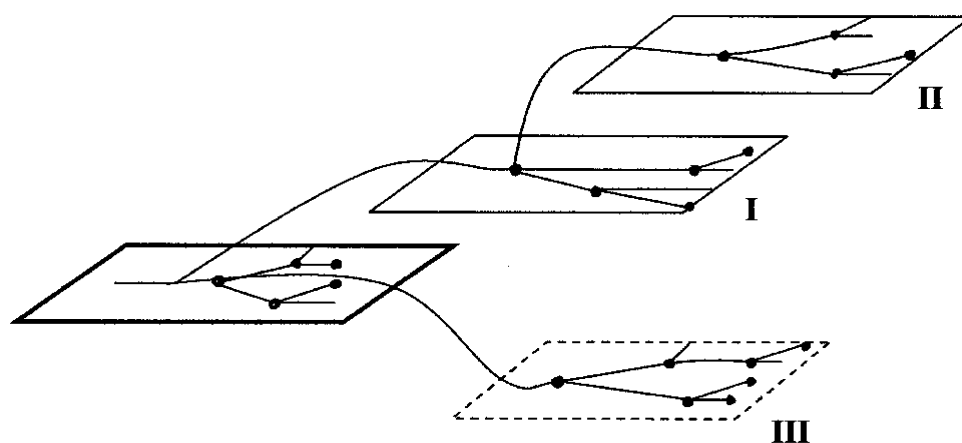


Рис. 11

На схеме основных направлений эволюционных преобразований (рис. 11) I и II плоскости — ароморфозы (подъем на более высокий уровень), III плоскость — общая дегенерация (более низкий уровень); точки

на плоскостях – идиоадаптация (отклонения в пределах плоскостей).

Результатом эволюционных преобразований по различным направлениям явились такие явления, как конвергенция, дивергенция, параллелизм.

Конвергенцией называется развитие сходных признаков у разных групп живых организмов при существовании в близких условиях. Такое сходство называется аналогией, а органы, выполняющие одинаковые функции, — аналогичными. Так, например, акула, дельфин и ихтиозавр имеют схожую форму тела. Крыло птицы и крыло бабочки являются аналогичными органами, так как служат для одной и той же функции — полета, хотя и имеют совершенно различное эволюционное происхождение. В Австралии эволюция сумчатых привела к формированию многих видов, конвергентных с видами высших млекопитающих, обитающими на других континентах (волк – сумчатый волк, крот – сумчатый крот и т. д.).

Дивергенция, — это расхождение признаков организмов в ходе их эволюции от общего предка. В результате дивергенции органы, имеющие общее происхождение, могут стать совершенно непохожими по выполняемым функциям и внешнему виду. Так, различаются, например, крыло птицы, нога лошади, ласт тюленя и рука человека, несмотря на то, что все они образовались из пятипалой конечности, план строения которой одинаков у всех наземных позвоночных. Такие органы называются гомологичными.

Параллелизмом называют независимое развитие сходных признаков в эволюции близкородственных групп организмов, в результате чего вторично приобретенное сходство разных групп накладывается на их сходство, обусловленное общностью происхождения. Так, например, у нескольких групп летающих насекомых передние крылья преобразовались в жесткие надкрылья.

Параллелизм может объясняться тем, что в генофондах родственных

видов закономерно появляются сходные мутации, что хорошо иллюстрирует закон гомологических рядов Н. И. Вавилова.

Вопросы и задания для самопроверки

1. Перечислите основные теории возникновения жизни.
2. Каковы основные пути эволюции жизни на Земле?
3. Назовите движущие силы эволюции.
4. Перечислите основные свойства живого вещества.
5. Назовите уровни организации жизни на Земле.

3. Среда и ее экологические факторы

3.1. Понятие о среде

Среда — все тела и явления, с которыми организм находится в прямых или косвенных отношениях.

Говоря о среде, следует различать такие понятия, как природная среда (природа), внешняя среда, социальная среда, окружающая среда, среда обитания, место обитания и экологические факторы.

Природная среда (природа) — окружающий нас мир во всем бесконечном многообразии своих проявлений; весь материальный, энергетический и информационный мир вселенной; совокупность условий существования. Выделяют живой и неживой компоненты природы.

Внешняя среда — сложный комплекс условий живой и неживой природы, прямо или косвенно влияющих на состояние и развитие особи и популяции.

Социальная среда — совокупность факторов, условий, явлений, определяющих взаимоотношения людей в обществе.

Окружающая среда — совокупность природной и социальной сред.

Среда обитания (среда жизни) — это та часть природы, с которой живой организм непосредственно взаимодействует. На нашей планете имеется четыре качественно отличные среды жизни: вода, наземно-воздушная среда, почва и организм (для паразитов и имбионтов). Организмы могут существовать в одной или нескольких средах жизни.

Место обитания — конкретное место существования в определенной среде обитания (среде жизни).

Экологические факторы среды — элементы окружающей среды, оказывающие воздействие на организм и определяющие условия его существования.

3.2. Классификация экологических факторов среды

Экологический фактор — это любой не разделяемый на более мелкие составные части элемент среды, способный оказывать прямое или косвенное влияние на живые организмы хотя бы на протяжении одной из фаз их индивидуального развития.

Делимость какого-либо элемента среды можно рассмотреть на примере с погодой. Погода — это состояние атмосферы в рассматриваемом месте в определенный момент или за ограниченный промежуток времени (сутки, месяц, год).

Многолетний режим погоды называют климатом. Погоду характеризуют такими метеорологическими элементами, как давлением, температурой, влажностью воздуха, силой и направлением ветра, облачностью, продолжительностью солнечного сияния, атмосферными осадками, дальностью видимости, наличием туманов, метелей, гроз и т. д. Именно эти элементы следует считать экологическими факторами, оказывающими непосредственное влияние на живые организмы, а не состояние атмосферы в целом.

В качестве примера опосредованного воздействия экологического фактора можно привести птичьи базары, известные колоссальным скоплением птиц. Чем объясняется столь высокая плотность птичьего населения? Основную роль здесь играют биогенные вещества: помет птиц падает в воду; органика в воде минерализуется бактериями, в связи с чем в данном месте концентрируются водоросли. Это в свою очередь ведет к повышению концентрации планктонных организмов, в основном ракообразных. Последними питаются рыбы, а ими — птицы, населяющие базары. Таким образом, птичий помет выступает здесь в роли экологического фактора. Как элемент среды он не разделяем на более мелкие элементы, но действует не прямо, а через сложную систему взаимодействия различных экологических факторов.

Принято выделять абиотические, биотические и антропогенные экологические факторы среды (рис. 12).

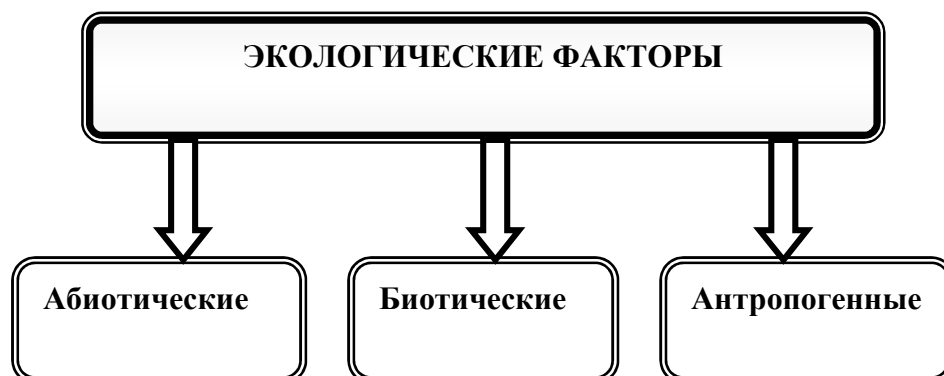


Рис. 12

Абиотические факторы — факторы неживой природы, прямо или косвенно воздействующие на живые организмы. Основными абиотическими факторами среды являются: свет; долгота дня; температура; влажность; давление; движение воздуха; газовый состав воздуха; солёность, кислотность воды; механический состав, плотность, воздухопроницаемость почвы; магнитное поле Земли; рельеф; высота над уровнем моря и т. д.

Абиотические факторы принято распределять на группы (см. рис. 13). Каждая группа включает соответствующие экологические факторы.

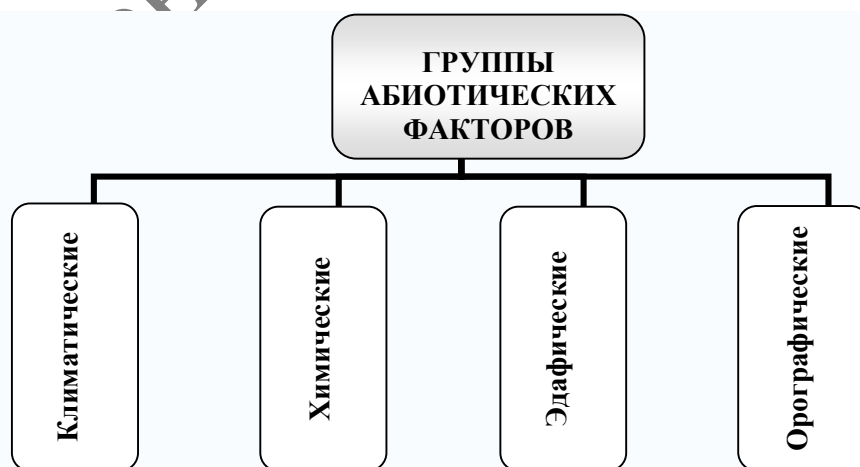


Рис. 13

Группа климатических факторов включает свет, долготу дня, температуру, влажность, плотность, движение воздуха и т. д.

Группа химических факторов включает представителей газового состава воздуха; солёность, кислотность воды и т. д.

Группа эдафических факторов включает механический состав, плотность, воздухопроницаемость почвы; магнитное поле Земли и т. д.

Группа орографических факторов включает рельеф, высоту над уровнем моря и т. д.

Биотические факторы (рис. 14) — это факторы среды, связанные с деятельностью живых организмов: бактерий (микробогенные), растений (фитогенные), животных (зоогенные) и человека (антропогенные). Антропогенные факторы в силу их особой важности выделяют в отдельную группу. ***Биотические факторы есть совокупность влияний жизнедеятельности одних организмов на жизнедеятельность других, а так же на неживую среду обитания.***

Эти влияния носят самый разнообразный характер. Живые существа могут служить источником пищи для других организмов, являться средой обитания (например, организм-хозяин, в котором поселяются паразиты), способствовать их размножению (например, деятельность животных-опылителей), оказывать химическое (токсины бактерий), механическое и другие воздействия.

В отличие от абиотических факторов среды, действие биотических факторов проявляется в *форме взаимовлияния* живых организмов друг на друга (внутривидовые и межвидовые взаимоотношения).

Внутривидовые взаимодействия между особями складываются в результате конкурентной борьбы в условиях роста численности и плотности популяции, например, за места своих гнездований, пищевые ресурсы.



Рис. 14

Межвидовые взаимодействия значительно более разнообразны. Так, растения выделяют кислород, необходимый для дыхания животных, а животные обеспечивают поступление в атмосферу углекислого газа, который используется растениями в процессе фотосинтеза; деятельность хищников оказывает влияние на динамику численности их жертв, что, в свою очередь, сказывается на изменениях численности хищников.

Действие биотических факторов может быть как непосредственным, так и косвенным, выражаясь в изменении условий окружающей неживой природы (например, изменение состава почвы бактериями или изменение микроклимата под пологом леса).

Межвидовые взаимодействия подразделяются на следующие типы:

- нейтрализм,
- конкуренция,
- хищничество,
- паразитизм,
- симбиоз,
- комменсализм.

Нейтрализм — оба вида не оказывают никакого воздействия друг на друга.

Конкуренция — оба вида оказывают друг на друга неблагоприятное, отрицательное воздействие. Многие виды животных и растений, особенно близкие по своим экологическим особенностям, могут конкурировать за пищу, воду или свет. В результате конкуренции один вид может полностью вытеснить другой из экосистемы.

В тех случаях, когда одна популяция получает выгоду за счет другой, имеет место *хищничество* либо *паразитизм*.

Хищничеством называются такие отношения, при которых особи одного вида поедают особей другого (хищный вид питается своей жертвой). В нормальных условиях хищники уничтожают лишь незначительную часть популяции. В противном случае число хищников из-за недостатка пищи снижается. В качестве примера хищничества могут быть взаимоотношения волков и зайцев.

При паразитизме один из видов получает из организма другого питательные вещества, принося ему вред, но не вызывая его немедленной гибели (паразитический вид тормозит рост и развитие своего хозяина). Например, существование глистов в организме животного или человека.

Симбиоз — взаимовыгодное сотрудничество популяций, приносящее пользу обоим партнерам. Среди симбиотических отношений различают: *кооперацию*, когда присутствие партнеров необязательно (например, птицы-чистильщики питаются личинками, развивающимися в коже крупных растительноядных животных), и *мутуализм*, когда присутствие партнеров обязательно, то есть оба вида не могут существовать друг без друга (например, лишайник — симбиоз водоросли и гриба).

Комменсализм — форма взаимодействия, при которой один вид извлекает пользу из соседства (сожительства) с другим, а для последнего такое соседство безразлично (например, эпифитная орхидея с воздушными корнями на стволе дерева).

Антропогенные факторы. Человек влияет на живую природу через изменение абиотических и биотических факторов, однако деятельность людей на планете, как было сказано, следует выделять в особую силу, так как ее воздействие постоянно нарастает и во многих случаях значительно превышает силу воздействия других факторов.

Антропогенные факторы — элементы окружающей среды, связанные с деятельностью человеческого общества, которые приводят к изменению природы как сферы обитания других видов или непосредственно воздействуют на их жизнь. К числу наиболее интенсивно действующих антропогенных факторов можно отнести *загрязнение биосферы (атмосферы, водоемов и поверхности суши)* отходами промышленного производства, отработавшими газами автотранспорта; *вырубку лесов*, оказывающую влияние на состояние почвы и режим водоемов; *интенсивный выпас скота*, приводящий к нарушению биотических связей в луговых экосистемах; *распашку земель, строительство гидротехнических сооружений*, приводящие к разрушению почвенного слоя, нарушению природных ландшафтов и ряд других (рис. 14).

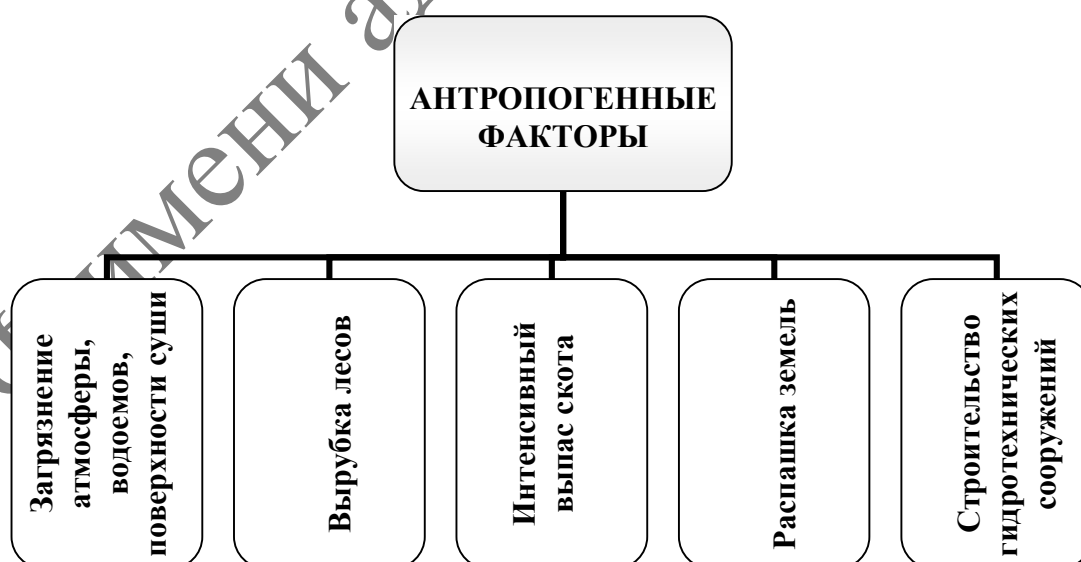


Рис. 14

В XX в., особенно в последние десятилетия, антропогенные факторы значительно нарушили естественные связи в биосфере и теперь существу-

ет угроза самому ее существованию. Под влиянием деятельности человека происходит быстрая смена биологических сообществ, в результате численность многих видов животных и растений сокращается вплоть до их полного исчезновения.

3.3. Общие закономерности действия экологических факторов на живые организмы

Различные среды жизни отличаются между собой по многим экологическим характеристикам (экологическим факторам), которые постоянно изменяются; любое живое существо приспосабливается к ним, регулируя свою жизнедеятельность в соответствии с их изменениями и потребляя поступающую извне материю, энергию, информацию.

Один и тот же фактор среды по-разному влияет на жизнь совместно обитающих организмов разных видов. Например, сильный холодный ветер неблагоприятен для крупных животных, обитающих открыто, но он не действует на более мелких животных, которые укрываются в норах или под снегом. Солевой состав почвы играет важную роль в жизни растений, но безразличен для большинства наземных животных и т. п.

Некоторые свойства среды остаются относительно *постоянными* на протяжении длительных периодов времени в эволюции видов. Таковы сила тяготения, солнечная постоянная, солевой состав океана, состав атмосферы. Большинство экологических факторов: освещенность, температура, магнитное поле, влажность, ветер, осадки, наличие укрытий, пищи, хищники, паразиты, конкуренты и т. д. — *переменные*, очень изменчивы в пространстве и во времени.

Изменения факторов среды во времени могут быть: *регулярно-периодическими*, варьирующими силу воздействия в связи со временем суток или сезоном года или ритмом приливов и отливов в океане; *нерегулярными*, без четкой периодичности, например погодные условия в разные го-

ды, магнитные бури, метеорологические бури, ливни, обвалы, землетрясения и т. п.; *направленными на протяжении определенных отрезков времени*, например, при похолодании или потеплении климата, зарастании водоемов, постоянном выпасе скота на одном и том же участке и т. п.

Воздействие экологических факторов на живые организмы может быть различным (см. рис. 15). Они могут выступать как *раздражитель*, то есть вызывать приспособительные реакции; *ограничитель*, то есть обуславливать невозможность существования вида в данных условиях, или *модификатор*, определяющий анатомо-морфологические изменения организмов, а также как *сигнал*, свидетельствующий о трансформации других факторов окружающей среды.



Рис. 15

Для любого вида живых организмов существует *оптимум* по каждому фактору, при котором обеспечиваются наиболее благоприятные условия для его существования. Отклонение от этого оптимума приводит к угнетению жизнедеятельности вида или популяции, снижению скорости размножения и увеличения смертности. При отклонении величины экологического фактора сверх допустимых пределов популяция прекращает свое существование, так как погибают либо все входящие в нее организмы, либо настолько значительная их часть, что популяция перестает самовос-

производиться. Такие факторы называются *ограничивающими (лимитирующими)*.

В различных ситуациях лимитирующие факторы различны. Допустим, в озере главным ограничивающим фактором был недостаток углекислоты из-за недостаточного ее поступления из разлагающегося органического вещества. При этом все остальные факторы (свет, азот, фосфор) имелись в достатке, то есть не были ограничивающими. Если во время бури в воде растворится дополнительное количество углекислого газа, то жизнедеятельность водных растений будет зависеть от других факторов. Возможно, они начнут активнее потреблять азот и исчерпают его запасы, в результате чего именно он станет ограничивающим фактором. Даже если все факторы, кроме одного, находятся в пределах оптимума, переход единственного фактора за критическое значение может привести к гибели популяции.

Какими бы разными по природе ни были экологические факторы, результаты их действия экологически сравнимы, поскольку они всегда выражаются в изменении жизнедеятельности организмов, что в конечном итоге приводит к изменению численности популяции.

Представление о лимитирующем влиянии экологического минимума ввел немецкий химик Юстас фон Либих (1803–1873), а представление об ограничивающем влиянии экологического максимума связано с именем физиолога Фредерика Блэкмана (1866–1947). Виктор Эрнест Шелфорд (1877–1968), американский зоолог, сформулировал закон толерантности (закон минимума и максимума).

Закон (правило) минимума Ю. Либиха (1840):

а) выносливость организма определяется слабым звеном в цепи его экологических потребностей;

б) относительное действие отдельного экологического фактора тем сильнее, чем в большей степени по сравнению с другими ощущается его нехватка.

Этот закон учитывается в практике сельского хозяйства. Например, если в почве имеются в достатке все необходимые для растения химические элементы, кроме одного, то рост и развитие (продуктивность) растения будут обуславливаться тем химическим элементом, который находится в недостатке. Все другие химические элементы при этом не проявляют своего действия. Так, если фосфора в почве лишь 30 % от необходимой нормы, а кальция – 60 % от нормы, то ограничивающим фактором будет недостаток фосфора; необходимо в первую очередь внести в почву именно фосфоросодержащие удобрения.

Образно этот закон называется «бочка Либиха». Суть этой модели состоит в том, что вода при наполнении бочки начинает переливаться через самую короткую доску в бочке и длина остальных досок уже не имеет значения.

Закон ограничивающих факторов, или закон Ф. Блэкмана (1909): факторы среды, имеющие в конкретных условиях максимальное значение (закон максимума), особенно затрудняют (ограничивают) возможности существования вида в данных условиях.

Закон минимума и максимума (толерантности) В. Шелфорда (1913), или закон экологического оптимума: ограничивающим фактором жизни организма могут быть как минимум, так и максимум экологического воздействия, диапазон между которыми определяет величину выносливости (толерантности) организма к этому фактору.

Таким образом, общие закономерности влияния экологического фактора на жизнедеятельность организмов представляют собой результат совместного действия законов экологического минимума и максимума и сводятся к следующему (рис. 16):

1) при определенных значениях фактора создаются условия, наиболее благоприятные для жизнедеятельности организмов; эти условия называются оптимальными, а соответствующая им область на шкале значений фактора — *оптимумом*;

2) чем больше отклоняются значения фактора от оптимальных, тем сильнее угнетается жизнедеятельность особей; в связи с этим выделяется зона их *нормальной жизнедеятельности*;

3) зона дальнейшего ухудшения жизнедеятельности называется зоной *угнетения (пессимума)*;

4) значения фактора, за границами которого нормальная жизнедеятельность особей становится невозможной, называется *пределами выносливости*; различают нижний и верхний пределы выносливости;

5) при взгляде на «купол толерантности» сбоку можно увидеть, что в зоне нормальной жизнедеятельности возможны рост и развитие особей, тогда как для размножения нужны оптимальные условия. Диапазон от нижнего предела, или нижнего пессимума (ему соответствует экологический минимум на шкале значений интенсивности фактора), до верхнего предела, или верхнего пессимума (экологический максимум) называется *экологической валентностью (толерантностью)*.

Примером такого рода зависимости может служить следующее наблюдение. Среднесуточная физиологическая потребность (оптимальное значение) во фторе взрослого человека составляет 2000–3000 мкг; 70 % этого количества человек получает с водой и только 30 % — с пищей. При длительном употреблении воды, бедной солями фтора ($0,5 \text{ мг/дм}^3$ — верхняя граница нижней зоны пессимума и меньше), развивается кариес зубов. Чем меньше концентрация фтора в воде, тем выше заболеваемость населения кариесом.

Высокие концентрации фтора в питьевой воде также приводят к развитию патологии. Так, при концентрации фтора более 15 мг/дм^3 (ниж-

ная граница верхней зоны пессимума) возникает флюороз — крапчатость и буроватая окраска зубной эмали, зубы постепенно разрушаются.

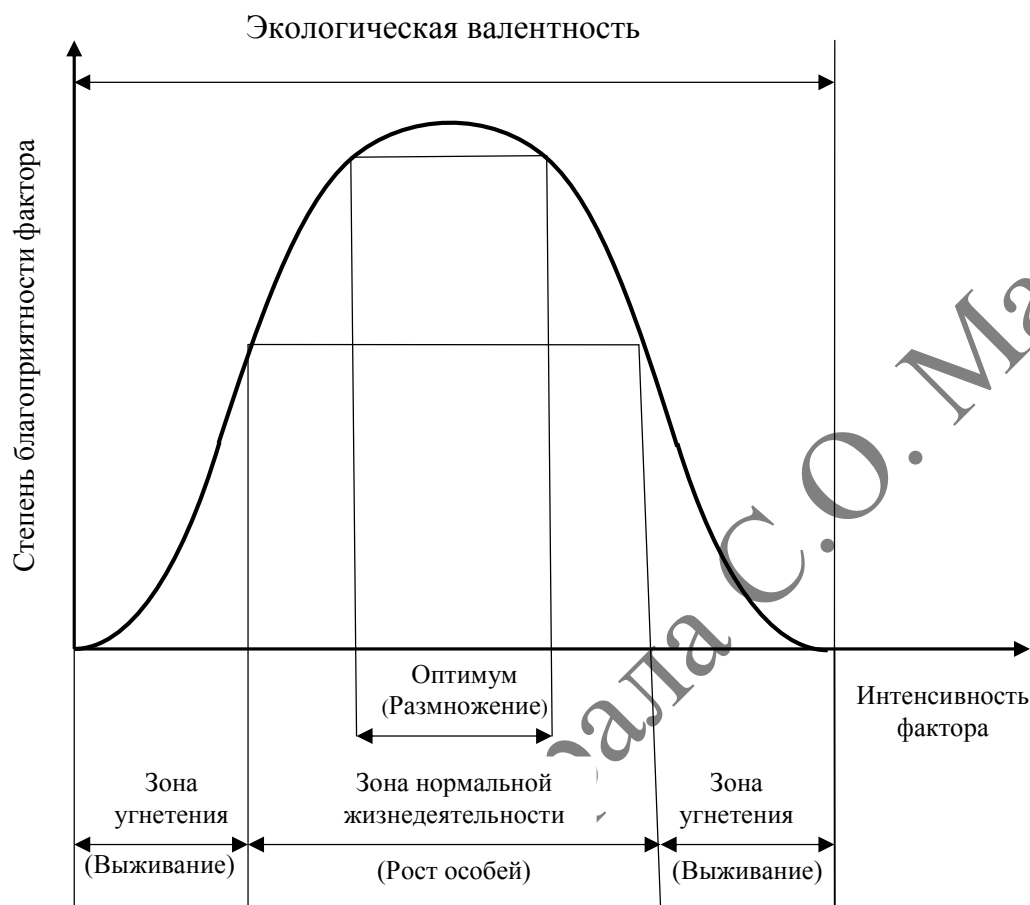


Рис. 16¹

Видовые приспособления проявляются в различной степени выносливости к действию фактора. На рис. 17 рассмотрена реакция особей видов 1 и 2 на действие одного фактора. Виды, особи которых устойчивы лишь к небольшим отклонениям значений фактора от оптимума, называются *стенобионтными* (см. рис. 3а, кривая 1), а виды, способные выдерживать значительные изменения фактора, — *эврибионтными* (рис. 2а).

В экологической литературе часто используют термины, отражающие не только степень выносливости вида к изменяющимся значениям фактора, но и природу данного фактора. Так, по отношению к солености

¹ Зависимость результата действия экологического фактора от его интенсивности (по В. А. Радкевичу, 1977)

различают *стено-* и *эвригалинные* виды, к температуре — *стено-* и *эвритермные* виды, к влажности — *стено-* и *эвригигрические*, по отношению к местообитанию — *стено-* и *эвриойкные* и т. д.

Если сравнить реакцию на действие температуры особей двух разных видов, то окажется, что величины благоприятствования оптимума (термопреферендума) далеко не всегда совпадают даже в случае, если значения оптимумов жизнедеятельности равны (рис. 3а). Нередки случаи, когда оптимумы не совпадают (рис. 3б). Далее, не всегда оптимумы приходятся на средние значения диапазона фактора: напротив, в природе обычны случаи, когда оптимум сдвинут к правой или левой границе пределов выносливости (рис. 3в). Подобное обстоятельство важно учитывать на практике.

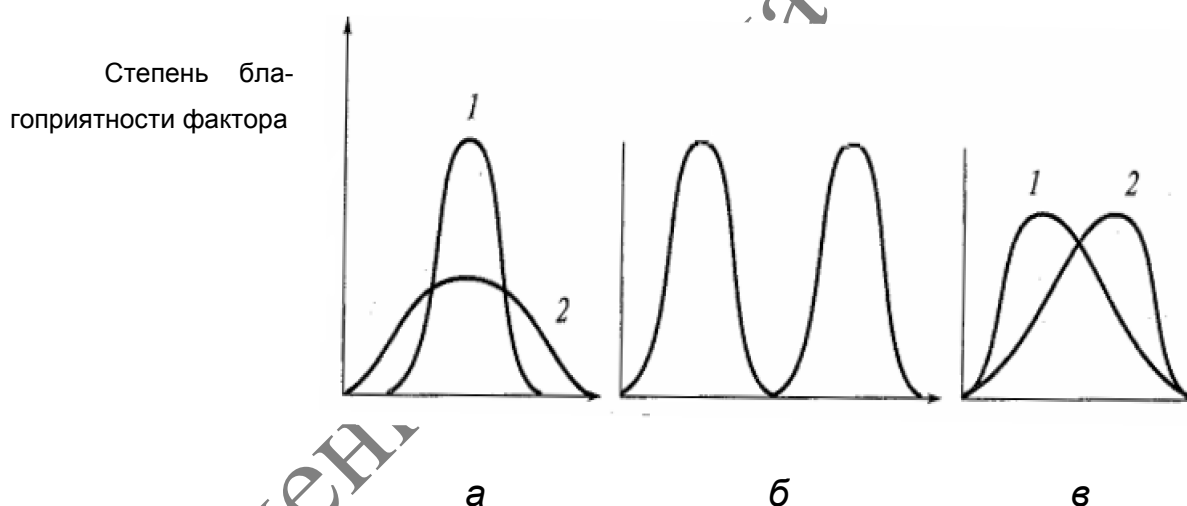


Рис. 17

Правило неоднозначности действия фактора на разные функции. Любой фактор по-разному влияет на функции организма. Оптимум для одних процессов может являться пессимумом для других. Например, действие УФО на кожу и глаза или действие дневного света на зрение ласточек и сов.

Правило взаимодействия факторов. Сущность его заключается в том, что одни факторы могут усиливать или смягчать силу действия других факторов. Например, избыток тепла может в какой-то мере смягчаться

пониженной влажностью воздуха, недостаток света для фотосинтеза растений — компенсироваться повышенным содержанием углекислого газа в воздухе и т. п. Из этого однако не следует, что факторы могут взаимно заменяться.

Человек своей деятельностью часто нарушает практически все из перечисленных закономерностей действия факторов. Особенно это относится к лимитирующим факторам (разрушение мест обитания, нарушение режима водного и минерального питания растений и т. п.).

Для того чтобы ответить на вопрос, сможет ли вид существовать в данном географическом районе, нужно выяснить, не выходят ли какие-либо факторы среды за пределы его экологической валентности в любой период его развития.

Выявление ограничивающих факторов очень важно в практике сельского хозяйства, поскольку, направив усилия на их устранение, можно повысить урожайность растений или производительность животных. Так, на сильно кислых почвах урожай пшеницы можно несколько увеличить, применяя разные агрономические воздействия, но наилучший эффект будет получен только в результате известкования, которое снимет ограничивающие действия кислотности. Таким образом, знание ограничивающих факторов — ключ к управлению жизнедеятельностью организмов.

3.4. Влияние климатических абиотических факторов на существование и развитие живых организмов

Рассмотрим влияние климатических абиотических факторов (рис. 18) на существование и развитие живых организмов.



Рис. 18

Свет. Биологическое действие различных участков спектра солнечного излучения

Не вся солнечная радиация достигает поверхности Земли. За пределами атмосферы перпендикулярная к солнечным лучам поверхность получает энергию порядка $2,00 \text{ кал/см}^2 \cdot \text{мин}$ ($1,39 \cdot 10^3 \text{ Дж/м}^2 \cdot \text{с}$). Эта величина называется **солнечной постоянной**; она слегка варьирует по сезонам года в соответствии с изменением удаления Земли от Солнца.

Из всего количества энергии Солнца, достигающей Земли ($5,4 \cdot 10^4 \text{ Дж}$, или 100 %), 33 % отражается обратно облаками и поверхностью суши, а также пылью в верхних слоях атмосферы (эта часть составляет *альбедо* Земли), примерно 20 % ее поглощается при прохождении через атмосферу и 47 % достигает земной поверхности в виде прямой и рассеянной радиации. Таким образом, около 67 % энергии поглощается атмосферой и земной поверхностью (континентами и Мировым океаном) и после ряда превращений уходит в космическое пространство.

В целом, в энергетических процессах в биосфере решающая роль (99 %) принадлежит радиации Солнца, которая определяет тепловой баланс и термический режим биосферы Земли.

Прямая солнечная радиация — это континуум электромагнитного излучения с длинами волн от 0,1 до 30000 нм (нанометр, $1 \text{ нм} = 10^{-9} \text{ м}$). Этот поток радиации распадается на несколько областей, отличающихся физическими свойствами и экологическим значением для живых организ-

мов. Границы этих областей не четки; в общем виде их можно представить следующим образом:

- < 100 нм — область ионизирующей радиации;
- 100–400 нм — ультрафиолетовая радиация (УФ),
- 400–800 нм — видимый свет (границы отличаются для разных организмов);
- 800–1000 нм — инфракрасная радиация (ИК-радиация).

За пределами зоны ИК-радиации располагается область так называемой дальней инфракрасной радиации — мощного фактора теплового режима среды. ИК-радиация в основном несет тепловую энергию.

На ультрафиолетовую часть спектра приходится от 1 до 5 %, на видимую — от 16 до 45 % и на инфракрасную — от 49 до 84 % потока радиации, падающего на Землю. Распределение энергии по спектру существенно зависит от массы атмосферы и меняется при различных высотах Солнца. Количество рассеянной радиации (отраженные лучи) возрастает с уменьшением высоты стояния Солнца и увеличением мутности атмосферы. Спектральный состав радиации безоблачного неба характеризуется максимумом энергии в диапазоне 400–480 нм.

Ионизирующая радиация. Это излучение включает космические лучи, а также естественную и искусственную радиоактивность. На поверхности Земли эта форма воздействия на организмы связана главным образом с естественным радиоактивным фоном, а в наше время — и с его резкими возрастаниями техногенного происхождения.

Биологическое действие ионизирующей радиации осуществляется, в основном, на субклеточном уровне (ядра, митохондрии, микросомы). Установлена зависимость этого действия от дозы облучения: при малых дозировках повреждающий эффект может сменяться стимулирующим. Известно влияние ионизирующей радиации на генетический аппарат (мута-

генный эффект). Экологический аспект действия этой части спектра остается практически не изученным.

Ультрафиолетовые лучи. Наиболее коротковолновая (100–280 нм) зона этой части спектра («ультрафиолет С») активно поглощается кожей; по опасности УФ-С близок к X-лучам, но практически полностью поглощается озоновым экраном.

Следующая зона — УФ-В, с длиной волны 280–315 нм — наиболее опасная часть спектра УФ, обладающая канцерогенным действием. Механизм этого действия неизвестен; предполагают влияние через нарушение молекулы ДНК. Кроме того, эти лучи инактивируют в коже клетки Лангерганса, отвечающие за ее иммунитет, а также активируют некоторые микроорганизмы. Последнее свойственно только этой части спектра УФ-лучей. Большая часть зоны УФ-В также поглощается озоновым экраном.

До поверхности Земли доходят лишь УФ-лучи с длиной волны примерно от 315 нм и более (УФ-А). Эта часть спектра обладает большой энергией и оказывает на живые организмы главным образом химическое действие. В частности, УФ-лучи стимулируют процессы клеточного синтеза. Показано, что облучение ультрафиолетовыми лучами повышает продуктивность молодняка сельскохозяйственных животных.

Под действием этих лучей в организме синтезируется витамин D, регулирующий обмен Са и Р, и соответственно нормальный рост и развитие скелета.

Особенно велико значение этого витамина для растущего молодняка. Многие млекопитающие, выводящие детенышей в норах, регулярно (чаще — по утрам) выносят их на освещенные солнцем места вблизи норы. Так поступают, например, лисицы и барсуки. «Солнечное купание» свойственно и многим птицам; основная роль этой формы поведения — нормализация обмена, синтез витамина D и регуляция продукции меланина + пигмента, обуславливающего темный цвет кожи. У водоплавающих птиц ви-

тамин D синтезируется на основе секрета копчиковых желез, похожего на жир, которым они смазывают свое оперение. Соскабливая затем при чистке пера слой жира, птицы заглатывают его и таким образом обеспечивают себя витамином.

Действие УФ зависит от дозы: слишком сильное облучение вредно для организма. Особенно неустойчивы к коротковолновой радиации активно делящиеся клетки. Как приспособление к экранированию организма от передозировки УФ у многих видов формируются темные пигменты, поглощающие эти лучи. Такова природа загара у человека.

У лягушек и некоторых других амфибий откладываемые на поверхности воды икринки имеют пигментированный анимальный (верхний) полюс. То же свойственно ряду видов рыб. У многих рептилий и грызунов, обитающих в условиях высокой инсоляции, пигментирована брыжейка, причем на тем большей поверхности, чем выше уровень облучения в свойственных виду местах обитания. Таким путем экранируются гонады; у пустынных грызунов отмечена пигментация мошонки. У сусликов обнаружены пигментированные мозговые оболочки.

Определенное значение УФ-радиация имеет и в гидросфере, проникая на глубину до 65 м.

Видимый свет. Для животных видимая часть спектра связана прежде всего с *ориентированием в окружающей среде*. Зрительная ориентация свойственна большинству дневных животных и используется как источник сложной информации о внешних условиях. Эффективность восприятия зрительных сигналов очень различна: от простых светочувствительных клеток, в которых световые воздействия на зрительные пигменты фотохимически трансформируются в нервный импульс, до сложно устроенных глаз, способных к восприятию объемных образов в цветовом варианте. Уже у простейших появляются светочувствительные органеллы. Так, эвглена зеленая с помощью светочувствительного «глазка» реагирует на

степень освещенности среды. Начиная с кишечнорастворимых, практически у всех животных развиваются светочувствительные органы — глаза, имеющие то или иное строение.

Среди животных различают *дневные, ночные и сумеречные* виды.

У ряда птиц зрительное восприятие распространяется на часть ультрафиолетовой зоны спектра; это доказано более, чем для 30 видов. Многие животные воспринимают как видимый свет ближнюю область ИК-излучения.

Впрочем, и многие ночные виды ориентируются с участием органов зрения, поскольку абсолютная темнота в сфере обитания животных встречается редко. Ослабление интенсивности света вызывает адаптивные перестройки органов зрения (совы, козодои, некоторые ночные млекопитающие).

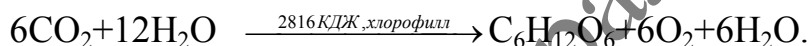
Имеются также виды, живущие в постоянной темноте и не выносящие яркого солнечного света (почвенные животные, обитатели пещер и больших глубин, внутренние паразиты животных и растений).

Обитание в условиях полной темноты, как правило, связано с редукцией органов зрения. Впрочем, у этих видов нередко светочувствительные органы, хотя и в редуцированном виде, все же сохраняются и используются для получения информации о выходе на освещенную поверхность.

В океане интенсивность освещения падает с глубиной. Параллельно изменяется и спектральный состав света: глубже всего проникает его коротковолновая часть — синие и голубые лучи. Освещенность на мелководье мало отличается от суши, и обитающие здесь рыбы имеют в сетчатке большой процент колбочек, чувствительных к красному цвету. У рыб, обитающих в зеленой воде прибрежной зоны, таких колбочек нет; отсутствуют у них и оранжево-чувствительные клетки. Среди глубоководных рыб большинство имеют в сетчатке лишь один тип палочек, чувствительных к синему цвету.

Известно, что на глубине 800–950 м интенсивность света составляет около 1 % полуденного освещения на поверхности. Этого еще достаточно для светоощущения. Дальнейшее увеличение глубины связано у одних видов с редукцией органов зрения, а у других — с развитием гипертрофированных глаз, способных воспринимать очень слабый свет. Последнее в значительной степени определяется наличием на больших глубинах светящихся организмов.

Свет как фактор фотосинтеза. В процессе фотосинтеза свет выступает как источник энергии, который используется пигментной системой (хлорофилл, в некоторых случаях — его аналоги). В результате происходит расщепление молекулы воды с выделением газообразного кислорода, а энергия, полученная фотохимической системой, утилизируется для преобразования диоксида углерода в углеводы:



Способность использовать лучистую энергию у хлорофилла и у зрительных пигментов животных очень близка, поэтому в спектре солнечного излучения область фотосинтетически активной радиации (ФАР) практически совпадает с диапазоном видимой части спектра с длиной волны порядка 400–700 нм. Некоторые бактерии, имеющие бактериохлорофиллы, способны поглощать свет в длинноволновой части спектра (максимум в области 800–1000 нм).

Зеленый лист поглощает в среднем 75 % падающей на него лучистой энергии, но коэффициент использования ее на фотосинтез невысок: около 10% при низкой освещенности и лишь 1–2 % — при высокой. Остальная энергия переходит в тепловую, которая затрачивается на транспирацию (испарение) и другие процессы.

Наиболее важные внешние факторы, влияющие на уровень фотосинтеза, — температура, свет, диоксид углерода и кислород. На уровне самого

растения на этот процесс влияют содержание хлорофилла и воды, особенности анатомии листа, концентрация ферментов.

Интенсивность фотосинтеза зависит от температуры. Минимальная температура, при которой возможен фотосинтез, видоспецифична и отражает приспособленность вида к температурным условиям среды. У многих видов она совпадает с температурой замерзания тканевых жидкостей ($-1... -2^{\circ}\text{C}$), но у наиболее холодолюбивых форм опускается до $-5... -7^{\circ}\text{C}$. Максимальная температура фотосинтеза в среднем на $10-12^{\circ}\text{C}$ ниже точки тепловой смерти. Температурный максимум фотосинтеза выше у южных растений. Оптимальной температурной зоной для фотосинтеза принято считать тепловые условия, при которых фотосинтез достигает 90 % своей максимальной величины; эта зона зависит от освещенности: повышается при ее увеличении и снижается в условиях затенения. Поэтому при низкой освещенности фотосинтез идет активнее при более низких температурах, а при высокой (более 3000 лк) интенсивность этого процесса увеличивается с повышением температуры.

Диоксид углерода в процессе фотосинтеза выступает как ресурс для синтеза углеводов. Норма содержания CO_2 в атмосфере составляет 0,57 мг/л. Повышение концентрации ведет к усилению фотосинтеза, но лишь до известных пределов; при концентрации 5-10 % (против нормальной — 0,03 %) фотосинтез ингибируется.

Вода, тоже участвующая в процессе фотосинтеза, редко его лимитирует непрямым путем, однако, недостаток воды (в частности, сезонный) может быть ограничителем. Например, в Западной Австралии некоторые виды растений во время засухи снижают фотосинтез по сравнению с весенним периодом.

Световой фактор играет важную роль *в регуляции периодических явлений (биологических ритмов) в жизни представителей органического мира*. С самого возникновения жизни на нашей планете она

осуществлялась в условиях *ритмически меняющейся среды*. Закономерная смена дня и ночи, регулярно повторяющиеся сезонные изменения комплекса факторов — все это требовало приспособления со стороны живых организмов. Наиболее кардинальная форма такого приспособления выражается в эволюционном становлении соизмеримости и согласования ритмов биологической активности различных живых форм с масштабами суточной и сезонной циклики комплекса условий среды. Адаптивный смысл этого явления заключается в том, что на его основе открылась возможность совмещения различных форм жизнедеятельности организма с периодом наиболее благоприятных для их осуществления внешних условий. Ритмичность общих проявлений жизнедеятельности и отдельных ее форм свойственна всем живым существам. В основе ее лежит специфика биохимических и физиологических реакций, составляющих сущность жизни и имеющих ритмичный характер. Длительность ритмов отдельных процессов, идущих на суборганизменном уровне, очень различна: от долей секунды (например, активность нейрона) до нескольких часов (секреторная деятельность желез) и даже более. Функционирование целого организма основано на интеграции отдельных суборганизменных ритмов и согласовании их с меняющимися во времени условиями среды.

Аналогичным образом в эволюции ряда видов формировались ритмы с иной периодичностью — например, лунные или приливно-отливные. Современные, в том числе и экспериментальные исследования показывают, что принципиальные механизмы регуляции таких ритмов сходны с механизмами, определяющими сезонную и суточную ритмику активности.

«Двойственный» характер происхождения адаптивных циклов (химико-биологическая природа первичных ритмов и зависимость их от периодических изменений условий среды) отчетливо отражается на физиологических механизмах, регулирующих суточную и сезонную периодичность жизнедеятельности организмов. По современным представлениям в основе

периодических процессов лежит внутренняя (эндогенная) программа, на которую воздействует сложный комплекс внешних условий. Одни из них прямо модифицируют эндогенную программу в соответствии с конкретной экологической ситуацией, другие выступают в качестве «датчиков времени», способствуя синхронизации эндогенных циклов с ходом закономерных (суточных, сезонных) изменений внешних условий. Одновременно, задавая общую «точку отсчета», эти факторы синхронизируют циклы суборганизменных процессов на уровне целого организма и циклы биологической активности отдельных особей на уровне всей популяции. Этим обеспечивается единство физиологического состояния и проявления определенных форм деятельности всеми особями, населяющими общие места обитания. В качестве таких датчиков времени могут выступать многие периодически меняющиеся факторы среды. Но в эволюции большинства групп живых организмов основное синхронизирующее значение закрепилось за закономерными изменениями светового режима — *фотопериодической регуляцией*.

Фотопериодом называют соотношение светлой и темной частей суток; в более специальном смысле этот термин используют для обозначения длины дня («короткий» или «длинный» фотопериод).

Свет представляет собой первично-периодический фактор: закономерная смена дня и ночи, как и сезонные изменения длины светлой части суток, происходят с жесткой ритмичностью, которая определяется астрономическими процессами и на проявления которой не могут повлиять условия и процессы, осуществляющиеся на Земле. Поэтому *фотопериод* наиболее устойчив в своей динамике, автономен и не подвержен другим влияниям. Только на экваторе, где продолжительность дня и ночи не изменяется по сезонам, и в некоторых особых условиях (глубины моря, пещеры, непрерывный полярный день), ведущее значение в регуляции биологических ритмов приобретают другие факторы.

Суточная периодичность свойственна большинству видов растений и животных. Имеются формы с дневной или ночной активностью; у некоторых видов вспышки активности проявляются спонтанно, независимо от времени суток.

Биолюминесценцией называется способность живых организмов светиться. Происходит это в результате окисления сложных органических соединений при участии катализаторов обычно в ответ на раздражения, поступающие из внешней среды. Световые сигналы, испускаемые рыбами, головоногими моллюсками и другими гидробионтами, а также некоторыми организмами наземно-воздушной среды (например, жуками семейства светляков), служат для привлечения особей противоположного пола, приманивания добычи или отпугивания хищников, ориентации в стае и др.

Температура

Одним из наиболее важных факторов, определяющих существование, развитие и распространение организмов по земному шару, является температура. Важно не только абсолютное количество тепла, но и его временное распределение, то есть тепловой режим.

Растения не обладают собственной температурой тела: их анатомо-морфологические и физиологические механизмы терморегуляции направлены на защиту организма от вредного воздействия неблагоприятных температур. Так, в зоне высоких температур при пониженной влажности (тропические и субтропические пустыни) исторически сформировался своеобразный морфологический тип растений с незначительной листовой поверхностью или с полным отсутствием листьев. У многих пустынных растений образуется беловатое опушение, способствующее отражению солнечных лучей и предохраняющее их от перегрева (акация песчаная, лох узколистный).

К физиологическим приспособлениям растений, сглаживающим вредное влияние высоких температур, могут быть отнесены:

- интенсивность испарения — транспирация (от лат. «*trans*» — через, «*spiro*» — дышу, выдыхаю);
- накопление в клетках солей, изменяющих температуру свертывания плазмы;
- свойство хлорофилла препятствовать проникновению солнечных лучей.

В мире животных наблюдаются определенные морфологические адаптации, направленные на защиту организмов от неблагоприятного действия температур.

Свидетельством этого может служить известное **правило Бергмана (1847)**, согласно которому *в пределах вида или достаточно однородной группы близких видов теплокровные организмы с более крупными размерами тела распространены в более холодных областях.*

Это правило можно объяснить с позиции термодинамики: потеря тепла пропорциональна поверхности тела организма, а не его массе. Чем крупнее животное и компактнее его тело, тем легче поддерживать постоянную температуру, так как в этом случае меньше удельный расход энергии, то есть меньше расход энергии по отношению к площади поверхности тела.

В другом случае, наоборот, чем мельче животное, тем больше его относительная поверхность и, следовательно, выше теплопотери и удельный уровень его основного обмена.

Основной обмен — количество энергии, расходуемое организмом животного (или человека) при полном мышечном покое при такой температуре окружающей среды, при которой терморегуляция наиболее выражена. Относительная поверхность — площадь поверхности организма, отнесенная к единице его массы ($\text{м}^2/\text{кг}$).

Следующее правило связано с особенностями адаптации животных в разных климатических зонах — **правило Аллена (1877)**: *у животных с постоянной температурой тела в холодных климатических зонах*

наблюдается тенденция к уменьшению площади выступающих частей тела.

Правило Аллена наглядно проявляется, например, при сравнении размеров ушей экологически близких видов: песца — обитателя тундры; лисицы обыкновенной — типичной для умеренных широт; фенека — обитателя пустынь Африки.

Реакция животных на тепловой режим проявляется и в изменениях пропорций отдельных органов и тела (у горностая из северных районов увеличено сердце, почки, печень и надпочечники по сравнению с такими же зверьками в местностях с более высокой температурой).

Из правил Бергмана и Аллена бывают исключения.

В зависимости от вида теплообмена различают два экологических типа животных: *пойкилотермные* и *гомойотермные*. Промежуточное положение между ними занимают гетеротермные.

Пойкилотермные организмы (от греч. «*poikilos*» — разнообразный) — животные с неустойчивым уровнем обмена веществ, непостоянной температурой тела и почти полным отсутствием механизмов терморегуляции (холоднокровные). К ним относятся беспозвоночные, рыбы, пресмыкающиеся, земноводные, то есть большинство животных, за исключением птиц и млекопитающих. Температура тела у них изменяется с изменением температуры окружающей среды.

Гомойотермные организмы (от греч. «*homoios*» — одинаковый) — животные с более высоким и устойчивым уровнем обмена веществ, в процессе которого осуществляется терморегуляция и обеспечивается относительно постоянная температура тела (теплокровные). К ним относятся птицы и млекопитающие. Температура тела поддерживается на относительно постоянном уровне.

В свою очередь, как было отмечено выше, пойкилотермных животных можно разделить на *эвритермных*, ведущих активный образ жизни в

сравнительно широком температурном диапазоне, и *стенотермных*, не переносящих значительных колебаний температур.

Если животные приспособлены к узкому диапазону низких температур, то такой фактор называется *холодостенотермным*, а высоких температур — *теплостенотермным*.

Механизмы терморегуляции бывают *химические* и *физические*. Первый обусловлен интенсивностью химических реакций в организме и осуществляется рефлекторным путем. Второй обеспечивают теплоизолирующие покровы (мех, перья, жировой слой), деятельность потовых желез, испарение влаги при дыхании, сосудистая регуляция кровообращения.

У *пойкилотермных животных* интенсивность обмена веществ прямо пропорциональна внешней температуре, у *гомойотермных*, наоборот, при ее понижении возрастают потери тепла и в ответ активизируются обменные процессы, повышается теплопродукция. Интенсивность метаболизма (обменных процессов) при гомойотермии обратно пропорциональна внешним температурам. Однако такая закономерность прослеживается лишь в определенных пределах. Повышение или понижение температуры относительно порогового значения вызывает перегрев или переохлаждение животного и в итоге его гибель.

У *гетеротермных животных* в активном состоянии поддерживается относительно высокая и постоянная температура тела, а в неактивном — температура тела мало отличается от внешней. Во время спячки или глубокого сна уровень обмена веществ падает и температура тела лишь незначительно превышает температуру среды, то есть они находятся в состоянии, близком к анабиозу. Типичными представителями гетеротермных животных являются суслики, ежи, летучие мыши, медведи, стрижи, утки-нос, ехидны, кенгуру. Под **анабиозом** (от греч. «*ana*» — вновь и «*bios*» — жизнь) понимают состояние, во время которого все биологические процессы в организме сильно замедляются или вовсе прекращаются.

Изучение анабиоза послужило толчком к развитию различных криотехнологий (от греч. «*kryos*» — холод), например, криоконсервации. Этот метод широко используется в биологии, медицине, сельском хозяйстве, в практике длительного хранения консервированной крови, спермы для искусственного осеменения сельскохозяйственных животных, различных тканей и органов для трансплантации («*transplantation*» — пересаживание), культур, бактерий, вирусов.

Температурный фактор имеет важное значение в распределении живых организмов на Земле и тем самым обуславливает заселенность ими разных природных зон.

В 1918 г. А. Хопкинс сформулировал **биоклиматический закон**. Он установил, что существует закономерная, тесная связь развития фенологических (сезонных) явлений с широтой, долготой и высотой местности над уровнем моря. Он подсчитал, что *по мере продвижения на север, восток и в горы время наступления периодических явлений в жизнедеятельности организмов запаздывает на 4 дня на каждый градус широты, 5 градусов долготы и примерно на 100 м высоты.*

Одной из важных закономерностей в распределении современных организмов служит их *биполярность* — географическое распределение наземной и морской флоры и фауны, при котором один и тот же вид обитает в холодных и умеренных широтах обоих полушарий, но отсутствует в тропическом поясе (беззубые киты, ушастые тюлени и др.).

Влажность

Вода является важнейшим экологическим фактором в жизни живых организмов и их постоянной составной частью. Все живое Земли включает воду, например, медузы содержат 95–99 % воды, кукуруза — 70 %, зерновые злаки — 87 %. Даже в амбарном долгоносике, питающемся сухим зерном, содержится 46 % воды. В эмбрионе человека 97 % воды, после его

рождения — 64–77 %. У мужчин в возрасте от 18 до 50 лет в организме содержится 61 % воды, у женщин — 54 %.

За свою жизнь человек выпивает до 50–77 м³ воды (за сутки — 2,5–3 л). В целом за сутки человек теряет 2–2,5 л воды: 800–1300 мл с мочой, около 200 мл — с испражнениями и 600 мл с поверхности тела (с потом) и при дыхании. С потерей 1–1,5 л воды у человека появляется жажда, при расходе 6–8 % влаги от веса тела он впадает в полуобморочное состояние, при дефиците — 10–12 % — наступает смерть.

В различные периоды развития потребность растений в воде неодинакова, особенно у разных видов; меняется она и в зависимости от климата и типа почвы. Например, злакам в период прорастания семян и их созревания нужно меньше влаги, чем во время их интенсивного роста. Для каждой фазы роста и стадии развития любого вида растений можно выделить критический период, когда недостаток воды особенно отрицательно сказывается на его жизнедеятельности.

Влажность среды часто является фактором, лимитирующим численность и распространение организмов по земному шару. Например, бук может жить на сравнительно сухой почве, но ему необходима достаточно высокая влажность воздуха. У животных весьма важную роль играют проницаемость покровов и механизмы, регулирующие водный обмен.

Различают *абсолютную влажность воздуха*, представляющую собой количество газообразной воды (пара) в граммах в 1 м³ воздуха при данной температуре, и *относительную*, которая характеризует степень насыщения воздуха парами воды при определенной температуре и выражается в процентах как отношение абсолютной влажности к *максимальной влажности* (массе водяных паров в граммах, способных создать полное насыщение в 1 м³ воздуха):

$$R = (m/m_{\max}) \cdot 100 \%,$$

где: r — относительная влажность, %;

m — масса пара, фактически содержащегося в 1 м^3 воздуха (абсолютная влажность), г;

m_{max} — масса насыщенного пара, содержащегося 1 м^3 , на при данной температуре, г.

Чем выше температура, тем воздух суше, и тем интенсивнее в нем происходит транспирация (испарение воды листьями и другими частями растений).

Сезонное распределение влаги в течение года, а также ее суточное колебание тоже исключительно важно для жизнедеятельности организмов.

По отношению к водному режиму выделяют следующие экологические группы растений и животных: *влаголюбивые*, *предпочитающие умеренную влажность* и *сухлюбивые*.

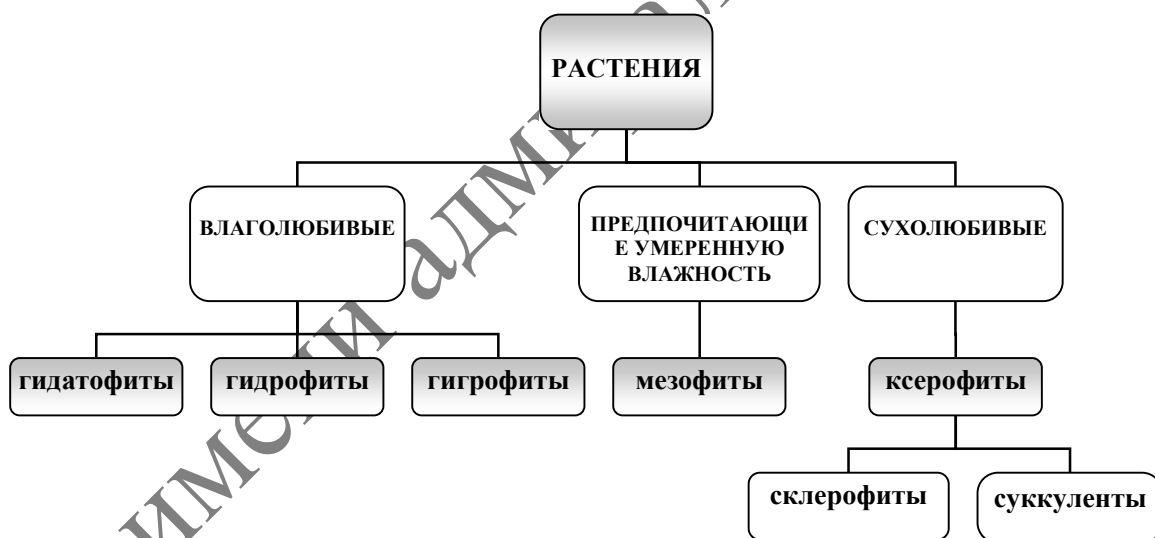


Рис. 19

Среди **растений** (рис. 19) различают:

- гидатофиты (от греч. «*hydatos*» — вода) — водные растения, целиком или большей своей частью погруженные в воду (ряска, элодея, кувшинка и др.);
- гидрофиты (от греч. «*hydor*» — вода) — наземно-водные растения, погруженные в воду только нижними частями, например стрелолист, частуха и др.;

– гигрофиты (от греч. «*hygros*» — влажный) — наземные растения, приспособленные к обитанию в условиях избыточной влажности, преимущественно в сырых лесах (папоротники, кислица), на болотах (гелофиты — болотные растения, от греч. «*helos*» — болото), на берегах водоемов и в других подобных местах;

– мезофиты (от греч. «*mesos*» — средний, промежуточный) — растения умеренно увлажненных местообитаний. К ним относятся луговые травы, многие лесные травы, лиственные деревья, большинство сельскохозяйственных культур и сорняков;

– ксерофиты (от греч. «*xeros*» — сухой) — растения сухих местообитаний, делятся на суккулентов (от лат. «*succulentus*» — сочный) — растения, способные накапливать в тканях большое количество воды (кактусы, алоэ, агавы); склерофиты (от греч. «*skleros*» — сухой, твердый) — засухоустойчивые растения с жесткими, кожистыми листьями и стеблями, эффективно задерживающие испарение воды (саксаул, верблюжья колючка, полынь, ковыль). Они низкорослы, но обладают мощной корневой системой. Корни либо поверхностные, широко разветвленные и хорошо улавливающие атмосферные осадки, либо стержневые, проникающие на большую глубину до грунтовой воды. Листья у многих склерофитов мелкие, сухие, часто в виде игл, колючек, чешуи, покрытые препятствующей испарению кутикулой.

Среди наземных животных (рис. 20) различают:



- гидрофилы — влаголюбивые животные (мокрицы, ногохвостки, комары, наземные планарии, наземные моллюски и амфибии);
- мезофилы — обитают в районах с умеренной влажностью (озимая совка, многие насекомые, птицы, млекопитающие);
- ксерофилы — сухолюбивые животные, не переносящие высокой влажности (верблюды, пустынные грызуны и пресмыкающиеся). Например, слоновая черепаха запасает воду в мочевом пузыре, некоторые млекопитающие избегают дефицита влаги путем отложения жиров, при окислении которых образуется метаболическая вода. За счет метаболической воды живут многие насекомые, верблюды, курдючные овцы, жирнохвостые тушканчики и др.

Плотность воздуха

Наземно-воздушная среда является самой сложной по экологическим условиям. Жизнь на суше потребовала таких приспособлений, которые оказались возможными лишь при достаточно высоком уровне организации растений и животных.

Низкая плотность воздуха определяет его малую подъемную силу и незначительную опорность. Обитатели воздушной среды должны обладать собственной опорной системой, поддерживающей тело: растения — разнообразными механическими тканями, животные — твердым или значительно реже гидростатическим скелетом. Кроме того, все обитатели воздушной среды тесно связаны с поверхностью земли, которая служит им для прикрепления и опоры. Жизнь во взвешенном состоянии в воздухе невозможна.

Правда, множество микроорганизмов и животных, споры, семена и пыльца растений регулярно присутствуют в воздухе и разносятся воздушными течениями, многие животные способны к активному полету, однако у всех этих видов основная функция их жизненного цикла — размножение

— осуществляется на поверхности Земли. Для большинства из них пребывание в воздухе связано только с расселением или поиском добычи.

Малая плотность воздуха обуславливает низкую сопротивляемость передвижению. Поэтому многие наземные животные использовали это свойство воздушной среды в ходе эволюции, приобретя способность к полету. К активному полету способны 75 % видов всех наземных животных, преимущественно насекомые и птицы, но встречаются летуны и среди млекопитающих и рептилий. Летают наземные животные в основном с помощью мускульных усилий, но некоторые могут и планировать за счет воздушных течений.

Газовый состав воздуха

Благодаря высокому постоянству газового состава атмосферного воздуха обитатели наземной среды не лимитированы по количеству отдельных газов, в том числе кислорода. Лишь в некоторых специфических условиях газообмен может быть ограничен некоторым недостатком кислорода и сниженным парциальным давлением этого газа. Так, например, накопление в закрытых убежищах типа нор, дупел, а также под толщей снега значительного количества CO_2 ведет к снижению парциального давления кислорода и затруднению газообмена.

Животные, обитающие в условиях некоторого недостатка и пониженного парциального давления кислорода, обладают определенными адаптациями. Показано, что млекопитающие, обитающие в подземных убежищах, легче переносят некоторый избыток CO_2 (гиперкапния) и недостаток O_2 , чем виды, не сталкивающиеся с такими условиями в природе. Адаптивные механизмы в первую очередь связаны с улучшением дыхательных свойств крови, в частности, с увеличением прочности связи гемоглобина и кислорода.

Вопросы и задания для самопроверки

1. Перечислите основные группы экологических факторов.
2. Дайте характеристику абиотических факторов.
3. Дайте характеристику света как фактора фотосинтеза.
4. Какова роль света в формировании биологических ритмов?
5. Сформулируйте биоклиматический закон А. Хопкинса.
6. Назовите экологические группы растений по отношению к водному режиму.
7. Назовите экологические группы животных по отношению к водному режиму.
8. Перечислите основные формы межвидовых связей в экосистемах.

Рекомендуемая литература

1. Бигон М., Харпер Дж., Таунсенд К. Экология. Особи, популяції и сообщества / в 2 т. – М.: Мир, 1989, т. 1 – 667 с., т. 2 – 477 с.

2. *Бродский А. К.* Общая экология: учебник для студ. высш. учеб. заведений /А. К. Бродский. – М.: Издательский центр «Академия», 2006. – 256 с.
3. *Вернадский В. И.* Биосфера. Избранные труды по биогеохимии. – М.: Мысль, 1967. – 374 с.
4. *Гиляров А. М.* Популяционная экология. М.: Изд-во МГУ, 1990.– 184 с.
5. *Дажо Р.* Основы экологии / Р. Дажо. – М.: Прогресс, 1975. — 416 с.
6. *Коробкин В. И., Передельский Л. В.* Экология: учебник для вузов / В. И. Коробкин, Л. В. Передельский. – Изд. 12-е, доп. и перераб. – Ростов н/Д: Феникс, 2007. – 602 с.
7. *Мовчан В. Н.* Экология человека: Учеб. пособие. – 2-е изд. – СПб.: Изд-во С.-Петербур. ун-та, 2006. – 292 с.
8. *Музалевский А. А.* Экология: учебн. пособие. Под ред. д. ф.-мат. наук, профессора Л. Н. Карлина. – СПб.: Изд-ва РГГМУ, ВВМ, 2008. – 604 с.
9. *Одум Ю.* Экология / Ю. Одум. – М.: Мир, 1986, т. 1 – 325 с., т. 2 – 373 с.
10. *Пианка Э.* Эволюционная экология / Э. Пианка. – М.: Мир, 1981. — 400 с.
11. *Рифлекс Р.* Основы общей экологии / Р. Рифлекс. – М.: Мир, 1979. — 419 с.
12. *Хотунцев Ю. Л.* Экология и экологическая безопасность: Учеб. пособие для студ. высш. пед. учеб. заведений. – 2-е изд., перераб. – М.: Издательский центр «Академия», 2004. – 480 с.
13. *Шилов И. А.* Экология: Учеб. для биол. и мед. спец. вузов / И. А. Шилов. – 5-е изд., стер. – М.: Высшая школа, 2006. – 512 с.

Содержание

1. История развития и современные проблемы экологии.....	4
1.1. Понятие экологии и история ее развития.....	4
1.2. Составные части и направления современной экологии.....	12

1.3. Задачи экологии как науки.....	15
1.4. Экологизация общественного сознания.....	16
1.5. Роль образования и воспитания в экологизации сознания.....	17
1.6. Объем экологических знаний и навыков для специалистов различных направлений и специальностей.....	19
1.7. Современные экологические проблемы и основные пути их решения.....	20
<i>Вопросы и задания для самопроверки.....</i>	29
2. Появление и эволюция жизни на Земле.....	30
2.1. Теории происхождения жизни на Земле.....	30
2.2. Теория биохимической эволюции.....	36
2.3. Уровни организации живой материи.....	46
2.4. Основные свойства и функции живого вещества.....	49
2.5. Движущие силы эволюции.....	56
2.6. Главные направления биологической эволюции.....	69
<i>Вопросы и задания для самопроверки.....</i>	74
3. Среда и ее экологические факторы.....	75
3.1. Понятие о среде.....	75
3.2. Классификация экологических факторов среды.....	76
3.3. Общие закономерности действия экологических факторов на живые организмы.....	82
3.4. Влияние климатических абиотических факторов на существование и развитие живых организмов.....	89
Свет. Биологическое действие различных участков спектра солнечного излучения.....	90
Влажность.....	103
Плотность воздуха.....	107
Газовый состав воздуха.....	108
<i>Вопросы и задания для самопроверки.....</i>	109
Рекомендуемая литература.....	110

Учебное издание

Щуров Алексей Григорьевич

**Экология.
Организм и среда**

Учебное пособие

Подписано в печать 04.02.09	Сдано в производство 04.02.09
Формат 60х84 1/16	Усл.-печ. л. 6,4. Уч.-изд. л. 5,5.
Тираж 200 экз.	Заказ № 12

**Санкт-Петербургский государственный университет водных коммуникаций
198035, Санкт-Петербург, ул. Двинская, 5/7**

**Отпечатано в типографии Ф ГОУ ВПО СПГУВК
198035, Санкт-Петербург, Межевой канал, 2**