



В.В. Дроздов, А.А. Музалевский

ОБЩАЯ И ПРИКЛАДНАЯ ЭКОЛОГИЯ

ЧАСТЬ 2



Санкт-Петербург
РГГМУ
2021

В.В. Дроздов, А.А. Музалевский

ОБЩАЯ И ПРИКЛАДНАЯ ЭКОЛОГИЯ

ЧАСТЬ 2

УДК 574(075.8)
ББК 20.1я73
Д75

Рецензент: Н.В. Усов, канд. биол. наук, научный сотрудник Зоологического Института РАН, Беломорская биологическая станция.

Ответственный редактор: В.В. Дроздов канд. геогр. наук, проф., зав. кафедрой геоэкологии, природопользования и экологической безопасности РГГМУ

Д75 **Дроздов В.В., Музалевский А.А.**

Общая и прикладная экология: учебное пособие. В 2 частях. Часть 2 / В.В. Дроздов, А.А. Музалевский. – Санкт-Петербург : РГГМУ, 2021. – 210 с.

Учебное пособие предназначено для студентов экологических и гидрометеорологических специальностей вузов. В книге учитываются требования действующих государственных стандартов в области профессионального экологического образования. При этом принимается во внимание также современное развитие теоретических и прикладных аспектов экологии. Последовательно рассматриваются характерные особенности биоценозов и экосистем, включая глобальный уровень организации живого вещества – биосферу. Производится анализ специфики воздействия естественных и антропогенных факторов среды на водные и наземные биоценозы и экосистемы. Рассматриваются связи между видами в биоценозах, структура водных и наземных экосистем. Освещены важнейшие проблемы и задачи прикладной экологии, современные методы и подходы к обеспечению экологической безопасности: нормирование качества окружающей среды, мониторинг и контроль состояния окружающей среды, современные способы и методы очистки воды и воздуха, современные приборы-анализаторы загрязнения, методы биоиндикации и биотестирования, методы управления природоохранной деятельностью, экотехнопарки и их функции. Приводится описание задач национального проекта «Экология», и обосновывается его значение для устойчивого развития Российской Федерации.

В пособии имеется краткий словарь важнейших экологических терминов, понятий и законов.

Книга может быть полезна студентам и аспирантам, специализирующимся в области экологии, экологам-профессионалам, гидрометеорологам, управляющим сотрудникам предприятий природопользования и служб экологического контроля, работникам сферы образования, а также широкому кругу читателей, интересующихся основами современной общей и прикладной экологии.

Работа выполнена в Российском государственном гидрометеорологическом университете при реализации темы государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации «Исследование физических, химических и биологических процессов в атмосфере и гидросфере в условиях изменения климата и антропогенных воздействий» № FSZU-2020-0009.

УДК 574(075.8)
ББК 20.1я73

ISBN 978-5-86813-535-4
ISBN 978-5-86813-493-7

© Дроздов В.В., Музалевский А.А., 2021
© Российский государственный гидрометеорологический университет (РГГМУ), 2021

Глава 7. Биоценозы

7.1. Понятие биоценоза

Каждый организм в природе живёт в окружении множества других организмов, вступая с ними в разнообразные отношения. Связь с другими организмами – это необходимое условие питания и размножения, возможность совместной защиты, смягчения неблагоприятного воздействия факторов среды. Представители каждого вида способны существовать только в таком живом окружении, где связи с другими видами обеспечивают им нормальные условия существования.

Впервые термин «биоценоз» (от греч. «биос» – жизнь, «ценоз» – общий, вместе) был выдвинут в 1877 г. немецким гидробиологом Карлом Мёбиусом, который изучал районы обитания двусторчатых промысловых моллюсков – устриц в Северном море. Ему удалось установить, что обилие этих организмов зависит от типа грунта, скорости течения, температуры и солёности воды. Вместе с устрицами постоянно обитали другие виды моллюсков, ракообразных, губок, иглокожих, рыб и водорослей. Большинство этих организмов оказались тесно взаимосвязаны друг с другом и проявляли общий характер требований к условиям обитания и конкретным экологическим факторам среды. Согласно Мёбиусу, возможность различных видов длительно сосуществовать друг с другом в одном биоценозе представляет собой результат длительного процесса естественного отбора. Определение биоценоза К. Мёбиуса гласит, что это «... объединение живых организмов, соответствующих по своему составу, числу видов и особей некоторым средним условиям среды, объединение, в котором организмы связаны взаимной зависимостью и сохраняются благодаря постоянному размножению в определенных местах. ... Если бы одно из этих условий отклонилось бы на некоторое время от обычной средней величины, то изменился бы также и весь биоценоз. ... Биоценоз также бы изменился, если бы число особей некоторого вида увеличилось или уменьшилось, благодаря деятельности человека, или же один вид полностью исчез из сообщества, или, наконец, в его состав вошел новый». Более кратким является следующее определение: биоценоз – это совокупность всех видов растений, животных, грибов и микроорганизмов, проживающих на определенной территории и взаимосвязанных друг с другом.

Масштабы биоценозов могут быть самыми различными – от минимальных сообществ, обитающих на поверхности отдельных лишайников, до огромных зональных биоценозов смешанных лесов, степей, полупустынь, тропических коралловых рифов и др. На суше биоценозы выделяют по преобладающему типу растительности, с которой взаимодействуют насекомые, птицы, млекопитающие и другие организмы. Например, можно говорить о биоценозе ельника-кисличника или о биоценозе березового леса. В водной среде биоценозы выделяют в соответствии с геоморфологическими особенностями рельефа водоёма, от которых во многом зависят экологические условия обитания организмов. Например, выделяют биоценозы прибрежных галечных, песчаных или илистых грунтов, абиссальных глубин, пелагические биоценозы и др.

Существуют принципиальные отличия биоценотического уровня жизни от организменного, позволяющие лучше понять природу биоценоза. Далее перечислены эти отличия, согласно классификации немецкого эколога В. Тишлера.

1. Сообщества всегда возникают, складываются из готовых компонентов, среди которых различные виды или целые комплексы видов, где имеющиеся в окружающей среде. В этом способ их возникновения отличается от формирования отдельного организма, особи, которое происходит путем постепенного развития, дифференцирования его тканей.

2. В большинстве случаев отдельные части биоценотического сообщества взаимозаменяемы. Один вид (или комплекс видов) может занять место другого вида со сходными экологическими требованиями без существенного ущерба для всей системы. Части же (органы) любого организма уникальны, не могут заменить функции друг друга. Однако в последние годы проведен ряд исследований, показавших, что при повреждении

отдельных участков головного мозга человека, соседние области в состоянии в определенной степени взять на себя реализацию функций поврежденного участка.

3. В здоровом организме поддерживается постоянная координация действий, очень высокая согласованность в работе всех органов, тканей и клеток. Ежесекундно в организме человека и животных скоординировано протекают тысячи химических реакций, обеспечивающих синтез пищеварительных ферментов и гормонов, сокращение мышц, обновление клеток и т.д. Работа сердечно-сосудистой системы, легких, мышц, активность головного мозга, органов чувств и других систем органов составляют единый комплекс, позволяющий успешно проявлять жизненную активность и адаптироваться к меняющимся условиям среды. Надорганизменная система, которой является биоценоз, существует в основном за счет уравнивания противоположно направленных сил. Интересы многих видов в биоценозе прямо противоположны. Так, хищники являются антагонистами своих жертв, но, тем не менее, контролируя численность друг друга, они способны длительное время существовать вместе. Конкурентная борьба между различными видами в биоценозе, а также конкуренция между особями одного и того же вида может быть весьма жесткой, особенно при недостатке общих необходимых ресурсов. Однако со временем конкуренция обычно ослабевает, у конкурирующих видов или особей возникают новые уникальные адаптации к среде, несколько меняются источники питания, районы обитания и т.п. Если же в организме начинается конкуренция между клетками и тканями, то это сопровождается заболеваниями, в том числе онкологическими, способными вызвать гибель всего организма.

4. Предельные размеры организма ограничены его внутренней наследственной программой. Размеры биоценозов определяются особенностями окружающей среды – рельефом территории, климатом. Например, биоценоз сосняка-беломошника может занимать относительно небольшой участок среди болот, а может простирается на весьма значительное расстояние на территории с относительно однородными абиотическими условиями.

7.2. Структура биоценоза

Любой биоценоз складывается из многих видов животных, растений и микроорганизмов, находящихся между собой в сложных взаимоотношениях. Понятие структуры предполагает наличие определенной специфики связи элементов системы. Структуру биоценоза целесообразно рассматривать как общее понятие, включающее состав подчиненных элементов, их взаимное расположение. Для каждого биоценоза свойственна своя пространственная, видовая, функциональная и экологическая структуры.

7.2.1. Пространственная структура биоценоза

Определение пространственной структуры биоценоза осуществляется путем подразделения его на внутренние взаимосвязанные части и выяснению характера их связей и степени зависимости друг от друга и от внешних условий среды. Пространственная структура биоценоза включает его *вертикальную* и *горизонтальную* структуры. Вертикальная структура биоценоза образована отдельными его элементами, особыми слоями, которые называются ярусами. Ярус – совместно произрастающие группы видов растений, различающиеся по высоте и по положению в биоценозе ассимилирующих органов (листья, стебли, подземные органы – клубни, корневища, луковичы и т.п.). Как правило, разные ярусы образованы разными жизненными формами. Наиболее четко ярусность выражена в лесных биоценозах: ельниках, сосняках, дубравах, березняках.

Первый древесный ярус здесь обычно формируют высокие деревья с высоко расположенной листвой, которая хорошо освещается солнцем. Неиспользованный свет может

поглощаться деревьями поменьше, образующими второй подпологовый ярус. Оставшиеся около 10 % солнечной радиации перехватываются ярусом подлеска. Его составляют кустарники и кустарниковые формы древесных пород, например орешник, рябина, крушина, ива, яблоня лесная и т.п. На открытых местах, в нормальных экологических условиях многие кустарниковые формы таких пород, как рябина, яблоня, груша имели бы вид деревьев первой величины. Однако под пологом леса, в условиях затенения и нехватки элементов питания, они обречены на существование в виде низкорослых, зачастую не дающих семян деревьев. По мере развития лесного биоценоза такие породы никогда не выйдут в первый древесный ярус. Этим они отличаются от следующего яруса лесного биоценоза – яруса основных пород, формирующих первый ярус. Они относятся к так называемым лесообразующим породам. Для северо-западного и центрального региона европейской части России, это ель, сосна, дуб, граб, береза, осина, ясень, ольха черная и др. Благодаря своей повышенной конкурентоспособности эти виды способны достичь первого яруса и образовать биоценозы со своим господством.

Весьма малая часть солнечной радиации – от 1 до 5 % – используется растениями травяного покрова, которые образуют травяно-кустарничковый ярус. Сюда относятся наши лесные травы и кустарнички: ландыш, кислица, земляника, брусника, черника, папоротники. Напочвенный слой мхов и лишайников формирует мохово-лишайниковый ярус. Итак, схематично в лесном биоценозе выделяются древостой, подлесок, подрост, травяной покров и мохово-лишайниковый ярус. Следует отметить, что ярусов может быть меньше (например, отсутствуют кустарники), или больше (в сложных смешанных древостоях с несколькими древесными породами). В состав ярусов не включают лианы, эпифиты (растения, проживающие на других растениях, но не являющиеся паразитами, например мхи и лишайники на стволах деревьев), а также растения-паразиты, которые выделяются в группу внеярусной растительности, поскольку затруднительно отнести их к какому-либо конкретному ярусу.

В лесах умеренного пояса можно выделить от 4 до 6 (реже больше) ярусов. Например, в еловых лесах четко выделяют древесный, травяно-кустарничковый и моховой ярусы. В широколиственном лесу первый самый верхний ярус образуют наиболее крупные деревья, такие как дуб, клён канадский, вяз гладкий и др. Второй ярус формируют менее высокие деревья, такие как рябина обыкновенная, дикая яблоня, ива. Третий ярус составляют кустарники – лещина обыкновенная, жимолость лесная и др. Четвёртый ярус слагают высокие травы, например, такие как бор развесистый, чистец лесной. Пятый ярус занимают низкие травы, среди которых сныть обыкновенная, осока волосистая и др. Наконец, у самой поверхности почвы располагается шестой ярус, который составляют самые низкие травы и мхи. Для каждого из ярусов свойственны свои условия освещения и влажности, характерный термический режим, что оказывает соответствующее влияние на видовой состав и численность обитающих в них животных. Наибольшее количество ярусов имеют дождевые тропические леса, наименьшее – искусственные лесные насаждения. В дождевых тропических лесах количество ярусов обычно заметно больше (от 7 до 10), чем в лесах Европы, но в таких весьма богатых флорой сообществах, часто состоящих из сотни и более видов деревьев, сотен видов трав и кустарников на 1 га, ярусы выделить довольно сложно по причине их взаимного перекрытия (рис. 7.1).

В травяных сообществах также выделяют ярусы, хотя они менее четко выражены, чем в лесных сообществах. Обычно первый ярус здесь образуют высокие злаки и травы, такие как веерник наземный или чертополох. Затем идет ярус трав средней высоты. Это могут быть мятлик однолетний, клевер луговой, ромашка непахучая и другие виды. К третьему ярусу можно отнести лапчатку гусиную, вербейник монетчатый, подорожник обыкновенный (рис. 7.2).

Ярусность свойственна и подземным частям растений. Такие ярусы выделяют по глубине залегания всасывающих частей корней. Ярусность в подземной части биоценоза способствует более продуктивному использованию воды и минеральных веществ в разных горизонтах почвы. Благодаря этому на одной и той же территории может обитать большое количество растений. Подземные ярусы не всегда легко выделить, поскольку

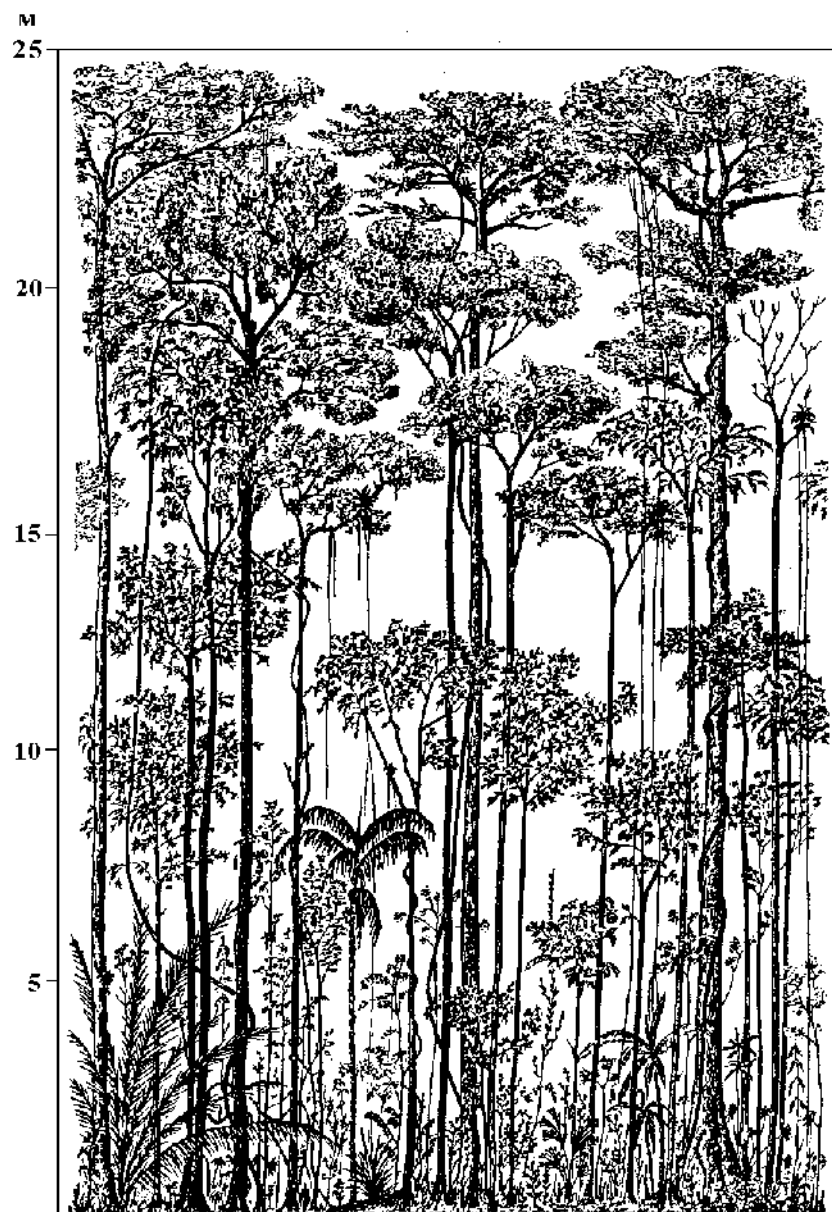


Рис. 7.1. Многоярусный дождевой лес центральной части бассейна р. Амазонка

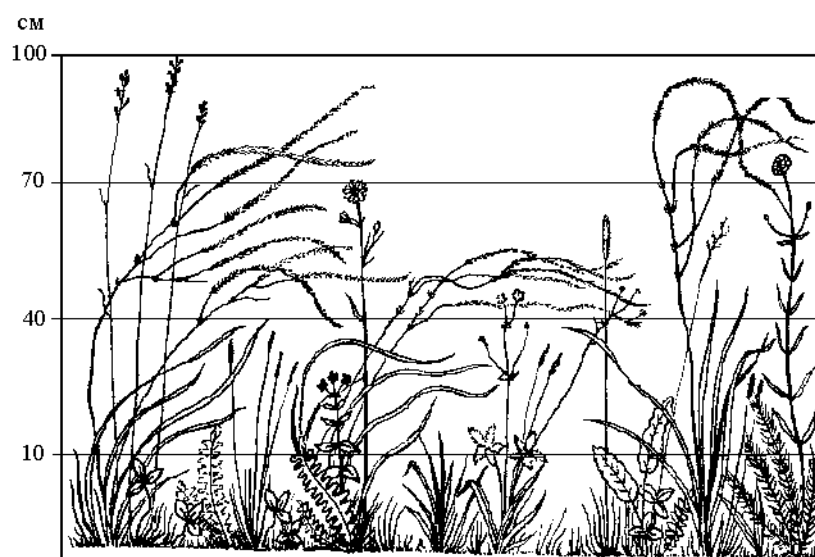


Рис. 7.2. Ярусы растительности в луговой степи [по В.В. Алехину, А.А.Уранову]

основная масса корней приходится на самый верхний слой почвы глубиной до 20–30 см. Тем не менее, часто можно выделить 2–3, а то и больше подземных ярусов. В водных сообществах, кроме яруса корней и корневищ, различают ярусы надводных трав (тростник, камыш и др.), трав с плавающими на поверхности воды листьями (кувшинки, кубышки и др.), низких водных трав (рдесты, роголистик и др.), придонных водных растений.

Подобно распределению растительности по ярусам, в биоценозах разные виды животных также занимают определенные уровни. В почве живут почвенные черви, микроорганизмы, землеройные животные. В листовом опаде на поверхности почвы живут различные многоножки, жуки, клещи и другие мелкие животные. В верхнем пологом леса гнездятся птицы, причем одни могут питаться и гнездиться ниже верхнего яруса, другие в кустарниках, а третьи – возле самой земли. Крупные млекопитающие обитают в нижних ярусах.

Особь живых организмов распределены в пространстве неравномерно. Обычно они составляют группировки, что является приспособительным фактором в их жизни. Такие группировки определяют горизонтальную структуру биоценоза – это горизонтальное распределение особей видов, образующих различного рода узорчатость, мозаичность, пятнистость каждого вида. Примеров такого распределения можно привести множество. Огромными косяками передвигаются с места на место многие рыбы. В большие стаи собираются водоплавающие птицы, готовящиеся к дальним перелетам. Североамериканские северные олени карибу в условиях тундры образуют огромные стада. В южноамериканских тропиках группы муравьев, вооруженные могучими челюстями и жалами, выстраиваются фронтом 20-метровой ширины и идут в атаку, истребляя всех, кто замешкался и не в силах спастись бегством. Такие же примеры можно привести и для растений: пятнистое размещение особей клевера на лугу, пятна мхов и лишайников в тундре, скопление кустарничков брусники в сосновом лесу, обширные пятна кислицы в еловом лесу, земляничные поляны на светлых лесных опушках. Наличие горизонтальных элементов биоценоза, мозаичности, имеет довольно важное значение для жизни сообщества. Мозаичность позволяет более полно использовать различные типы местообитания. Особям, образующим группировки, свойственна высокая выживаемость, они наиболее эффективно используют пищевые ресурсы. Это ведет к увеличению и разнообразию видов в биоценозе, способствует его устойчивости и жизненности.

К элементарным единицам горизонтального строения растительных сообществ относятся такие структурные единицы, как микроценоз и микрогруппировка. *Микроценоз* (от греч. «микрос» – малый и «койнос» – общий) – наименьшая по размерам структурная единица горизонтального расчленения сообщества, которая включает все ярусы, обособленная в вертикальном направлении от других, окружающих ее микроценозов этого же сообщества и характеризующаяся определенным составом, структурой, динамикой и обладающая некоторой целостностью. Почти каждое сообщество включает в себя комплекс микросообществ или микроценозов. *Микрогруппировка* – сгущение особей одного или нескольких видов в пределах яруса, внутриярусные мозаичные пятна. Например, в моховом ярусе можно выделить различные пятна мхов с доминированием одного или нескольких видов. В травяно-кустарничковом ярусе можно выделить микрогруппировки черничные, чернично-кисличные, голубично-сфагновые и т.п. Термины «микроценоз» и «микрогруппировка» употребляются как синонимы.

А.А. Уранов применительно к пространственной структуре биоценоза ввел понятие «фитогенное поле». Этот термин обозначает тот участок пространства, на который оказывает воздействие отдельное растение, затеняя его, потребляя из почвы биогенные элементы, изменяя температуру воздуха и распределение влаги, поставляя лиственный опад, продукты обмена и т.п. Например, крупное дерево, имея раскидистую крону способно существенно затенить пространство вокруг себя в радиусе 20–30 м и тем заметно снизить тем роста других растений нижних ярусов. Изменения среды под влиянием жизнедеятельности отдельных видов растений формируют так называемую *фитогенную мозаичность*. Она достаточно хорошо выражена в смешанных хвойно-широколиственных лесах Северо-Запада России. Ель сильнее, чем лиственные породы приводит к затенению

поверхности почвы, задерживает своей кроной больше дождевой влаги и снега, опад ели разлагается медленнее, способствуя оподзоливанию почвы.

На морском дне также можно выделить более или менее четкую пространственную структуру биоценоза. Применительно к Черному морю в состав единого литорально-го прибрежного биоценоза могут входить отдельные локальные биоценозы скалистых участков, биоценозы песчаных пляжей, биоценозы плотных зарослей водорослей и т.д. (рис. 7.3). Для каждого из локальных биоценозов характерны свои абиотические особенности, видовой состав и разнообразие слагающих его видов, свои величины биологической продуктивности. Например, в районе города-курорта федерального значения Анапа, в литоральной зоне можно встретить как биоценозы песчаных пляжей, так скалистые участки (рис. 7.4). В данном случае, именно особенности генезиса слагающих побережье пород определяют пространственную структуру биоценоза и границы ареалов конкретных видов моллюсков, ракообразных и рыб. Песчаная литораль, как правило,



Рис. 7.3. Биоценозы Черного моря. А – биоценоз скал: 1 – краб *Pachygrapsis*; 2 – усоногие прикрепленные ракообразные *Balanus*; 3 – моллюск *Platella*; 4 – 5 – водоросли; 6 – моллюски-мидии; 7 – актинии; 8 – морской ерш (сем. скорпеновые). Б – биоценоз песка: 9 – черви-немуртины; 10 – черви *Saccocirrus*; 11 – ракообразные-бокоплавцы; 12 – моллюски *Venus*; 13 – рыба-султанка; 14 – камбалы; 15 – раки-отшельники. В – биоценоз зарослей водоросли *Zostera marina*: 16 – рыбы-зеленушки; 17 – рыбы-морские иглы; 18 – рыбы-морские коньки; 19 – креветки. Г – биоценоз колонии моллюсков-устриц: 20 – устрицы; 21 – моллюски-морские гребешки. Д – биоценоз мидиевого ила: 22 – моллюски-мидии; 23 – асцидия *Ciona*. Е – биоценоз батиали: 24 – моллюск фазеолина; 25 – иглокожие-офиуры. 3 – биоценоз планктона открытого моря: 26 – медуза-корнерот *Pilemona pulmo* и др.

обладает более низким видовым разнообразием и биопродуктивностью, чем каменистая. Кроме того, на неоднородность пространственной структуры биоценоза способны оказывать значительное влияние также гидрохимические показатели при равенстве геологических особенностей. Впадающая в моря река, несущая воды с низкой минерализацией и



Рис. 7.4. Различия в геологических особенностях строения морских побережий в пределах федерального города-курорта Анапа, влияющие на видовое разнообразие донных биоценозов:
а) каменистая литораль склонов Западного Кавказа;
б) песчаная литораль ландшафта прибрежных дюн восточной части Таманского полуострова

совершенного другого, чем морские воды химического состава, способна весьма значительным образом повлиять на пространственные характеристики морского литорального биоценоза.

В зависимости от водности реки, создается более или менее обширная зона распространения пресных вод в море, особенно в поверхностном и приповерхностном слоях. Поэтому в устьях рек получают определенную возможность для своего развития отдельные пресноводные и солоновато-водные организмы, тогда как ареалы типично морских видов смещаются от устьевой зоны в сторону открытого моря. Значительное влияние на пространственную структуру и видовую структуру морских биоценозов в пределах Черного моря оказывают такие реки, как Дунай, впадающий с побережья Румынии (крупнейшая по водности река, выносящая в море в среднем около 200 км³ км), Днепр (Украина), Кызылырмак (Турция) и др. В Азовском море на пространственную структуру биоценозов, наравне с геологическими особенностями побережья, оказывает влияние сток рек Дон (в среднем 32 км³ пресной воды в год) и Кубань.

7.2.2. Видовая структура биоценоза

Количественные характеристики видовой структуры биоценоза выражаются в виде следующих основных показателей.

Обилие вида в сообществе – это число особей данного вида на единицу площади или объёма занимаемого пространства.

Постоянство рассчитывается как процентное отношение числа проб, где встречается данный вид, к общему числу проб или учётных площадок. Если исследуемый вид встречается не менее чем в 50 % проб, то его относят к группе постоянных, если он определён в не менее 25 % проб, его относят к группе добавочных. Если же вид встречается в менее одной четверти от всех проб, то он может считаться редким. Необходимо учитывать, что постоянство и обилие вида часто не связаны прямой зависимостью. Вид может быть многочисленным в отдельных районах, но редким в масштабе всего сообщества.

Верность выражает степень привязанности данного вида к биоценозу. По этому показателю различают следующие категории видов:

- характерные – свойственные для данного сообщества и практически не встречающиеся в других сообществах;
- преферентные – встречающиеся в нескольких смежных сообществах, но преобладающие в одном из них; чуждые виды, которые случайно или преднамеренно оказались в совершенно новом для них сообществе;
- индифферентные – способные относительно благополучно жить во многих биоценозах.

Доминирование – это способность вида занимать в сообществе главенствующее положение по количеству своих особей, биомассе или скорости продуцирования органического вещества. Доминирование более отчётливо проявляется в тех районах, где абиотические факторы среды достигают экстремальных количественных значений: в холодных субполярных районах, в сухих песчаных пустынях, в горячих источниках и т.д. Например, северная тайга может быть представлена только одним или двумя резко преобладающими численно и по биомассе видами деревьев-доминантов. В тёплом и влажном тропическом лесу доминирование выражено значительно слабее, т. к. здесь более десяти видов деревьев могут иметь значительную численность и биомассу.

Степень доминирования (частота) – отражает отношение числа особей данного вида или их суммарной биомассы к общему числу всех особей всех видов или суммарной биомассе биоценоза. Например, если среди 500 особей зарегистрированных на данной территории, 80 составляет клевер луговой, то степень доминирования данного вида в сообществе составляет 16 %.

Показатель доминирования (С) вычисляется по следующей формуле:

$$C = \sum \left(\frac{n_i}{N} \right)^2, \quad (7.1)$$

где n_i – степень доминирования каждого вида; N – общая степень доминирования, т. е. численность или биомасса всех особей всех видов в сообществе.

Наземные биоценозы называют по доминирующим видам: лиственный лес, дубрава или дубняк, сфагновое болото, ковыльно-типчаковая степь. Как правило, чем бедней видовой состав биоценоза, тем больше видов доминантов. Не способные к доминированию виды – малочисленные и даже редкие – тоже очень важны в сообществе. Их присутствие обеспечивает устойчивость развития сообществ, среди них могут оказаться виды способные заменить функционально другие виды при их вымирании. Среди доминантов есть такие, без которых другие виды существовать не могут. Их называют *эдификаторами* (от лат. – «строители»). Эдификаторам принадлежат главные средообразующие функции фитоценоза. Они определяют микросреду (микроклимат) всего сообщества и их удаление грозит полным разрушением биоценоза. Это виды, создающие условия для жизни других видов, ими во многом определяются особенности биоценоза. Эдификаторы всегда доминанты, но доминанты не всегда выступают в роли эдификаторов. Как правило, эдификаторами служат крупные растения – ель, сосна, ковыль, и лишь изредка – животные (сурки). Виды, живущие за счет доминантов, получили название *предоминантов*. К примеру, в дубовом лесу таковыми являются кормящиеся на дубе насекомые, сойки, мышевидные грызуны.

Рассмотрим конкретные примеры эдификаторной роли разных хвойных пород деревьев. Ель аянская и пихта цельнолистная образуют густые, сильно затененные леса. Под их пологом ее могут обитать только растения, приспособленные к условиям сильного затенения, повышенной влажности воздуха, кислых оподзоленных почв. Соответственно этим факторам в еловых лесах формируется и специфичное животное население. Следовательно, и ель и пихта выступают в роли мощного эдификатора. В лиственных и сосновых лесах, произрастающих в сходных с предыдущими лесами местообитаниях, относительно светло и гораздо суше. По сравнению с елью и пихтой сосна и лиственница – более слабые эдификаторы, особенно в разреженных лесах. И видовой состав растений и животных в лиственных лесах и сосняках гораздо богаче и разнообразнее, чем в ельнике. В них обычны растения, которые могут жить и вне леса: жимолость съедобная, голубика, брусника, багульник болотный, морошка, иван-чай узколистый, вейник Лангсдорфа, рябчик камчатский, чемерица, ирис щетинистый, кладониевые лишайники.

Господствующие виды во второстепенных ярусах и обладающих сильными эдификаторными свойствами являются субэдификаторами. Например, кедровый стланик, образующий густой подлесок в северных лиственных лесах, брусника и зеленые мхи в бруснично-зеленомошных типах леса, сфагнум в редколесьях сосны и лиственницы на Крайнем Севере, вейник Лангсдорфа в травяных типах леса и др.

Виды-эдификаторы обязательны для любого биоценоза. Однако роль их в тех или иных биоценозах не абсолютна. В таежных экосистемах при изреживании леса ель может утратить функции эдификатора, поскольку при этом происходит осветление леса и в него внедряются другие породы. А в заболоченных еловых редколесьях со сплошным моховым покровом главным эдификатором, выступают сфагновые мхи. Сфагнум является очень сильным средообразователем. Он определяет специфические условия биоценоза. Почвы в этих редколесьях отличаются плохой аэрацией и низкой теплопроводностью торфа, кислой реакцией среды, бедностью элементов минерального питания для высших растений. В степных биоценозах мощным эдификатором, подстать сфагнуму, служит ковыль.

Выделяются также виды *ассектаторы*, которые оказывают малое влияние на среду внутри сообщества. Это виды-спутники, большинство из них – второстепенные по представленности в биоценозе. Как правило, у каждого вида, обладающего сильными средообразующими функциями, т. е. у мощных эдификаторов, формируются собственные свиты видов-спутников. Таковы многие виды в каменноберезняках, в кедрово-широколиственных лесах, в кедровостланниковых зарослях. Например, видами-спутниками кедра

корейского являются: деревья – орех маньчжурский, граб сердцелистный, ясень носолистный, клены зеленокорый, маньчжурский; кустарники – лещина, чубушник, представители сем. Аралиевых.

Видовое разнообразие сообщества определяют в основном малочисленные редкие виды. Как правило, в состав сообщества входят несколько видов с высокой численностью и множество редких видов, которые не способны в данных условиях сформировать многочисленные популяции. Показатель видового разнообразия рассчитывается по формуле:

$$H = -\sum \left(\frac{n_i}{N} \right) \log \left(\frac{n_i}{N} \right), \quad (7.2)$$

где n_i – степень доминирования каждого вида; N – общая степень доминирования.

Различают бедные и богатые видами биоценозы. Главными лимитирующими факторами видового разнообразия являются температура, влажность и наличие пищевых ресурсов. В полярных арктических и антарктических пустынях и северных тундрах при крайнем дефиците тепла, в жарких безводных пустынях, в водоемах, сильно загрязненных различными токсикантами, – везде, где один или несколько факторов среды по своим количественным значениям существенным образом не соответствуют оптимальному для большинства жизненных форм уровню, сообщества сильно обеднены видами. Только весьма не многие виды могут приспособиться к таким жестким условиям существования. Чем сильнее для большинства видов условия произрастания отклоняются от оптимума, тем беднее и менее продуктивно сообщество, но зато тем характернее для него слагающие его биологические виды и тем многочисленной семьи организмов этих видов (Гиляров, 1980). Однако даже самые обедненные биоценозы включают, по крайней мере, сотни видов организмов, принадлежащих к различным систематическим и экологическим группам. Даже в контролируемые человеком посадки культурных растений – *агроценозы*, входят многие виды. Например, в агроценоз поля с посадками пшеницы входят, хотя бы в минимальном количестве разнообразные сорняки, насекомые-вредители пшеницы и хищники, питающиеся фитофагами, мышевидные грызуны, типично почвенные и напочвенные беспозвоночные, грибы и многие другие.

Незначительно количество видов в тех биоценозах, которые подвергаются периодическим катастрофическим воздействиям, например ежегодному полному затоплению при разливах рек, пожарам, уничтожению растительного покрова при распашке почвы, применению химических средств борьбы с насекомыми-вредителями и т.д. В районах же, где условия абиотической среды приближаются к оптимальным для большинства видов, а не только для тех, кто способен выработать узкие адаптационной специализации, возникают чрезвычайно богатые видами сообщества. Примерами могут являться дождевые тропические леса, коралловые рифы, составляющие основу тропического биоценоза Мирового океана, долины рек в засушливых районах (Волго-Ахтубинская пойма) и т.д. Биоценозы дождевых тропических лесов Амазонии, бассейна р. Конго в Африке, Индонезии и других районов состоят из десятков тысяч видов растений, сотен тысяч видов беспозвоночных и нескольких тысяч видов позвоночных животных. Биоценозы же тундры, пустыни включают несравненно меньшее количество видов. На полуострове Таймыр в тундровом биоценозе насчитывается всего 139 видов высших растений, 670 видов низших растений, около 1000 видов животных и 2500 видов микроорганизмов. Естественно, их биомасса и продуктивность в десятки и сотни раз меньше, чем в лесах тропиков и субтропиков.

Условия произрастания растений могут сильно различаться по теплообеспеченности, влажности и богатству почв в пределах одного региона – в зависимости от положения в рельефе и почвообразующей породы. При этом видовое разнообразие фитоценозов может различаться в десятки раз. Например, на севере Дальнего Востока оптимальные для региона экотопы формируются в поймах реки на южных склонах гор, на юге – в средней части северных теневых склонов. Наименее благоприятные экотопы свойственны соответственно переувлажненным с наличием вечной мерзлоты в почвенном профиле северным склонам, шлейфам склонов и низменностям, на юге – крутым сухим южным

склонам с маломощными каменистыми почвами и заболоченным низменностям с водупорными глинами под почвенным слоем. В результате в поймах рек Магаданской области растут самые сложные по видовому составу высокопродуктивные травяные лиственничники (до 40–50 видов), а на северных склонах гор Южного Приморья – уникальные дальневосточные хвойно-широколиственные леса (70–80 видов). В наиболее суровых условиях на севере Дальнего Востока формируются самые бедные по составу (не более 20 видов) низкопродуктивные монодоминантные леса – заболоченные лиственничники осоково-сфагновые, на юге – сухие дубняки осоковые и марьянниково-осоковые.

Отметим, что в тропическом поясе ликвидация коренных сообществ дождевого леса на значительных площадях будет сопровождаться резким снижением видового разнообразия, тогда как в умеренном поясе, где биоразнообразие в целом значительно меньше, чем во влажных тропиках, вырубка леса способна привести к некоторому локальному его увеличению за счёт временного развития кустарниковой и травянистой растительности.

Видовое разнообразие зависит также от возраста данного биоценоза, т. е. от времени, в течение которого растения, животные и микроорганизмы, входящие в его состав, адаптировались друг к другу и в процессе межвидовых контактов. Молодые, только начинающие развиваться биоценозы бедны видами по сравнению со зрелыми, длительно существующими сообществами.

Почти все наземные и большинство водных биоценозов включают в свой состав представителей всех царств жизни. Однако в некоторых условиях может формироваться сообщество, в которых нет растений (например, в пещерах или в глубоководной зоне водоемов). Возможно также существование сообщества, состоящего только из микроорганизмов, например в бескислородной среде в иле водоемов, сероводородных источниках и т.п. В таких случаях биологическая продуктивность обеспечивается не за счет фотосинтеза растений, а в результате осуществления микроорганизмами окислительно-восстановительных реакций – хемосинтеза – и за счет потребления готового органического вещества, поступающего из других пространственных зон.

В целом, видовое разнообразие сообществ в значительной мере зависит от разнообразия условий абиотической среды. В местообитаниях, где могут найти для себя условия, близкие к оптимальным, различные по экологическим требованиям виды, формируются более богатые по флоре и фауне сообщества. Влияние разнообразия условий неживых компонентов среды на разнообразие биоценозов, ясно проявляется в т. н. *опушечном эффекте*. Общеизвестно, что на опушках леса, т. е. на свободных от крупных деревьев полянах и просеках, а также на границе лесного и лугового сообществ, обычно пышнее и богаче представлена растительность, происходит гнездование большего количества видов птиц, встречается большее количество видов насекомых и других животных, чем в глубине леса. На опушках разнообразнее условия освещенности, влажности, различна температура воздуха. Чем сильнее различия между двумя соседствующими сообществами, тем разнообразнее условия на их границах и тем сильнее проявляется пограничный эффект.

Зона контакта и взаимодействия между разнородными сообществами получила название «*экотон*». Понятие «экотон» достаточно часто используется в отечественных и иностранных учебных и научных изданиях. Согласно словарю-справочнику Н.Ф. Реймерса, «экотон» – это переходная зона между физиономически отличными сообществами», и в качестве примера приводится опушка леса, как сочетание лесного и лугового сообществ. Э. Пианка определяют экотон как «пространственно-ограниченное сообщество, образующее переход между двумя другими чётко различающимися сообществами». Здесь под экотоном понимается не только определённое местообитание с достаточно выраженными границами, но и характерное уникальное сообщество, в состав которого входят представители обоих контактирующих сообществ. Известный американский эколог Ю. Одум в своём двухтомном издании «Экология» определяет экотон как «резкий переход между двумя или более различными сообществами, например, между лесом и степью или между твёрдым и мягкими грунтами на дне моря». При этом Ю. Одум отмечает, что «сообщество экотона содержит обычно многие организмы из контактирующих сообществ и, кроме того, организмы, характерные только для экотона и нередко

ограниченные им в своём распространении». Имеется в виду, что в состав сообщества экотона могут также входить особые виды, не свойственные для контактирующих сообществ. Эти виды извлекают определённую пользу из обитания в данной зоне и могут являться в определённой мере «индикаторами экотона».

Явно выраженные экотонные границы между сообществами наблюдаются в двух основных случаях. Во-первых, при более или менее резком изменении условий обитания, например при переходе от водного сообщества к наземному, от одного типа почв к другому или от северного склона гор к южному. Во-вторых, при выраженном доминировании в среде данного сообщества, какого-то одного вида или жизненной формы, граница области распространения которой, обуславливает границы обитания других видов. Выраженная смена растительного покрова может быть свойственна для районов, где подстилающие геологические формации создают значительные изменения в минеральном составе почвы. Резкие физические границы проявляются между наземными и водными сообществами. В морских донных сообществах на крутых обрывистых склонах часто наблюдается выраженная зональность сообществ в зависимости от уровня освещённости и степени обилия питательных веществ, напоминающая зональность на горных склонах суши, а физические границы могут быть выражены менее чётко. В зоне контакта высокосолёных морских и пресных вод, поступающих в море за счёт речного стока, формируются сообщества, в состав которых входят как типично пресноводные, так и типично морские виды. Многие морские виды способны обитать во взрослом состоянии при пониженной солёности, а пресноводные виды, достигая определённого возраста, получают возможность для ограниченного распространения в высокосолёных водах. Так как в данном случае резкие физические границы между пресноводными и морскими сообществами отсутствуют, то формируется более или менее широкая зона экотона, включающая в свой состав характерное сообщество, состоящее из представителей морской и пресноводно-солонатово-водной фауны.

Существует ещё один подход к изучению экотона, связанный с оценкой межгодовой и многолетней изменчивости положения этой зоны под влиянием колебаний климата. Различными авторами рассматриваются особенности пространственной динамики экотона лес-тундра под влиянием климатических изменений в северных областях России и США. При этом было показано, что положение зоны экотона во многом может служить естественным индикатором изменчивости климата. В обстоятельной работе А.Н. Смирнова и Н.П. Смирнова (1998, РГГМУ) была убедительно продемонстрирована тесная связь между многолетней динамикой климата в регионе Северной Атлантики и продуктивностью лесных прибрежных сообществ. В частности, было показано что прирост и положение границ ареалов канадской пихты, сосны, ели и лиственницы на о-ве Ньюфаундленд и полу-ове Лабрадор находятся в тесной зависимости от показателей климатических изменений в данном регионе. При этом в периоды похолодания площадь распространения лесных сообществ сокращается, а сообществ тундры – возрастает. Соответственно, меняет своё положение в пространстве и зона экотона. Резкие физические границы проявляются между наземными и водными сообществами. В морских донных сообществах на крутых обрывистых склонах часто наблюдается выраженная зональность сообществ в зависимости от уровня освещённости и степени обилия питательных веществ, напоминающая зональность на горных склонах суши, а физические границы могут быть выражены менее чётко.

Весьма велика роль солёности воды в качестве экологического фактора, способного оказывать определённое влияние на различные физиологические процессы и, в связи с этим, влиять на локализацию сообществ водных организмов. Эвригалинность как способность организмов обитать при широком диапазоне солёностей внешней среды по-разному выражена у отдельных видов. При этом, по-видимому, среди животных отсутствуют формы, способные жить как в условиях пресной воды, с чрезвычайно низким содержанием солей, так и в насыщенном солевом растворе. В природе, вероятно, отсутствуют также абсолютно стеногалинные организмы, не способные выносить малейшие колебания солёности внешней среды.

Выделяют 4 основных типа водной фауны. Это морской тип фауны, пресноводный, солонатово-водный и фауна вод с солёностью, близкой к уровню насыщения. Генетически

они не являются равноценными. Животный мир солоноватых вод включает организмов, произошедших либо от морских, либо от пресноводных форм. Эндемичные солоноватоводные семейства и отряды пока не выявлены. Фауну высокосолёных вод можно подразделить на две группы: гипергалинную, состоящую из эвригалинных морских видов, обитающих в диапазоне солёностей примерно от 45 до 75–80 ‰, и ультрагалинную, представители которой, например, такие как *Artemia salina* и *Chironomos salinarius* обитают обычно при солёности более 80 ‰. В диапазоне солёностей от 0 до 5–8 ‰ доминируют пресноводные виды. При этом, начиная со значений солёности в 5 ‰, их обилие начинает резко снижаться. В то же время, незначительное количество пресноводных по происхождению видов способно обитать при солёности более 75 ‰. Численность солоновато-водных видов демонстрирует тенденцию к возрастанию по мере увеличения солёности примерно от 1 до 12 ‰. Однако наибольшее их количество обитает при солёности от 45 до 80 ‰. Морские по происхождению виды способны обитать в самом широком диапазоне солёности, от 5 до 50 ‰, но максимальное их разнообразие, свойственно для вод с солёностью от 25 до 40 ‰. В данном диапазоне обитают типичные массовые океанические виды, большинство из которых стеногалинны.

Основными типами водной фауны, исходными для других её типов, необходимо признать морские и пресноводные фауны. Исходя из того что жизнь впервые зародилась в морской среде, пресноводную фауну необходимо признать вторичной по отношению к морской. В то же время, начав формироваться в отдалённые геологические эпохи, пресноводная фауна приобрела выраженный оригинальный облик. Различия между населением морей и пресных вод весьма существенны. В пресной воде не встречаются представители типов и классов радиолярий, сифонофор, коралловых полипов, гребневеков, головоногих моллюсков, плеченогих, погонофор, иглокожих и оболочников. Полностью или преимущественно пресноводными животными являются олигохеты, пиявки, коловратки, мшанки, большинство отрядов насекомых, жаброногие раки, двоякодышащие рыбы и амфибии. В пресных водах эндемичных пресноводных групп высокого таксономического ранга меньше, чем эндемичных морских групп в море. Проявляется грань между пресноводной и морской фаунами, выражающаяся в высокой степени эндемизма соответствующих групп. Известно ограниченное число видов, обладающих выраженной эвригалинностью и обитающих как в морской, так и в пресной воде. Причиной этого, по-видимому, является сдерживающая роль фактора солёности. Таким образом, солёность может выступать и как фактор дифференциации сообществ гидробионтов, формируя экотоны, что наиболее характерно для экосистем внутренних морей.

Характерной чертой современной Балтики является пониженная солёность водных масс вследствие значительного объема речного стока и ограниченной связи с океаном. Солёность поверхностных вод уменьшается по направлению с запада на восток. В районе пролива Каттегат солёность вблизи поверхности составляет 14–15 ‰, у восточного побережья Дании не превышает 10 ‰, у о-ва Борнхольм – около 8 ‰, в Центральной части моря и у о-ва Готланд – 6–7 ‰, а в Финском и Ботническом заливах снижается до 3–5 ‰. Относительно чёткий пограничный характер солёности около 8 ‰, разделяющий морской и пресноводный планктон в Балтийском море, был установлен в работах многих авторов. В частности, А. Ярвекюльг показал, что в бухте Матсалу на западном побережье Эстонии морские и солоноватоводные виды преобладают при солёности выше 6 ‰, а пресноводные – при солёности ниже 4 ‰. А. Ремане анализируя распределение в Балтийском море видов принадлежащих к различным фаунистическим комплексам, заметил, что разнообразие солоновато-водной фауны значительно уступает разнообразию пресноводной и, в особенности, морской фауны. По причине того, что количество морских видов резко сокращается при солёности ниже 8 ‰, а пресноводных при солёности выше 5 ‰, и, учитывая то, что развивающаяся в данных условиях солоновато-водная фауна демонстрирует видовую бедность, то общее число видов в данном узком солёностном диапазоне оказывается минимальным.

В Балтийском море солёность, в силу своей выраженной региональной и временной изменчивости, принадлежит к числу основных экологических факторов, влияющих на

жизнедеятельность и распределение организмов и их сообществ. В зоне контакта высокосолёных морских и пресных вод, поступающих в море за счёт речного стока, формируются сообщества, в состав которых входят как типично пресноводные, так и типично морские виды. Многие морские виды способны обитать во взрослом состоянии при пониженной солёности, а пресноводные виды, достигая определённого возраста, получают возможность для ограниченного распространения в высокосолёных водах. Так как в данном случае резкие физические границы между пресноводными и морскими сообществами отсутствуют, формируется более или менее широкая зона экотона, включающая в свой состав характерное сообщество, состоящее из представителей морской и пресноводно-солонатоводной фауны.

Чем же определяется столь существенная роль значений солёности воды в разделении фауны? Очевидно, здесь проявляется исторически сложившаяся закономерность, связанная с особенностями осмотической регуляции, так как внутренняя среда организмов (кровь, лимфа и межклеточная жидкость) представляют собой раствор минеральных и органических веществ. У гиперосмотических пресноводных и солонатоводных животных деятельность осморегуляторных механизмов направлена на предотвращение избыточного проникновения пресной воды в ткани. Гипоосмотические генетически морские животные характеризуются осморегуляторной активностью, направленной на предотвращение чрезмерного проникновения высокосолёной воды из внешней среды. При этом физиологически пресноводные животные способны обитать и нормально размножаться в среде с солёностью в основном менее 5 ‰, а морские животные всегда обитают при солёности более 5 ‰. На данную общую схему накладываются особенности солёностной толерантности, свойственные для определённых стадий жизненного цикла гидробионтов. Например, икра и личинки балтийской трески нормально развиваются только при солёности не менее 11–12 ‰ на значительных глубинах, в то время как молодые и взрослые особи способны обитать в мелководной прибрежной зоне при солёности до 5–6 ‰.

В целом, всех организмов обитающих в окрестностях и в пределах Балтийского моря, можно подразделить на 4 комплекса или группы, в зависимости от степени их распространения в море и чувствительности к низким или высоким значениям солёности.

К *океаническому* комплексу принадлежат стеногалинные виды, способные жить и размножаться только в условиях близких к океаническим, при солёности от 25 до 33 ‰. В данный комплекс, среди представителей ихтиофауны, входят большинство видов акулобразных хрящевых рыб, широко распространённых в Северной Атлантике, в частности сельдевая акула, морская лисица, серая акула, полярная акула и др. Кроме того, к данному комплексу, очевидно, можно отнести представителей семейства мерлузовых рыб, семейства аргентиновых, морских окуней из семейства скорпеновых и др. Распространение этих рыб ограничивается водами пролива Каттегат. Далее, можно выделить группу рыб, имеющих океаническое происхождение, но в силу своих особенностей, сумевших сформировать относительно обособленные популяции в Балтийском море, или способных сезонно проникать в его южные районы в период своих летних нагульных миграций из Атлантики. В этот *толерантный океанический* комплекс необходимо отнести тех рыб, для жизни или размножения которых необходима солёность не менее 12–14 ‰, т. е. балтийскую треску, балтийских камбаловых, скумбрию, пеламиду, кефаль сингиль, рамаду, пятнистую колючую акулу, гладкого и колючего ската. Представители данного комплекса распространены от пролива Каттегат до района Готландской впадины в Центральной части моря. Некоторые из них населяют преимущественно приповерхностные водные массы с солонатовой водой (европейская скумбрия, пелагида и др.), другие же (балтийская треска, камбаловые) способны нагуливаться в мелководной прибрежной зоне, но размножаются в придонных горизонтах глубоководных впадин с повышенной солёностью.

Выделяется также группа генетически морских рыб, которые смогли сформировать многочисленные популяции не только в южных и в центральных, но также в восточных и северных, наиболее опреснённых районах моря. В этот *морской солонатово-водный* комплекс входят главным образом балтийская сельдь и шпрот. Данные виды рыб смогли наилучшим образом адаптироваться к неоднородным условиям Балтийского моря и

получили здесь самое широкое распространение. Наконец, генетически пресноводные рыбы, такие как лещ, плотва (сем. карповые), окунь, щука и др., составляют *континентальный солоноватоводный* комплекс. Размножение данных видов успешно осуществляется при солёности, не превышающей 3 ‰, однако взрослые особи некоторых видов, например судак (*Lucioperca lucioperca* L), могут нагуливаться и в районах с солёностью до 5–8 ‰. Расположение популяций представителей данного комплекса ограничивается опреснёнными участками устьев рек и сильно опреснёнными вершинами заливов в Северной и Восточной Балтике.

Анализируя относительное расположение границ рассматриваемых комплексов рыб, донных беспозвоночных и зоопланктона, становится ясно, что в условиях постепенно меняющихся значений такого важного экологического фактора среды, как солёность, и по причине высокой способности к адаптации, свойственной для большинства балтийских рыб, наблюдается перекрывание границ между соседствующими группами, что особенно характерно для районов Северной и Восточной Балтики. Здесь в состав сообществ входят представители как континентального, так и морского солоновато-водного комплексов рыб. Более заметные границы между комплексами проявляются в Южной Балтике, в частности в районе устьев крупных рек Одры и Вислы, где в близком соседстве располагаются сообщества континентальных солоновато-водных и толерантных океанических рыб, в связи с чем можно говорить о существовании здесь зоны экотона. Графически расположение зон экотон Балтийского моря показано на рис. 7.5. Установлено, что в периоды интенсивных и длительных вторжений в Балтику высокосолёных и обогащённых кислородом водных масс из Северного моря наблюдается расширение к востоку ареалов рыб, принадлежащих к толерантному океаническому комплексу, таких как балтийская треска, камбала – лиманда, скумбрия и др. В то же время, ареалы континентальных солоноватоводных рыб, таких как судак, лещ, плотва и др., сокращаются. При этом положение экотона, как зоны соприкосновения представителей различных комплексов, существенно меняется.

Кроме Балтики, крупными пресноводно-солоноватоводными бассейнами являются Азово-Черноморский регион и Каспийское море. В этих регионах, как показали многочисленные гидробиологические исследования различных авторов, солёность также

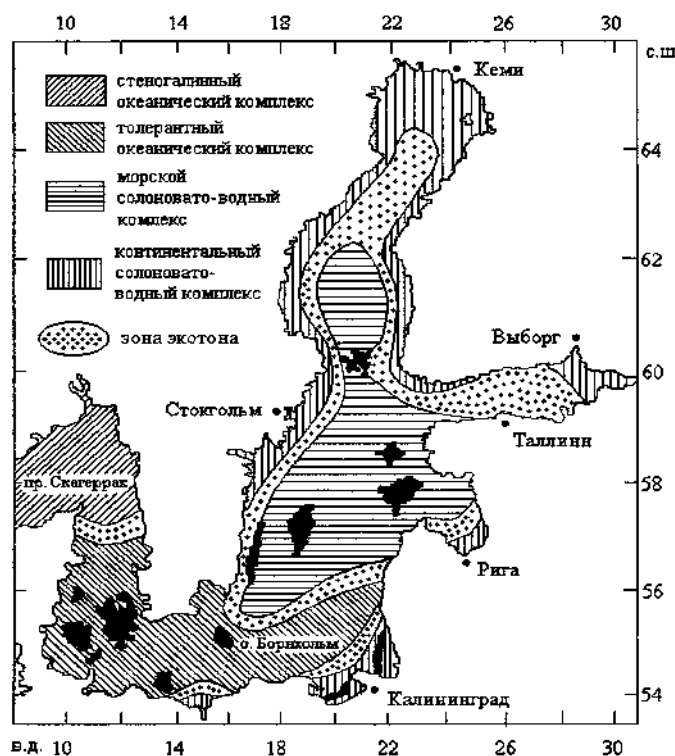


Рис. 7.5. Расположение зон экотон в поверхностных водах Балтийского моря

выступает как один из главных факторов дифференциации сообществ гидробионтов. Обобщая данные о солёностной устойчивости основных систематических групп донных беспозвоночных Азовского моря, можно прийти к выводу о том, что верхней границей обитания пресноводных сообществ и, соответственно, нижней границей для морских сообществ является солёность около 7 ‰. Пределы солёности основных групп донной фауны Азовского моря, установленные А.Ф. Карпевичем, представлены в табл. 7.1.

Табл. 7.1. Нижние и верхние границы солёности, свойственные для донной фауны Азовского моря

Группы донной фауны	Солёность, ‰
Пресноводные виды	
моллюски	0–2
черви	0–5
ракообразные	0–7
Солоновато-водные виды	
моллюски	0–7,5
ракообразные	0–12,5
черви	0–10
Морские виды	
моллюски	7–30
ракообразные	5–35
черви	5–30

В Северном Каспии выделяют две солоновато-водные подзоны обитания гидробионтов – слабосолёную, с солёностью от 0,2 до 8,4 ‰, в которой обитают преимущественно пресноводные виды, и повышенно солёную, с солёностью от 5,5 до 11 ‰, населённую главным образом морскими формами. Важнейшей границей, определяющей облик фауны в Каспийском море является солёность от 7 до 8 ‰, в Азовском около 4 ‰. Таким образом, можно с уверенностью говорить о том, морская и пресноводно-солоновато-водная фауны встречаются друг с другом и соответственно формируют более или менее широкую переходную зону экотона в также узком солёностном спектре от 5 до 8 ‰.

Итак, узкий солёностный спектр от 5 до 8 ‰ является зоной контакта двух главных типов водной фауны – морской и пресноводной. Данная закономерность свойственна, по-видимому, для всех водоёмов с более или менее плавным градиентом значений солёности. Парадокс солоноватых вод заключается в значительном уменьшении биоразнообразия на границе соприкосновения главных типов фаун. Совпадение солёностных границ распространения различных фаунистических групп в бассейнах, существенно отличающихся друг от друга по совокупности физико-географических условий, нельзя признать случайным. Очевидно, здесь проявляется определённая, исторически сложившаяся, важная биологическая закономерность, которую следует непременно учитывать при исследовании внутренних морей и особенно их прибрежных зон.

Таким образом, мы видим, что экотон является весьма сложным и динамичным природным объектом. Обязательным признаком существования экотона является наличие уникального смешанного биотического сообщества, формирующегося на границах нескольких соседствующих сообществ. Развитие исследований в области установления границ зон экотонов, на основе на данных об экологии и биологии рыб и других гидробионтов, находит свое практическое использование в целях рационального рыбного промысла и комплексного управления прибрежной зоной.

7.2.3. Функциональная и экологическая структура биоценоза

Все организмы, слагающие биоценоз, в зависимости от специфики выполняемых ими функций можно подразделить на несколько групп, соотношение между которыми и численность отдельных групп составляет функциональную структуру сообщества. Организмы *продуценты* – это организмы, вырабатывающие первичное органическое вещество в процессе фотосинтеза или хемосинтеза. К этой функциональной группе принадлежат

высшие наземные сосудистые растения (хвойные и покрытосеменные цветковые), низшие растения – наземные и водные прикрепленные водоросли, фитопланктон озер, рек, морей и океанов, хемосинтетические автотрофные (серные, железистые и др.) бактерии. *Консументы* – организмы-потребители готового органического вещества. К ним принадлежат животные и человек. *Редуценты* – организмы-разлагатели мертвого органического вещества, среди которых главным образом грибы и гетеротрофные бактерии.

Виды, выполняющие в сходных биоценозах одни и те же функции, называются *викарирующими* (т. е. замещающими). Данное явление широко распространено в природе. Например, сходную роль играют куница в европейской и соболь в азиатской тайге, некоторые сохранившиеся бизоны в прериях Северной Америки и антилопы в саваннах Африки, дикие лошади и куланы в степях Азии. Наличие конкретного вида в данном биоценозе на ранних стадиях его формирования во многом случайно, так как биоценозы складываются из тех видов, которые имеются в окружающей среде. По мере развития биоценоза, через значительное время в его составе остаются только те виды, которые смогли выработать эффективные адаптации к абиотическому и биотическому своему окружению. Но функциональная структура биоценозов, складывающаяся в определенных климатических и ландшафтных условиях, всегда строго закономерна. Например, в биоценозах разных природных зон закономерно изменяется соотношение организмов в пределах функциональной группы консументов – между животными-фитофагами (потребляющими растения) и сапрофагами (потребляющими мертвое органическое вещество). В степных, полупустынных и пустынных районах животные-фитофаги преобладают над сапрофагами. В лесных сообществах умеренного пояса, напротив, сапрофаги более многочисленны. Главный тип питания животных в глубинах океана – хищничество, по причине невозможности фотосинтеза и относительно редкого в масштабах океана распределения зон с возможностью производить значительное количество органического вещества путем хемосинтеза. В хорошо освещенной зоне литорали широко распространены организмы, питающиеся путем фильтрации морской воды (губки, коралловые полипы, двусторчатые моллюски и др.). Здесь также много видов со смешанным характером питания.

Экологическая структура биоценоза определяется соотношением различных экологических групп организмов в биоценозе, которые выделяются в зависимости от степени общности их адаптаций к факторам среды. Например, соотношение таких экологических групп наземных растений, как гигрофиты, мезофиты и ксерофиты (см. разд. 4.4.2) составляет экологическую структуру растительного компонента биоценоза – *фитоценоза*. Среди животных соотношение между численностью таких экологических групп как гигрофилы, мезофиллы и ксерофилы (см. раздел 4.4.1) может определять экологическую структуру животного компонента биоценоза – *зооценоза*. Очевидно, что в сухих аридных условиях растительный состав биоценоза будет состоять, прежде всего, из представителей экологических групп суккулентов и склерофитов, а в сильно увлажненных условиях будут доминировать представители экологических групп гигро- и даже гидрофитов. Разнообразие и численность представителей той или иной экологической группы характеризует биоценоз в наименьшей степени, чем точные измерения физических и химических параметров среды. Таким образом, биоиндикационные методы, описанные в главе 3, могут быть дополнены исследованием экологической структуры биоценозов.

Способ оценки биоценозов, использующий общие характеристики его пространственной, видовой и экологической структуры, называется *макроскопическим*. Этот подход дает обобщенную характеристику сообществ, что позволяет ориентироваться в свойствах биоценоза при планировании хозяйственных мероприятий, прогнозировании последствий антропогенных воздействий, оценивать устойчивость биоценоза. Если же ставится задача более детального анализа связей каждого отдельного вида в сообществе, требуется самое подробное изучение его экологических особенностей, то используется так называемый *микроскопический* подход. Он значительно более сложен, решение данной задачи сопряжено с существенными затратами времени и материальных ресурсов. Поэтому микроскопический подход до сих пор применялся в исследовании только

весьма небольшого количества видов. Однако он позволяет получить глубокие знания об экологии изучаемого вида и также находит свое применение на практике при анализе динамики ресурсов ценных промысловых рыб, исследовании возбудителей и переносчиков опасных заболеваний и т.п.

7.3. Связи между видами в биоценозе

Особи разных видов существуют в биоценозах не изолированно, а вступают между собой в разнообразные взаимоотношения. Возникновение и длительное существование биоценозов основывается именно на связях между особями различных видов, населяющих одну и ту же территорию. Характер связей во многом определяет условия жизни видов в сообществе, возможности размножения и освоения новых жизненных пространств. Существует несколько подходов к классификации отношений между видами в биоценозе. Один из распространенных подходов заключается в оценке возможного результата контакта двух особей разных видов. Результат может быть взаимноположительным, взаимноотрицательным, приводить к безусловной выгоде одного вида и угнетению другого, а также быть практически нейтральным для обоих контактирующих видов (табл. 7.2). Последовательно рассмотрим особенности этих взаимодействий в данной классификации.

Табл. 7.2. Основные типы взаимодействия между видами в биоценозе

№	Тип взаимодействия	Вид «А»	Вид «Б»
		Результат	
1	Хищничество	+	–
2	Паразитизм	+	–
3	Комменсализм	+	0
4	Аменсализм	0 (+)	–
5	Конкуренция	–	–
6	Мутуализм	+	+

7.3.1. Хищничество

Хищниками называют организмы, питающиеся другими организмами, которых они находят и умерщвляют. Подобные отношения имеют несколько вариантов. Всех хищников можно подразделить на активных и пассивных. *Активными хищниками* являются организмы, имеющие, согласно своей анатомии и физиологии, специальные хорошо развитые системы органов и тканей (зрение, обоняние, мышечные ткани конечностей, челюстной аппарат, пищеварительная система и т.д.), позволяющие эффективно обнаруживать жертву, настичь ее, убить и достаточно быстро съесть. В настоящее время одни из самых крупных наземных хищников являются представители семейства кошачьих – африканские львы, пантеры, гепарды и леопарды, азиатские тигры, южноамериканские ягуары. Гепарды в погоне за жертвой способны развивать наивысшую скорость среди всех наземных животных – до 60 км в час на коротких дистанциях. В северных лесах охотятся рыси. Однако самым крупным современным наземным хищником является белый медведь, весь жизненный цикл которого проходит на дрейфующих льдах Арктики. Масса взрослой особи может превышать 200 кг. Главным объектом его питания являются тюлени.

Животные, имеющие узкий спектр питания, состоящий из представителей одного вида или ограниченной группы близкородственных видов, называются *монофагами*. Бурый европейский медведь и крупный северо-американский медведь гризли, хоть и способны к типичному хищничеству, но их пищевой рацион может включать не только мясо наземных животных, но и рыбу, а также некоторые растения. Способность питаться широким спектром пищевых объектов называется *полифагией*.

В водной среде крупнейшими из известных на данный момент хищниками являются зубатые киты (кашалоты, касатки, дельфины), а также крупные акулы (например, большая белая длиной до 6 м). Эти виды ведут исключительно плотоядный образ жизни, активно выслеживая добычу и настигая ее. Объектами питания акул являются преимущественно рыбы. Крупные акулы способны почувствовать запах капли крови на расстоянии более 1 км – эффективность их обоняния в 4–5 раз выше, чем у служебной собаки. Органы боковой линии акул способны различить малейшие колебания воды на большом расстоянии и выделить из них движения раненого животного – потенциальной жертвы. Акулы способны также воспринимать электрические импульсы одиночных рыб и их стай при движении. Дельфины и касатки, генерируя ультразвуковые сигналы, могут с высокой точностью определить место скопления рыбы и часто используют коллективные методы охоты. Кашалоты способны также питаться глубоководными гигантскими кальмарами, касатки в основном специализируются на питании тюленями. Поимка жертвы требует от активных хищников значительных затрат энергии на поиск, погоню, захват жертв и преодоление их сопротивления. Поэтому хищники часто подкарауливают жертву, действуют из засады или используют приемы коллективной охоты, что повышает эффективность охоты и снижает индивидуальные затраты энергии.

Пассивные хищники – это плотоядные организмы, которые питаются легкодоступным кормом, обычно имеющимся в достаточном количестве. Они осуществляют только поиск и простой сбор добычи, при этом их энергетические затраты минимальны. Например, усатые киты, некоторые виды из которых являются самыми крупными из ныне существующих животных (гренландский и синий кит), питаются зоопланктоном (крилем) путем его фильтрации из морской воды. Криль легкодоступен, достаточно широко распространен в приполярных морях, при его добыче усатым китам не требуется развивать большие скорости движения. Однако калорийность планктонных ракообразных незначительна, поэтому для удовлетворения пищевых потребностей самым крупным из китов требуется потреблять от нескольких сот килограммов до нескольких тонн криля в сутки. Характерным примером пассивного хищника является также млекопитающее муравьед, питающийся за счет простого сбора муравьев из муравейника, с помощью длинного языка. Пассивными хищниками также можно признать многочисленных прикрепленных фильтрующих планктон морских животных – губок, гидроидов и др. Такой тип питания свойственен рыбам, которые питаются преимущественно зоопланктоном (сельдь, мойва и др.).

В целом, если размеры жертв намного меньше размеров питающихся ими животных, численность объектов питания высока и сами они легкодоступны, – в таком случае говорят о реализации типа питания под названием «*собирательство*». Собирательство требует затрат энергии в основном на поиск, но не на захват пищи. Такой тип питания характерен также для ряда насекомоядных птиц – зябликов, куликов-зуйков, ржанок, коньков и др.

Вопреки устоявшемуся мнению, хищничество как способ питания свойственно не только царству животных, но также встречается среди некоторых растений и даже грибов. В данном случае речь идет, конечно, о пассивном хищничестве. У растений при недостатке азота в почве, развиваются способы улавливания и фиксации прилетающих к ним насекомых и переваривание белков их тел специальными ферментами. К группе растений-хищников принадлежат европейские росянки, пузырчатки, венерина мухоловка, южно-азиатские непентесы (рис. 7.6) и другие виды.

Род *непентес* включают более 70 видов, большинство из которых произрастает в тропической Азии, особенно на о. Калимантан. На западе они распространены до Сейшельских островов и Мадагаскар, а на востоке до Новой Гвинеи, Северной Австралии и Новой Каледонии. Непентесы представляют собой кустарниковые или полукустарниковые лианы, произрастающие во влажных местообитаниях. Их длинные тонкие стебли способны взбираться по стволам и крупным ветвям соседних деревьев на десятки метров в высоту, вынося тем самым свои соцветия к солнечному свету в верхний ярус леса. Листья непентесов достаточно крупные. Наряду с обычными, достаточно крупными листьями, у непентесов развиты своеобразные кувшинчатые листья. На концах листовых пластинок образуется специальный орган – кувшин, предназначенный для ловли насекомых.

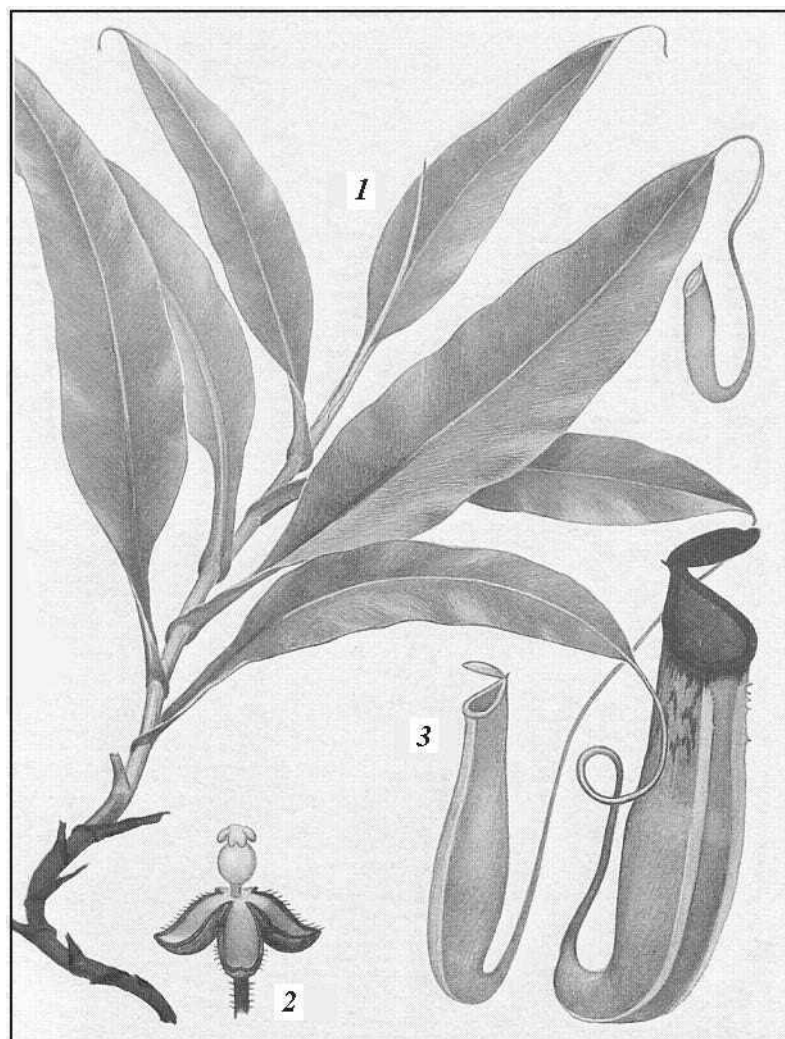


Рис. 7.6. Растение-хищник непентес (*Nepenthes hybrida*):
1 – ветвь растения; 2 – мужской цветок; 3 – кувшин-ловушка

Длина кувшина может составлять от 2,5 до 30 см, а в исключительных случаях достигает и 50 см. Кувшины-ловушки окрашены в яркие цвета: красные, матово-белые или бывают светло-зелеными с пурпурными пятнышками. Верхний край кувшина покрыт розовыми или лиловыми бороздками, между которыми выделяется сладкий душистый нектар, привлекающий насекомых, а также мелких зверьков и птиц. Но не всем удастся добраться к нектару – слишком крупная добыча непентесу не нужна. На вершине кувшина вокруг входного отверстия имеются острые и длинные волоски, направленные во все стороны и преграждающие путь внутрь ловушки организмам неподходящего размера. Насекомые же способны легко переползти с края кувшина на его внутреннюю стенку. В верхней части внутренней стенки кувшина располагаются железы, выделяющие воск. Причем верхний слой воскового слоя состоит из налегающих друг на друга мелких чешуек, которые прилипают к лапкам насекомого и, отрываясь от нижнего воскового слоя, заставляют насекомое, как на коньках, скользить вниз навстречу пищеварительным железам и вырабатываемому ими соку на дне кувшина. Считается, что эффективность переваривания белковых веществ насекомых у непентесов выше, чем у других насекомоядных растений: полное усвоение (ассимиляция) насекомого происходит за 5–8 ч. Кувшин непентеса напоминает желудок крупного животного: количество пищеварительной жидкости, собирающейся в нем, доходит до 1–2 л, а численность захваченных насекомых может одновременно превышать сотню. Таким образом, мы видим, что представители рода непентес в процессе эволюции и адаптации к условиям обитания приобрели достаточно сложные анатомические и физиологические черты, обеспечивающие им дополнительное питание

животного происхождения путем пассивного хищничества. Тем самым, они повысили свою конкурентоспособность в фитоценозе тропического леса.

По способу захвата пищевых объектов собирательство приближается к типичной *пасье* фитофагов. Специфика пастбищного типа питания состоит в поедании неподвижного корма, находящегося в относительном изобилии, на поиски которого не требуется прилагать много усилий. Так питаются стада копытных на лугу, листогрызущие гусеницы на ветвях дерева и др. Опыт наблюдений показывает, что между поведением типичных активных и пассивных хищников есть промежуточные варианты. Например, для некоторых насекомоядных птиц (стрижей, ласточек, мухоловок и др.) характерно охотничье поведение. Они подстерегают и затем нагоняют жертву, хотя при изобилии пищи выступают как типичные собиратели.

Отметим, что популяция жертвы может существовать без популяции хищника, но популяция хищника не может существовать без популяции жертвы. Увеличение численности жертвы расширяет ресурсную базу хищника, а увеличение численности хищника является элиминирующим фактором для жертвы. Поэтому взаимодействие «хищник–жертва» носит в большинстве случаев периодический характер. Устойчивость этой системы основана на *системе обратных связей*. Положительные обратные связи означают, что при увеличении численности жертвы возрастает численность хищника, а при уменьшении численности жертвы численность хищника уменьшается. Отрицательные обратные связи означают, что при увеличении численности хищника численность жертвы уменьшается, а при уменьшении численности хищника численность жертвы увеличивается. При наличии специализированных хищников (монофагов) связь между популяцией жертвы и популяцией хищника оказывается более тесной. Если же хищник менее специализирован (полифаг), то взаимозависимость между популяциями выражена слабее.

Последовательная передача вещества и энергии от растений, вырабатывающих первичное органическое вещество к растительноядным животным и хищникам, формируют так называемые *пищевые цепи*. Они бывают двух основных типов. *Пастбищные* пищевые цепи начинаются с растений и направлены к пасущимся фитофагам – травоядным, а затем к хищникам. *Детритные* цепи направлены от мёртвого органического вещества, например от ила на дне водоёмов, к потребителям ила (черви, личинки насекомых и др.) и к хищникам. В случае если вид имеет несколько пищевых объектов, формируются так называемые *пищевые сети*, которые могут быть весьма сложными, особенно в районах с достаточно высоким биоразнообразием. На рис. 7.7 представлена схема пищевых сетей атлантической сельди.

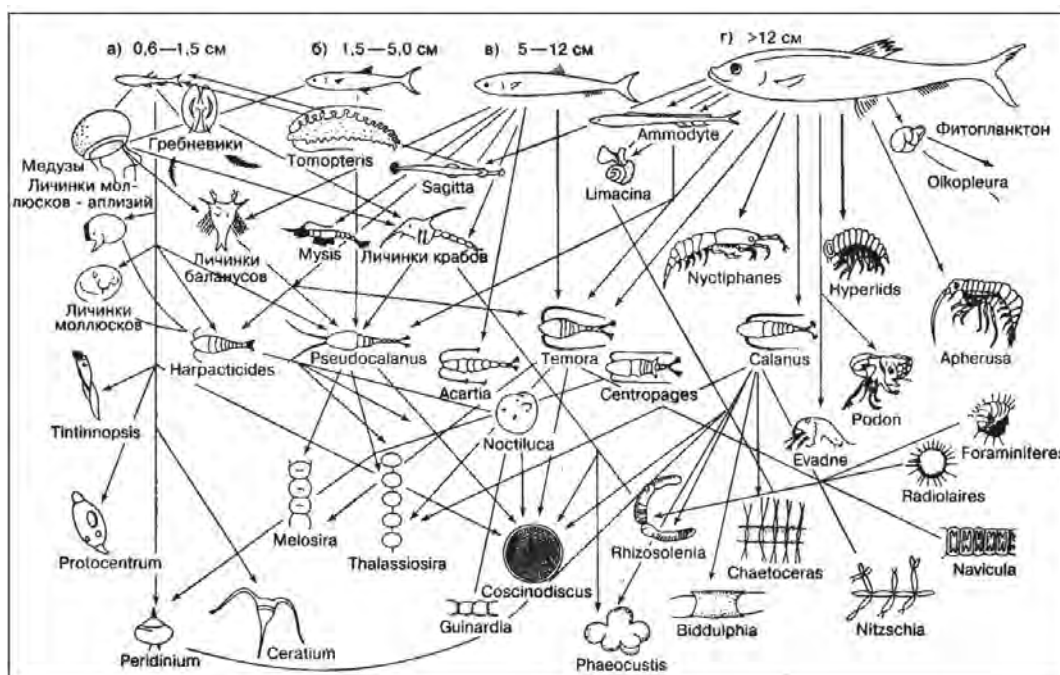


Рис. 7.7. Схема пищевых сетей атлантической сельди в зависимости от ее размера [Чернова, Былова, 2004]

7.3.2. Паразитизм

Паразитизмом называют такую форму связей между видами, при которой организм-потребитель использует живого хозяина не только как источник пищи, но и как место постоянного или временного обитания. Использование одними организмами других в качестве среды обитания – весьма древнее и широко распространенное в природе явление. Внутриклеточные сожители обнаружены у значительного числа одноклеточных эукариотических (т. е. имеющих сформированное ядро в составе клетки) видов организмов, таких как зелёные, красные и диатомовые водоросли, инфузории, радиолярии и др. Среди многоклеточных организмов практически не встречаются виды, лишённые сожителей. Размеры паразитов различны, они могут быть как значительно меньше своего хозяина (чаще всего), так и сопоставимые с ним размеры. Среди них есть мельчайшие, такие как низшие грибы и бактерии, и довольно крупные – ленточные черви, размер которых в теле млекопитающих может достигать нескольких метров. Поскольку хозяин обеспечивает паразиту не только пищу, но и микроклимат, защиту и т.п., то чем лучше приспособленность паразита к особенностям организма хозяина, тем вероятнее его успех в размножении и оставлении потомства.

Далее рассмотрим основные типы паразитизма.

Экзопаразитизм и *эндопаразитизм* – в первом случае паразит находится на поверхности тела хозяина, во втором случае – внутри тела хозяина. У эндопаразитов, как правило, происходит редукция пищеварительной и нервной системы. Потребление питательных веществ и кислорода происходит непосредственно через кожные покровы из тела хозяина.

Облигатный и *факультативный* паразитизм – в первом случае паразит может существовать внутри тела только одного вида хозяина или в группе близкородственных видов, во втором случае – способен к паразитированию на нескольких различных видах, достаточно легко меняя хозяев. Облигатные паразиты, как правило, не приводят к полной быстрой гибели своего хозяина, в то время как факультативные – более опасны. Например, гриб фитофтора инфестанс (*Phytophthora infestans*), принадлежащий к классу низших грибов, способен паразитировать как на картофеле, так и на томатах, и на других видах, приводя к полному разрушению их надземных побегов за срок от нескольких недель до нескольких месяцев. В переводе с латинского название данного гриба означат «пожиратель растений инфекционный». Такое название дал грибу-паразиту французский ботаник А. де Бари, впервые подробно описавший его жизненный цикл в середине XIX в. В это время по всей Европе, от Ирландии до Франции, Прибалтики и Санкт-Петербургского региона, прокатилась эпидемия фитофторы, вызвавшая гибель значительной части урожаев картофеля и томатов, голод и нищету во многих странах.

В роде фитофтора насчитывается около 70 видов широко распространенных по земному шару. Они встречаются почти во всех климатических зонах, но наиболее высокое их видовое разнообразие характерно для тропических и субтропических областей. Родиной гриба фитофтора инфестанс является Мексика. Все представители данного рода заражают растения через раны, механические повреждения, и, выделяя затем сильные токсины и пищеварительные ферменты, приводят к их скорой гибели, переходя на соседние особи. Поскольку фитофторные грибы способны питаться уже частично разрушенными тканями и даже растительными остатками, им почти безразличен вид растения-хозяина; они поражают все на своем пути. Фитофтора развивается внутри листьев картофеля межклеточную грибницу, отдельные гифы проникают непосредственно в живые клетки, образуя выросты в них (гаустории). Питаясь тканями листа, гриб вызывает образование темных пятен, которые во влажную погоду темнеют и загнивают. При сильном поражении отмирает весь лист (рис. 7.8). Сначала погибают нижние листья, потом болезнь захватывает все растение. После периода питания, на грибнице возникают органы размножения – выросты, несущие споры (спорангиеносцы). Они свешиваются с нижней стороны пораженных листьев, проникая наружу через естественные отверстия – устьица, и формируют бархатистый налет белого цвета. На концах спорангиеносцев формируются спорангии – коробочки со спорами, которые отрываются и разносятся ветром или

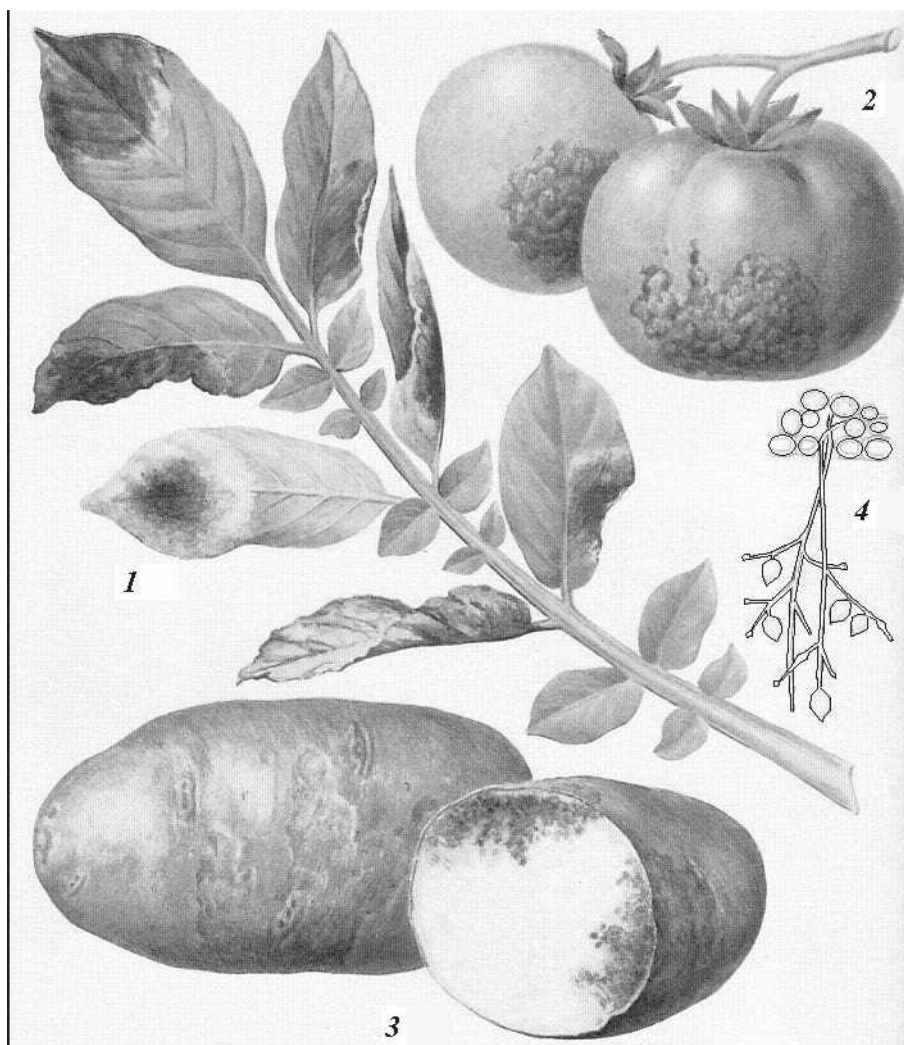


Рис. 7.8. Паразитизм фитофторы на картофеле и томатах: 1 – поражение листьев картофеля; 2 – поражение плодов томатов; 3 – поражение клубней картофеля; 4 – спорангиеносцы фитофторы со спорангиями

брызгами дождя. Затем, попадая в капли воды на поверхности листа картофеля, спорангии прорастают специальной ростковой трубкой, которая проникает в ткань листа. При наличии благоприятных условий (прохладная дождливая погода или сильные росы) время от заражения до образования нового спороношения составляет всего 3–4 дня. Болезнь способна стремительно захватить целые районы. Попадая на землю, спорангии проникают через верхние слои почвы и вызывают заражение формирующихся клубней.

Массовое заражение клубней происходит также в период уборки урожая, при соприкосновении пораженной ботвы с пораненными участками клубней. На них в дальнейшем болезнь проявляется в виде серых пятен, под которыми ткань клубня буреет, но не размягчается. Такие клубни не подлежат хранению и быстро сгнивают.

Поражение томатов может быть не менее сильным, чем картофеля. Гриб поражает листья и плоды, на которых возникают бурые пятна, ткани размягчаются, что делает плоды непригодными в пищу. Борьба с фитофторозом картофеля и томатов ведется в двух направлениях – химической защиты и выведением устойчивых сортов. Действенной мерой защиты является также полное изъятие всех клубней картофеля из земли на зараженном поле, т. к. фитофтора зимует именно в клубнях.

Переменный и *стационарный* паразитизм – в первом случае паразит нападает на хозяина только для питания, во втором случае – проводит на хозяине большую часть жизни.

Тесная связь паразита с хозяином приводит к реализации естественного отбора двоякого рода. Среди паразитов получают преимущественное развитие те виды, которые способны более полно и длительно использовать ресурсы хозяина, не приводя его к слишком

скорой гибели и обеспечивая тем самым себе длительное комфортное существование. В большинстве случаев паразиту выгодно длительно изнурять, но не губить хозяина. В свою очередь, отбор на сопротивляемость организма хозяева также приводит к тому, что вред от присутствия в нем паразита становится все менее и менее ощутимым. Защищённость от внешних врагов, обилие легкоусвояемой пищи, относительная стабильность условий обитания не требуют усложнения строения тел паразитов, поэтому многие виды внутренних паразитов на протяжении своего эволюционного пути претерпели даже вторичное упрощение, вплоть до потери целых систем органов. Основные экологические трудности, с которыми сталкиваются внутренние сожители живых организмов, – это ограниченность жизненного пространства для паразитов тканей, и в особенности для внутриклеточных паразитов, затруднения со снабжением кислородом, проблематичность распространения от одной особи хозяина к другим, а также защитные реакции организма-хозяина, направленные против своих паразитов. Ограниченность жизненного пространства приводит к выработке адаптаций, направленных на возможность распространения за счёт высокой плодовитости и выработке сложных жизненных циклов, иногда включающих несколько промежуточных хозяев. Круглые черви – аскариды – продуцируют до 250 тыс. яиц в сутки, а за весь период жизни самка в состоянии произвести до 50 млн яиц, масса которых в 1700 раз будет превышать массу ее собственного тела. Однако большинство яиц паразитов и их молодых особей погибает, не достигнув очередного хозяина или не выдержав негативного воздействия различных факторов внешней среды.

Низкая концентрация кислорода в организме-хозяине и его выраженный дефицит в отдельных тканях привели к тому, что у многих паразитов выработался *анаэробный*, т. е. бескислородный, тип обмена веществ. При этом энергия, необходимая для жизнедеятельности клеток, вырабатывается не в процессе кислородного дыхания, а путём различных видов брожения. В результате на некоторых паразитов кислород действует как сильный яд, что используется в медицинской практике. Однако целый ряд паразитов не утрачивает полностью способности к потреблению кислорода в процессе дыхания, и могут переключаться с анаэробного типа обмена на аэробный, например жгутиковые *Trichomonas*, эхинококк и др.

Сопротивление воздействию паразитов со стороны потенциальных организмов-хозяев получило название *активного иммунитета*. Здоровые особи растений и животных, как правило, обладают эффективными защитными механизмами, препятствующими проникновению в их организмы паразитов. Например, устойчивость хвойных деревьев к нашествию вредителей, таких как жуки-короеды, обеспечивается выделением смолы, которая содержит токсичные вещества для этих насекомых. У животных защитной реакцией является выработка в крови хозяина специфических белковых веществ, антител, подавляющих паразитов. Иммунный ответ стимулируется токсинами паразита и часто предохраняет хозяина от повторных заражений.

Для каждой ткани и органа организма-хозяина свойственны свои физико-химические особенности. Хозяин выступает для своих сожителей как многообразная среда обитания. Паразиты приспособлены к жизни в определённых тканях и органах, они приурочены к определённому физиологическому и возрастному состоянию организма. Например, в хвойном лесу с преобладанием сибирской лиственницы тонкоусый еловый усач паразитирует в основном в нижней части стволов деревьев до высоты не более 1 м, лиственничная златка расселяется до высоты 5 м, а вершину дерева и его ветви заселяет короед-гравёр.

Таким образом, организменные сожители, так же как и свободноживущие виды, обладают сложной системой приспособлений к своей среде обитания. Их строение и поведение отражают особенности этой среды.

Катастрофический вред от паразитов выражен в основном лишь в тех связях, которые еще не стабилизированы длительным ходом естественного отбора. Поэтому случайно завезенные вредители поражают сельскохозяйственные растения или животных часто намного сильнее, чем местные. Гибель хозяина как обязательное следствие паразитизма свойственно для поведения некоторых насекомых, откладывающих свои яйца в яйца или

в личинки других видов. Такие насекомые получили название *паразитоидов*. Гибель хозяина обусловлена малым запасом в нем питательных веществ, которых хватает только лишь на развитие одной или немногих личинок вида-потребителя.

При паразитизме во многих случаях наблюдается смена хозяев. Разным стадиям жизненного цикла паразитов часто соответствуют разные (обычно строго определенные) хозяева. Численность популяций при взаимодействиях «паразит–хозяин» также регулируется системой обратных связей. Но, в отличие от хищников, паразиты любого типа оказывают меньшее влияние на численность эксплуатируемой популяции, но зато сами паразиты вследствие специализации гораздо сильнее зависят от эксплуатируемой популяции, чем хищник от жертвы. Поэтому амплитуда колебаний численности паразита более тесно связана с амплитудой колебаний численности хозяина, но фазовый сдвиг значительно меньше, чем в системе «хищник–жертва». Подобные взаимодействия наблюдаются и при явлении *мимикрии*. Мимикрия основана на том, что незащищенный вид-имитатор подражает внешнему виду защищенного вида-модели (пример: внешнее сходство незащищенных бабочек-стекляниц и жалящих ос). Тогда можно считать, что незащищенный вид-имитатор «эксплуатирует» предостерегающую окраску защищенного вида-модели, т. е. ведет себя подобно информационному паразиту. В этом случае численность вида-имитатора должна быть значительно ниже численности вида-модели.

Главная экологическая роль хищничества и паразитизма, как основных вариантов пищевых связей в сообществах, состоит в том, что, последовательно питаясь друг другом, живые организмы создают условия для круговорота веществ, без которого невозможна жизнь. Кроме того, данные отношения обеспечивают взаимную регуляцию численности видов в биоценозах. В процессе эволюции первичные весьма острые отношения хозяина и паразита могут перейти в нейтральные, а затем даже преобразоваться во взаимовыгодную связь двух видов. Паразитизм связан всевозможными переходами с другими типами отношений.

7.3.3. Комменсализм и аменсализм

Комменсализм (от лат. *com* – вместе, *mensa* – трапеза) – такая форма взаимоотношений между видами, когда деятельность одного из них доставляет пищу или убежище другому виду (комменсалу). В данном случае один вид получает пользу от сожительства, а другому это безразлично. Это одностороннее использование одного вида другим без принесения ему вреда. Таковы, например, взаимоотношения львов и гиен, подбирающих остатки недоеденной львами добычи. В Арктике за белыми медведями следуют песцы, питаясь остатками их добычи. Рыбы-лоцманы сопровождают акул, дельфинов, двигаясь вместе с ними в слое воды, примыкающей непосредственно к поверхности тела этих животных, и не затрачивая поэтому усилий на такую большую скорость и питаясь остатками пищи и паразитами сопровождаемых животных.

Для некоторых организмов тела животных других видов или их местообитания (постройки) служат убежищами. Такой тип комменсализма называется *квартиранством*. Например, мальки рыб прячутся под зонтиками крупных медуз. Множество видов ракообразных, моллюсков и молодых особей рыб обитают внутри щелей и полостей коралловой колонии, что обеспечивает им гарантированную защиту от внешних хищников. Там же обитают и достаточно крупные местные хищники – морские угри мурены, использующие расщелины рифов в качестве убежища и засады при охоте. В гнездах птиц, норах грызунов живут членистоногие. Растения также используют другие виды как места обитания: эпифиты (водоросли, мхи, лишайники). Древесные растения служат им местом прикрепления. Питаются же эпифиты за счет отмирающих тканей, выделений хозяина и за счет фотосинтеза. В гнездах птиц, норах грызунов обитает огромное количество членистоногих, использующих микроклимат жилищ и находящих там пищу за счет разлагающихся остатков или других видов сожителей. Многие виды вне нор не встречаются совсем.

Отношения типа комменсализма очень важны в природе, способствуя более тесному сожительству видов, более полному освоению среды и использованию пищевых ресурсов.

Об *аменсализме* говорят в тех случаях, когда один вид, называемый аменсалом, испытывает угнетение, а второй вид, называемый ингибитором, таким испытаниям не подвергается. Аменсализм известен только у растений, грибов и бактерий. Например, светолюбивые травянистые виды, произрастающие под елью или дубом, всегда испытывают угнетение в результате затенения, тогда как для взрослого дерева их соседство практически безразлично. Нельзя сказать, что дерево специально угнетает травянистые растения, формируя для них условия затенения. Однако последствия недостаточности освещения для нормального течения процесса фотосинтеза, приводящие к сокращению плотности травянистого покрова в лесном сообществе, в определенной мере все-таки выгодны дереву – исчезновение трав позволяет потреблять дополнительные количества питательных веществ из почвы, которые ранее перехватывались травянистыми растениями. Кроме того, семена дерева в отсутствие конкурентов на почвенном слое могут лучше прорасти. Но с другой стороны, крона материнского дерева, приводит к затенению и собственного подроста.

Благодаря токсическим выделениям своих корней растение ястребинка (семейство сложноцветные – *Asteraceae*) вытесняет другие однолетние растения и образует чистые заросли на довольно больших площадях. Достаточно распространен аменсализм у грибов. Именно такими межвидовыми отношениями мы обязаны открытием первого антибиотика пенициллина. Низшие грибы вырабатывают антибиотики – вещества, тормозящие рост бактерий. Именно эти вещества, которые вырабатывают грибы-ингибиторы, и взяла на вооружение медицина.

7.3.4. Конкуренция

Конкуренция – это взаимоотношения видов со сходными экологическими требованиями к ресурсам среды обитания, что выражается в непрерывной борьбе за возможность их использования. Когда такие виды обитают совместно, каждый из них находится в невыгодном положении, так как присутствие другого уменьшает возможности овладения пищей, пространством (убежищами) и прочими ресурсами, имеющимися в данном местообитании. Конкуренция – единственная форма межвидовых контактов, приводящая к угнетению обоих взаимодействующих видов.

Существует несколько типов конкуренции. *Прямая (интерференционная)* конкуренция возникает при непосредственном контакте конкурирующих организмов. *Косвенная (эксплуатационная)* конкуренция возникает в результате уменьшения объема доступного ресурса. В сообществах конкурентные отношения существуют одновременно между несколькими видами. Тогда возникает *диффузная* конкуренция, которая обусловлена влиянием на популяцию всех видов, входящих в состав сообщества.

Чем больше сходства у взаимодействующих видов по своим требованиям к среде, тем острее между ними конкуренция. Борьба не может происходить непрерывно длительное время. Один из видов всегда вытесняет другого из сообщества. Это одно из наиболее общих экологических правил, которое получило название *закона конкурентного исключения* и было сформулировано отечественным исследователем Г.Ф. Гаузе в 1930-х годах. В упрощенной формулировке оно звучит следующим образом: «два конкурирующих вида вместе не уживаются».

В своих опытах Г.Ф. Гаузе производил исследование взаимодействия между двумя видами простейших – инфузориями туфельками *Paramecium aurelia* и *P. caudatum*. Каждый из видов, помещенный отдельно в пробирки с сенным настоем, успешно размножался, достигая определенного уровня численности. Если же оба вида со сходным характером питания помещали совместно, то вначале наблюдался рост численности каждого из них, но затем количество *P. caudatum* постепенно сокращалось, и они исчезали из

настоя, тогда как количество *P. aurelia* оставалось на прежнем уровне. Несовместимость конкурирующих видов еще раньше была подчеркнута Ч. Дарвином, который считал конкуренцию одной из важнейших составных частей борьбы за существование, играющей большую роль в эволюции видов.

Победителем в конкурентной борьбе оказывается, как правило, тот вид, который в данной экологической обстановке имеет хотя бы некоторые преимущества перед другим, т. е. больше приспособлен к условиям окружающей среды. Например, у растений подавление конкурентов происходит в результате перехвата минеральных питательных веществ и почвенной влаги корневой системой и солнечного света – листьями. Например, в смешанных посевах двух видов клевера *Trifolium repens* раньше образует полог листьев, но затем его начинает затенять *T. fragiferum*, у которого более длинные черешки.

У растений и некоторых животных можно наблюдать также химические межвидовые взаимодействия, влияющие на конкурентную борьбу, которые получили название «аллелопатия». В опытах Г.Ф. Гаузе подавление конкурента происходило в основном в результате накопления в среде токсичных продуктов обмена, к которым один из видов оказался более чувствителен. Высшие растения с низкой потребностью в азоте способны первыми появиться на бедных органикой почвах. Своими корневыми выделениями они подавляют активность свободноживущих азотфиксирующих бактерий и образование их колоний (клубеньков) на корнях представителей семейства бобовые. В результате предотвращается обогащение почвы азотом, и нетребовательные к его концентрации растения будут продолжать сохранять доминирование на занятом участке. Рогоз в зарастающих водоемах аллелопатически активен по отношению к другим водным растениям, что позволяет ему, избегая конкуренции, формировать крупные одновидовые заросли.

Возможность конкурентного вытеснения одного вида другим является результатом экологической индивидуальности видов. В стабильных условиях они будут обладать различной конкурентоспособностью, так как обязательно найдется какое-либо отличие друг от друга по чувствительности в отношении того или иного фактора среды. Но природные условия в большинстве регионов весьма изменчивы, это касается, прежде всего, погодно-климатических особенностей и связанных с ними гидрохимических и физических процессов в водоемах, в почвенном слое. Если погодные условия достаточно стабильно меняются в пользу то одного, то другого вида, начинающиеся процессы конкурентного исключения не могут дойти до конца и могут даже привести к доминированию прежде угнетенного вида. Кроме того, виды, конкурирующие не за один, а за несколько необходимых ресурсов, обладают различными значениями ограничивающих факторов, что также мешает завершению конкурентной борьбы. Например, американский эколог Д. Тилман, культивируя совместно два вида диатомовых водорослей, выяснил, что они не вытесняют друг друга, потому что имеют разную чувствительность к недостатку азота и кремния. Вид, способный по скорости размножения опередить другой при низком содержании азота, не в состоянии этого достичь при недостатке для него кремния. Но для его конкурента, наоборот, достаточно кремния, но слишком мало азота.

Таким образом, из-за сложности межвидовых отношений и неоднородности параметров абиотической среды каждый конкретный вид может преуспеть далеко не везде, где складываются для него подходящие (оптимальные) условия. Поэтому различают физиологический и биоценологический оптимумы видов. Физиологический оптимум – это благоприятное для вида сочетание всех абиотических факторов, при котором возможны самые быстрые темпы его роста и размножения. В данном случае вид не испытывает существенного конкурентного воздействия (монокультура). Биоценологический оптимум – это такое биотическое окружение, при котором вид испытывает наименьшее давление со стороны врагов и конкурентов, что позволяет ему относительно успешно размножаться. Физиологический и биоценологический оптимумы, как правило, не совпадают (рис. 7.9). Если в подходящем местообитании ресурсы уже используются более сильным конкурентом, или весьма велико влияние хищников и паразитов, то более слабый вид в нем не приживется.



Рис. 7.9. Зависимости скорости роста растений от величины рН при выращивании в монокультуре и в условиях межвидовой конкуренции [по В.Лахтеру, 1978]: 1 – кривые физиологического оптимума в монокультуре; 2 – кривые биоценотического оптимума

Как видно из рис. 7.9, у трех видов травянистых растений, широко распространенных в Северной и Центральной Европе, наблюдаются значительные изменения в отношении оптимума обитания применительно к кислотности почвы в зависимости от того, выращивались ли они в монокультуре или обитали в естественном биоценозе. Заметно, что у всех трех видов растений в условиях биоценоза наблюдаются снижение степени роста по отношению к монокультуре. У щучки оптимум жизнедеятельности сдвигается в сторону более кислой почвы; у мать-и-мачехи – физиологический и биоценотический оптимум сдвинут в сторону почвы со щелочной реакцией, но в условиях биоценоза оптимум жизнедеятельности становится более узким. Весьма заметны изменения в степени роста и требованиях к рН у лесной травы толокнянки. Возможность роста в условиях биоценоза у нее снижается не менее чем в два раза, а единый оптимум в районе близком к нейтральной почвенной среде при жизни в сообществе расщепляется на два оптимума – вблизи кислой и щелочной реакции почвы. Очевидно, это является результатом напряженной межвидовой конкурентной борьбы, в результате которой произошло значительное увеличение эврибионтности вида с возможностью обитать на почвах различного типа. В дальнейшем это может привести к формированию новых подвидов толокнянки, каждый из которых будет обитать преимущественно на слабокислых или слабощелочных почвах. Тем самым, значительно повышается конкурентоспособность вида и возможности его длительного существования в сообществе.

7.3.5. Мутуализм

В природе достаточно широко распространены взаимовыгодные отношения между видами, называемые мутуализмом (от англ. *mutual* – взаимный, обоюдный). Мутуалистическим отношениям может предшествовать паразитизм или комменсализм. Выделяется два основных типа взаимно положительных контактов – сотрудничество и симбиоз. При *сотрудничестве* популяции обоих контактирующих видов оказывают положительное влияние друг на друга, но вполне могут жить и по отдельности. Но это взаимовыгодное сотрудничество видов является необязательным для их нормальной жизнедеятельности, поскольку оба вида-партнера могут существовать и друг без друга. В случае *симбиоза* каждый из видов оказывает друг на друга очень выраженное положительное влияние. Присутствие одного из партнёров может стать обязательным условием для жизни каждого из них. Взаимодействующие виды абсолютно необходимы друг другу и могут составлять единый организм.

Рассмотрим мутуалистические типы межвидовых взаимодействий на примерах.

Большинство цветковых растений находятся в сотрудничестве с насекомыми-опылителями, мелкими птицами и млекопитающими, так как это значительно повышает эффективность их воспроизводства. Опылители, со своей стороны, заинтересованы в нектаре и пыльце, служащих им пищей. Перекрестное оплодотворение дает растениям преимущества по сравнению с самоопылением. В то же время пыльца, попавшая на цветы

других видов, потрачена зря. Отбор будет благоприятствовать установлению прочной связи между конкретным опылителем и определенным видом растений. Действительно, в процессе эволюции сформировались удивительно тонкие и совершенные взаимные приспособления цветка и опыляющего его животного. Например, мелкое древесное млекопитающее поссум-медоед питается пыльцой, нектаром и мелкими насекомыми. Его язык представляет собой своеобразную кисть для сбора пыльцы, а удлиненная в виде хоботка морда служит трубкой для втягивания нектара. Цепкие лапы и хватательный хвост помогают медоеду удерживаться на цветах. Прекрасно развитая мускулатура обеспечивает крошечной птичке колибри маневренный полет; чтобы достать нектар, птица может буквально зависать перед цветком. Длинный и тонкий клюв, вытянутый в трубочку язык с кисточкой на конце позволяют добраться до нектара, спрятанного в глубоких венчиках.

К одному из наиболее удивительных проявлений сотрудничества относятся взаимоотношения между разными видами тропических муравьев и растениями, на которых они обитают. В умеренных широтах примеров подобного содружества не много, но в тропиках растения находящиеся в сотрудничестве с муравьями весьма многочисленны и разнообразны. Они могут относиться к разным систематическим группам, но по экологическому признаку их часто объединяют под общим названием «муравьиные деревья». Своим жильцам эти растения предоставляют питание и жилище. А муравьи, в свою очередь, не только собирают с них различных насекомых-вредителей, но и надежнее самых острых и многочисленных колючек защищают от растительноядных млекопитающих. Наиболее простой пример подобной кооперации – взаимоотношения между некоторыми южноамериканскими муравьями и растениями из порядка бромелиевых (*Bromeliales*).

В пойменных лесах Амазонки и ее притоков уровень паводковых вод часто поднимается на несколько метров, так что муравьи просто не могут жить на земле и им приходится создавать себе убежища на «верхних этажах» тропического леса. Пока паводка нет, муравьи старательно перетаскивают на стволы кусочки почвы, которые склеивают специальными выделениями, создавая прочную основу гнезда. Вместе с почвой муравьи приносят наверх и семена различных растений, в том числе бромелиевых, которые в сооружаемом подвесном гнезде находят для себя благоприятные условия и быстро прорастают. Интересно, что корни их при этом не разрушают, а, наоборот, скрепляют гнездо. Более того, корни бромелиевых охватывают ствол дерева-хозяина прочным кольцом, создавая для муравьиного дома дополнительный каркас. Надо заметить, что подобный симбиоз не является привилегией бромелиевых – таким образом могут развиваться и другие тропические эпифиты, которые часто называют «муравьиными эпифитами». Получающиеся же в результате их роста сооружения носят красивое название «висячих муравьиных садов».

Еще одним примером сотрудничества между растениями и муравьями на берегах Амазонки можно найти там, где растут многочисленные деревья из семейства меластомовых (*Melastomataceae*). На верхней поверхности листьев многих видов этих деревьев, на их листовых черешках или на стебле под черешком можно увидеть крупные вздутия – двойные, разделенные продольной перегородкой пузыри, открывающиеся наружу небольшими отверстиями. В этих полых вздутиях, получивших название формикариев (от лат. *Formica* – муравей), поселяются мелкие, но весьма больно кусающиеся муравьи, которые в благодарность за предоставленный дом охраняют растение от различных вредителей, а главное – от муравьев-листорезов, способных для своих «сельскохозяйственных» нужд за короткий срок полностью лишиться листьев большое дерево. Местные жители также избегают прикасаться к растениям, носящим на себе «муравьиные сумки», так как стоит лишь слегка потрясти их, как возмущенные насекомые выбираются из своих убежищ и атакуют нарушителей спокойствия.

Весьма интересные домики-приюты дает муравьям другая лиана из семейства ластовневых – дисхидия Раффлеза (*Dischidia rafflesiana*), произрастающая в Юго-Восточной Азии. Эта лиана обычно несет листья двух типов: мясистые округлые и видоизмененные в своеобразные мешочки или кувшинчики, образованные завернутыми на нижнюю сторону и сросшимися по краю листовыми пластинками. У обращенного кверху

основания такого листа имеется довольно широкое отверстие, окаймленное валиком, в которое входит сильно разветвленный воздушный корень. Этот корень всасывает воду, попадающую в кувшинчик, а также служит отличной лестницей для муравьев, часто поселяющихся в этих забавных природных палатках.

Примером сотрудничества в водной среде может являться союз между мальками некоторых тресковых, ставридовых рыб и крупными медузами, под куполом которых они держатся, странствуя под их защитой из стрекательных клеток. Небольшая рыбка номей (*Nomeus albulus*) всю жизнь проводит под защитой жгучих щупалец сифонофоры-физалии, распространяясь вместе с ней на огромных пространствах тропической области Мирового океана. Ярко окрашенная рыбка амфиприон живет вместе с большими актиниями, безнаказанно суетаясь в чаще усаженных ядовитыми стрекательными клетками щупалец и прячась от врагов в полости актинии. Наконец, некоторые скорпеновые, ядовитая бородавчатка, некоторые агониевые рыбы несут на себе целые заросли гидроидов, помогающих им маскироваться на дне.

В мантийную полость крупных пресноводных двустворчатых моллюсков-беззубок откладывают икру горчаки. Под надежной защитой длинных игл морских ежей диадем (между ними) держатся головой вниз, вертикально, маленькие ножебрюхие рыбки – кривохвостки (эолиски). Замечателен симбиоз с крабом слепого бычка тифлогобиуса, который живет вместе с крабом в открытых хозяином норах и питается остатками приносимой им пищи. Некоторые креветки сами обслуживают крупных рыб коралловых рифов – губанов, рифовых окуней: они безбоязненно приближаются к этим рыбам, выедавая с их тел рачков-паразитов. Это креветки-чистильщики, и очищаемые рыбы подставляют им поверхности своего тела для очистки, не покушаясь на своих «санитаров». Такую же роль санитаров, выедающих рачков – эктопаразитов с жабр и кожи крупных рыб коралловых рифов, играют и некоторые мелкие губаны и бычки. Тело этих рыбок украшено двумя яркими темно-синими или черными полосами на боках, и крупные рифовые окуни отличают их от других рыб, приоткрывают им жабры и раскрывают рот, обеспечивая наилучший поиск и выедание паразитов. Известно сотрудничество рыбы-лоцмана с акулами, которых она обычно сопровождает, также использование рыбами-прилипалами гигантских скатов-рогачей, марлинов, черепах, дельфинов и китов в качестве удобных средств транспорта.

Широко известным и хорошо изученным примером симбиотического союза являются лишайники, представляющие собой союз гриба и водоросли. Всего в природе обнаружено более 20 000 видов этих удивительных организмов, они распространены во всех природных зонах, от Арктики и Антарктики до влажных тропиков, где формируется максимум их видового разнообразия. В лесах Северо-Запада России их насчитывается более 150 видов. В состав лишайников входят представители трех классов грибов – аскомицетов, базидиомицетов и фикомицетов. В свободном состоянии лишайниковые виды грибов, по-видимому, сейчас не встречаются в природе. Среди водорослей в составе лишайника обнаружены представители 28 родов из отделов сине-зеленых, желто-зеленых, зеленых и бурых. Однако многие из них могут жить и самостоятельно.

Тело лишайника, которое называется слоевищем, или талломом, на корень, стебель, и листья не подразделено. По внешнему строению лишайники подразделяются на три основные группы. Если слоевище плотно прилегает к субстрату, которым может быть не только почва, но и любая устойчивая поверхность – скальные породы, стволы деревьев, бетонные опоры линий электропередач и т.п. в виде зернистого или пылистого налета либо в виде чешуек и корочек разной формы, то такие лишайники называются *накитными*. Именно они формируют причудливый рисунок на крупных валунах, часто напоминающий географические карты (ризокарпон географический и др.). Если слоевище лишайника имеет вид более или менее расчлененных пластинок (лопастей), они называются *листоватыми* (пельтигера многопалая и др.). Наконец, лишайники, имеющие вид небольших кустиков, состоящих из прямостоячих в разной степени разветвленных столбиков, называются *кустистыми* (цетрария исландская и др.). Не обладая корневой системой, лишайники довольно прочно прикрепляются к субстрату специальными

выростами, расположенными на нижней стороне слоевища. Изучение срезов тканей лишайников под микроскопом показывает, что внутреннее строение этих организмов также неодинаково. Наиболее просто устроены накипные лишайники, у которых клетки водорослей равномерно распределены между грибными нитями (гифами) по всему объему слоевища. Такие лишайники называют *гомеомерными*. Талломы более высокоорганизованных листоватых и кустистых лишайников имеют несколько специализированных по функциям слоев клеток (рис. 7.10). Снаружи располагается защитный коровый слой, состоящий из плотного сцепления грибных гиф и часто окрашенный в серый, коричневый, бурый, желтый или оранжевый цвета (ксантория настенная и др.). Под верхним коровым слоем размещается зона водорослей. Именно здесь располагаются водорослевые клетки в виде тонкого, но упорядоченного слоя, что обеспечивает лучшую фотосинтетическую деятельность по сравнению с гомеомерными лишайниками. Все клетки водорослей равномерно освещаются через коровый слой. Ниже зоны водорослей располагается *сердцевина* лишайника. Это самый толстый слой, определяющий толщину всего лишайникового таллома. Бесцветные грибные гифы сердцевины лежат рыхло, между ними остается свободное воздушное пространство. Это обеспечивает достаточный доступ внутрь слоевища углекислого газа и кислорода, которые необходимы лишайнику для фотосинтеза и дыхания. Снизу слоевище лишайника, как правило, защищено нижним коровым слоем с расположенными в нем органами прикрепления к субстрату. Такие лишайники называют *гетеромерными*.

Симбиотический союз лишайника возник, по-видимому, из паразитизма гриба на водорослевых клетках. Гифы гриба, оплетая клетки водорослей, образуют специальные всасывающие отростки – гаустории, проникающие внутрь клетки. Через них гриб от водоросли получает вещества, вырабатываемые в процессе фотосинтеза. От гриба водоросли получают механическую внешнюю защиту, воду и минеральные вещества. Гриб в большинстве случаев постепенно убивает клетки водорослей, а затем использует их остатки, переходя к питанию мертвой органикой. Однако степень паразитизма гриба вполне умеренная. В лишайниках всегда только часть водорослевых клеток поражена грибными гифами, остальные же продолжают успешно расти и осуществлять выработку первичного органического вещества в процессе фотосинтеза. Установлено также, что грибные гифы внедряются только в зрелые клетки водорослей. Данные особенности

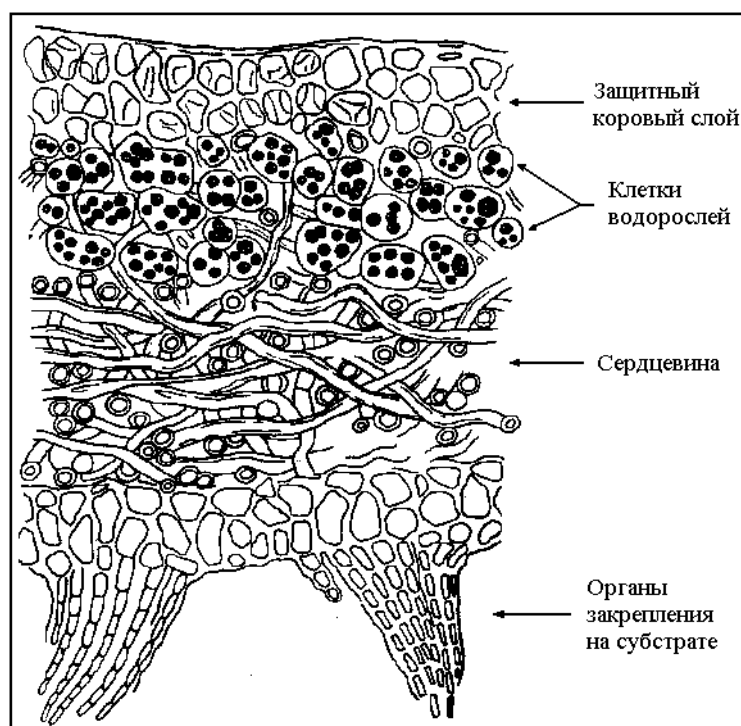


Рис. 7.10. Строение гетеромерного лишайника

можно рассматривать в качестве адаптаций обеспечивающих контролируемое размножение водорослевых компонентов внутри лишайника. Именно наличие фотосинтетического компонента в составе лишайников столь значительно расширяет границы их обитания по всему миру, так как дает возможность иметь при наличии жидкой воды автономный источник питательных веществ.

Другим весьма интересным и широко распространенным примером симбиотического союза являются коралловые рифообразующие полипы – кишечнополостные животные и живущие в их телах водоросли. Коралловые колонии составляют основу тропического зонального биома Мирового океана. Долгое время природа этих существ оставалась непознанной и загадочной. По внешнему облику вначале их относили к растениям. Согласно классификации живой природы знаменитого шведского биолога Карла Линнея, который к середине XVIII в. подготовил несколько изданий своего классического каталога известных видов «Системы природы», кораллы включались в специальный отряд *Lithophyta*, что значит «камни-растения». Но в 1752 г. французский натуралист В. Пейсонель, применив для изучения живых кораллов микроскоп, обнаружил у них способность произвольно шевелить щупальцами, что доказывало их животную природу. Тем не менее, сведений о биологии кораллов все еще крайне не хватало. Было не известно, каким путем происходит их питание. Некоторые ученые считали их хищниками, выдвигалась также гипотеза об их фильтрационном типе питания. Прямыми наблюдениями за коралловыми полипами в начале XX в. было установлено, что, подобно другим прикрепленным обитателям дна моря, кораллы используют ту пищу, которую приносят им течения – различный зоопланктон. Оказалось, что кораллы способны также извлекать из морской воды и бактерий, составляющих существенную часть их рациона. Когда же более крупный организм встречается с полипом (например, мальки рыб), он убивает ее своими стрекательными клетками, находящимися на концах щупалец. Затем с помощью щупалец добыча подтягивается к ротовому отверстию. Кожный покров ротового диска полипа имеет множество мельчайших ресничек. Благодаря их непрерывным колебательным движениям не переваренные остатки и случайно попавшие посторонние частицы выносятся к краям ротового диска и выбрасываются. Таким образом, кораллы хорошо приспособились к питанию планктоном, но данный пищевой ресурс в достаточном количестве имеется далеко не везде, и не всегда может полностью удовлетворить их пищевые потребности. Наиболее богатые планктоном районы Мирового океана лежат за пределами распространения коралловых рифов, в более холодных областях, а важнейшие биогенные вещества – соединения азота и фосфора – накапливаются в основном в глубинных слоях, где кораллы не встречаются. Тем не менее, чрезвычайно богатые различными видами коралловые сообщества процветают, формируя весьма значительную биологическую продуктивность. Как им это удастся? Рифообразующие кораллы в процессе своей эволюции смогли найти еще один источник питания. Этим незаменимым источником являются симбиотические водоросли, обитающие непосредственно в живых, проницаемых для света тканях коралла. В настоящее время установлено, что симбиотические водоросли кораллов принадлежат к древней достаточно примитивной группе пиррофитовых водорослей (*Pyrrophyta*). Наиболее часто встречаемым видом является симбиодииум микроадриатикум (*Symbiodinium microadriaticum*). Симбиодииум не встречается в свободноживущем состоянии, но этот вид водорослей способен вступать в симбиоз со многими беспозвоночными морскими животными, среди которых кроме рифообразующих мадрепоровых кораллов, мягкие кораллы, губки, моллюски и простейшие. Количество симбионтов в теле коралла весьма велико: на каждый квадратный сантиметр поверхности полипа приходится около 1 млн водорослевых клеток. Проникновение симбиодииума в организм коралла происходит еще на этапе формирования молодых выпочкующихся полипов. При половом размножении кораллов водоросли проникают в развивающиеся яйцеклетки. Формирующаяся после их оплодотворения плавающая личинка, достигающая не более 1 мм в длину, уже несет в себе около 7500 симбиодииума.

Степень зависимости хозяина от своих симбионтов может быть различной. Например, мягкие кораллы – актинии – вполне успешно уживаются с проникшими в них

водорослями, но могут обходиться и без них. Существование же твердых кораллов-рифообразователей без симбиотических водорослей невозможно. В процессе проведения серии экспериментов было выявлено, что кораллы способны поглощать до 60 % органических веществ, синтезированных в процессе фотосинтеза живущими в них водорослями. Кроме того, симбиодиниумы поставляют своему партнеру дополнительный кислород, количество которого в теплых водах тропиков относительно не велико. Имеются также данные о том, что деятельность водорослевых симбионтов помогает росту минерального скелета коралловой колонии. Сожительство с кораллами дает несколько важных преимуществ и водорослям. В результате дыхания в тканях коралла образуется углекислый газ, который в светлое время суток быстро потребляется в процессе фотосинтеза. Водоросли в процессе синтеза белков утилизируют азот и фосфор, входящий в состав продуктов выделения кораллов. Этим достигается почти замкнутость цикла обмена веществ в симбиотическом союзе. Наконец, находясь в тканях коралла, симбиодиниумы защищены от множества растительноядных животных. Таким образом, можно полагать, что описанный симбиотический союз лежит в основе благополучного существования значительной части донных биоценозов тропической части Мирового океана.

Весьма интересен симбиоз некоторых рыб со светящимися бактериями: светящиеся бактерии обитают в специальных кожных карманах или каналах под кожей рыб. Такой симбиоз наблюдается у моровых рыб и долгохвостов (из трескообразных рыб), у серебришек, моноцентровых (рыбы – еловые шишки), фонареглазых (*Anomalopidae*), акропомовых рыб, а также у мешкоротов, глубоководных удильщиков и некоторых других рыб. Имеются даже определенные виды светящихся бактерий, живущих только в телах рыбах-хозяевах, которым они, несомненно, полезны. Симбиоз с микроорганизмами может заходить так далеко, что колонии симбиотических бактерий можно рассматривать как специализированные органы многоклеточных. Таковы, например, особые образования мешковидной формы – мицетомы каракатиц и некоторых кальмаров, наполненные светящимися бактериями и входящие в состав органов свечения – фотофоров.

Не менее 80 % цветковых растений находится в тесном взаимовыгодном сотрудничестве с почвенными грибами. Грибные гифы, оплетая концы корней деревьев и кустарников, становятся продолжением их корневой системы и позволяют тем самым лучше извлекать биогенные вещества. Такой симбиотический союз носит название *микориза*. Известен симбиоз между растениями из семейства бобовые с бактериями *Rhizobium*, способными фиксировать молекулярный азот из воздуха. Симбионты-азотфиксаторы обнаружены на корнях около 200 видов других групп покрытосеменных и голосеменных растений.

Практически все млекопитающие, включая человека, имеют в пищеварительной системе различных симбиотических бактерий и жгутиковых простейших, которые вырабатывают важные пищеварительные ферменты, помогают усвоению растительной клетчатки и других компонентов. Аналогичные симбионты обнаружены также у насекомых (термитов, муравьев, клещей и др.).

В целом, большинство симбиотических отношений являются результатом длительного процесса эволюционной адаптации взаимодействующих видов, в процессе которой антагонистические отношения хищничества и паразитизма сменились взаимовыгодными.

7.3.6. Топические, форические и фабрические связи в биоценозе

Кроме рассмотренных выше типов связей между организмами в сообществах, натурные исследования позволяют выделить еще несколько их типов, имеющих определенные аналогии с представленной выше классификацией.

Топические связи характеризуют любое химическое или физическое изменение условий обитания одного вида в результате жизнедеятельности другого. Эти связи весьма разнообразны и заключаются в создании одним видом элементов среды обитания для другого (паразитизм), в формировании особого субстрата, во влиянии на движение воды,

воздуха, формы своего тела или целой колонии, изменении освещенности и температуры среды, в насыщении среды продуктами своей жизнедеятельности и т.п. Например, морские желуди поселяются на коже китов, мхи и лишайники располагаются на коре деревьев. Особенно большая роль в создании или изменении среды для других организмов на суше принадлежит растениям. Растительный покров является мощным фактором энергообмена и перераспределения тепла у поверхности Земли, что приводит к созданию локальных микроклиматических условий. Под пологом леса молодые деревья, кустарники и травянистые растения находятся в условиях меньших амплитуд колебаний температур воздуха, более высокой влажности, сниженного освещения. На основе топических связей в биоценозе формируются *консорции* (сочетания) – группы разнородных организмов, поселяющихся на теле или в теле особи определенного вида, составляющего центр консорции. Консорции формируются практически вокруг представителей любого вида, способного оказывать средообразующее воздействие на другие виды. Так, крупное лиственное или хвойное дерево представляет собой консорцию, в состав которой входят множество взаимосвязанных с ним видов, среди которых микоризные грибы, лишайники и мхи, насекомые, птицы, древесные млекопитающие, растения нижних ярусов подверженных затенению. Крупный многоклеточный животный организм также может представлять собой консорцию, с учетом взаимосвязанных с ним комменсалов и паразитов. Консорции, в основе которых лежат топические отношения, формируют своеобразную блочную структуру биоценоза. Это позволяет организмам различных видов и форм удерживаться друг возле друга, что обеспечивает их объединения в устойчивые сообщества различных масштабов.

Форические связи создаются, если один вид участвует в распространении, расселении другого. В этой роли обычно выступают животные, переносящие семена, споры, пыльцу растений. Перенос осуществляется обычно с помощью специальных разнообразных приспособлений. Так, обладающие цепляющимися шипами семена лопуха или череды могут захватываться шерстью крупных млекопитающих и переноситься на большие расстояния. Животные могут захватывать семена растений двумя способами: пассивным и активным. Пассивный захват происходит при случайном соприкосновении тела животного с растением, семена или плоды которого обладают специальными зацепками. Активный способ захвата предполагает поедание плодов и ягод, не поддающихся перевариванию. Установлено, что в переносе спор грибов значительную роль играют насекомые. Возможно, плодовые тела грибов возникли как специальные органы привлекающие насекомых-расселителей.

Фабрические связи – тип отношений, при которых особи одного вида используют для своих сооружений продукты выделения, мертвые остатки, либо даже живых особей другого вида. Например, птицы строят гнезда из сухих веточек, шерсти млекопитающих, травы и т.п. Личинки ручейников для строительства своих домиков используют кусочки коры, песчинки, обломки раковин или же сами раковины с живыми моллюсками мелких видов. Пчела-мегахила помещает свои яйца в стаканчики, изготавливаемые из мягких листьев различных кустарников (сирени, шиповника, акации и др.).

Таким образом, мы видим, что связи между видами в сообществе могут быть самыми разнообразными – прямыми и косвенными. В целом, чем разнообразнее и прочнее связи, поддерживающие совместное обитание видов, тем устойчивее будет биоценоз. Под устойчивостью биоценоза понимается его способность длительное время поддерживать свою структуру и вещественно-энергетические потоки на наиболее оптимальном для большинства видов уровне, за счёт внутренних механизмов компенсирующих возникающие отклонения. Биотические сообщества, имеющие длительную историю своего развития, значительно прочнее, чем те, которые возникли недавно в результате различных нарушений природной среды, таких как пожары, наводнения, оползни и т.д. Наличие большого количества устойчивых межвидовых контактов, и в особенности связей питания и симбиотических отношений, повышает устойчивость всего биоценоза в целом и увеличивает его конкурентоспособность среди соседних сообществ. Это является основой длительности его существования как части биосферы Земли.

7.4. Понятие об экологической нише

Живые существа – как растения, так и животные – многочисленны и разнообразны. Нет никакого сомнения, что это разнообразие и численность организмов определяются факторами среды обитания. Таким образом, каждый вид занимает строго отведенное ему место в географическом пространстве с конкретным набором физических и химических параметров. Однако положение вида зависит не только от абиотических экологических факторов, но и от связей данного организма с другими организмами как в пределах своего вида, так и с представителями других видов. Волк не будет обитать на тех географических пространствах, даже если набор абиотических факторов весьма для него приемлем, если здесь не будет для него пищевого ресурса. Следовательно, место, которое занимает вид в конкретной среде обитания, должно быть обусловлено не только территорией, но и быть связанным с потребностью в пище и функцией воспроизводства. Каждый из видов, равно как и конкретный организм, в сообществе (биоценозе) имеет свое собственное время пребывания и свое место, которые и отличают его от других видов.

Экологической нишей называется положение вида, которое он занимает в биоценозе, с учетом его пространственного нахождения, особенностей взаимодействия с другими видами, а также специфики адаптаций к абиотическим факторам среды.

Меткое сравнительное определение экологической ниши и среды дали французские экологи Р. Виберт и К. Лаглер: «среда – это адрес, по которому проживает данный организм, тогда как экологическая ниша дополнительно указывает на род его занятий на этом месте, его профессию». Некоторые экологи более охотно употребляют термин «местообитание», который является почти синонимом «среде обитания», и оба понятия часто перекрывают друг друга, но будем помнить, что «среда обитания» обозначает лишь пространство, где распространен вид. В таком понимании этот термин очень близок к понятию ареала вида.

Местообитание вида – это участок суши или водоема, занятый популяцией одного вида или ее частью и обладающий для ее существования всеми необходимыми условиями (климат, рельеф, почва, питательные вещества). Таким образом, местообитание не что иное, как всего лишь компонент экологической ниши. По широте использования местообитаний различают *стенотопные* и *эвритопные* организмы, т. е. организмы, занимающие конкретные пространства с определенным набором экологических факторов, и организмы, которые существуют в широком диапазоне экологических факторов (космополиты). Местообитание имеет еще один синоним *экотоп* – географическое пространство, охарактеризованное конкретным набором экологических параметров. Термин «местообитание» может быть применен как к конкретным организмам, так и к сообществам в целом. Мы можем указать луг как единое местообитание различных трав и животных, хотя и травы, и животные занимают разные экологические ниши. Местообитание может обозначать комплекс связанных между собой некоторых живых и неживых характеристик географического пространства. Например, местообитание водных насекомых клопа-гладыша и плавта представляет собой мелководные покрытые растительностью участки озер. Эти насекомые занимают одно местообитание, но имеют разные трофические цепи (гладыш – это активный хищник, а плавт питается разлагающейся растительностью), что и отличает экологические ниши этих двух видов.

Экологическая ниша – понятие значительно более емкое, чем местообитание. Как показал английский ученый Ч. Элтон (1927), экологическая ниша включает в себя не только физическое пространство, занимаемое организмом, но и функциональную роль организма в сообществе. Ч. Элтон различал ниши как позицию вида в зависимости от других видов в сообществе. Представление Ч. Элтона о том, что ниша не есть синоним местообитания, получило широкое признание и распространение. Организму очень важно его трофическое положение, образ жизни, связи с другими организмами и т.п. и его положение относительно градиентов внешних факторов как условий существования (температура, влажность, pH, состав и тип почвы и др.). Три основные составляющие экологической ниши (пространство, функциональная роль организма, внешние факторы) удобно

обозначить как *пространственную нишу* (нишу места), *трофическую нишу* (функциональную нишу), а также, в понимании Ч. Элтона, и *многомерную нишу* (учитывается весь объем и набор биотических и абиотических характеристик, гиперобъем). Экологическая ниша организма зависит не только от того, где он обитает, но включает также общую сумму его требований к окружающей среде. Организм не только испытывает на себе действие экологических факторов, но и сам предъявляет к ним свои требования.

Более современная концепция экологической ниши сформировалась на основе модели, предложенной Г. Хатчинсоном (1957). Согласно этой модели, экологическая ниша – это часть воображаемого многомерного пространства (гиперобъема), отдельные измерения которого соответствуют факторам, необходимым для нормального существования и размножения организма. Такую многомерную нишу Хатчинсона, которую мы будем называть многомерной (гиперпространственной), можно описать с помощью количественных характеристик и оперировать с ней при помощи математических расчетов и моделей.

Р. Уиттекер (1980) определяет экологическую нишу как позицию вида в сообществе, подразумевая при этом, что сообщество уже связано с конкретным биотопом, т. е. с определенным набором физических и химических параметров. Следовательно, «экологическая ниша» – это термин, употребляемый для обозначения специализации популяции вида внутри сообщества. Группы видов в биоценозе, обладающие сходными функциями и нишами одинакового размера, называются *гильдиями*. Виды, занимающие одинаковые ниши в разных географических областях, называются *экологическими эквивалентами*.

Какими бы близкими по месту обитания не были бы организмы (или виды в целом), как бы ни близки были их функциональные характеристики в биоценозах, они никогда не будут занимать одну и ту же экологическую нишу. Таким образом, число экологических ниш на нашей планете несчетно. Образно можно себе представить человеческую популяцию, все особи которой обладают только своей неповторимой нишей. Невозможно представить двух абсолютно одинаковых людей, обладающих абсолютно идентичными морфологическими и функциональными характеристиками, включая и такие, как психические, отношение к себе подобным, абсолютная потребность в типе и качестве пищи, сексуальные отношения, норма поведения и т.п. Но индивидуальные ниши различных людей могут перекрываться по отдельным экологическим параметрам. Например, студенты могут быть связаны между собой одним вузом, конкретными преподавателями и в то же время могут различаться по поведению в обществе, в выборе пищи, биологической активности и др.

Для характеристики ниши используют обычно два стандартных измерения – *ширина ниши* и *перекрывание ниши* с соседними нишами. Под шириной ниши понимаются градиенты или диапазон действия какого-либо экологического фактора, но только в пределах данного гиперпространства. Ширину ниши можно определить по интенсивности освещения, по длине трофической цепи, по интенсивности действия какого-либо абиотического фактора. Под перекрытием экологических ниш подразумевается и перекрытие по ширине ниш, и перекрытие гиперобъемов.

Выделяют два основных типа экологических ниш. Во-первых, это *фундаментальная ниша* – наибольший «абстрактно заселенный гиперобъем», где действие экологических факторов без влияния конкуренции обеспечивает максимальное обилие и функционирование вида. Однако вид испытывает постоянное изменение экологических факторов в пределах своего ареала. К тому же, как мы уже знаем, усиление действия одного фактора может изменить отношение вида к другому фактору (следствие из закона Либиха), и его диапазон может измениться. Действие двух факторов одновременно может изменить отношение вида к каждому из них конкретно. Всегда в пределах экологических ниш действуют биотические ограничения (хищничество, конкуренция). Все эти действия приводят к тому, что реально вид занимает экологическое пространство, которое намного меньше, чем гиперпространство фундаментальной ниши. В этом случае мы говорим о *реализованной нише*, т. е. реальной. Таким образом, фундаментальная экологическая ниша и физиологический оптимум в подавляющем большинстве случаев оказываются шире реализованной экологической ниши и биоценотического оптимума вида.

Конкурентное взаимодействие может касаться как пространства, биогенных элементов, использования света (деревья в лесу), так и процесса борьбы за самку, за пищу, равно как и зависимости от хищника, подверженности болезням и др. Обычно наиболее жесткая конкуренция наблюдается на межвидовом уровне. Она может привести к замене популяции одного вида популяцией другого вида, но может привести и к равновесию между двумя видами (обычно такое равновесие природой устанавливается в системе хищник–жертва). Крайние случаи – это вытеснение одним видом другого за пределы данного местообитания. Бывают случаи, когда один вид вытесняет другой в трофической цепи и заставляет его перейти на использование другой пищи. Наблюдение за поведением близкородственных организмов со сходным образом жизни и сходной морфологией показывает, что такие организмы стараются никогда не обитать в одном и том же месте. Если же близкородственные организмы живут в одном и том же месте, то они или будут использовать разные пищевые ресурсы, или вести активный образ жизни в разное время (ночь, день). Таким образом, *закон конкурентного исключения Г.Ф. Гаузе* (см. разд. 7.3.5), можно перефразировать следующим образом: «каждый вид стремится занять свою индивидуальную экологическую нишу». Этим достигается снижение интенсивности конкурентной борьбы, а высвобождающуюся при этом энергию и время возможно использовать, в частности, для лучшей заботы о потомстве.

Экологические ниши видов – это нечто большее, чем отношение вида к какому-то одному градиенту среды. Очень многие признаки или оси многомерного пространства (гиперобъема) очень сложны для измерения или не могут быть выражены линейными векторами (например, поведение, пристрастие и др.). Следовательно, необходимо, как справедливо отмечал Р. Уиттекер (1980), перейти от концепции оси ниши к концепции ее многомерного определения, что позволит выявить характер отношений видов при их полном диапазоне адаптивных взаимосвязей. Согласно Г. Хатчинсону, ниша может быть определена некоторым числом переменных условий среды в пределах сообщества, к которым виды должны быть приспособлены. Эти переменные включают как биологические показатели (например, размер пищи), так и небиологические (климатические, орографические, гидрографические и др.). Эти переменные могут служить осями, по которым и воссоздается многомерное пространство, которое называется *экологическим пространством*, или *пространством ниши*. Каждый из видов может приспособиться или быть устойчивым к некоторому диапазону значений каждой переменной. Верхние и нижние пределы всех этих переменных и очерчивают то экологическое пространство, которое способен занимать вид.

Применив многомерный подход к пространству ниши сообщества, мы можем выявить позицию видов в пространстве, характер реакции вида на воздействие более чем одной переменной, относительные размеры ниш.

Разделение совместно живущими видами экологических ниш в процессе конкурентной борьбы с частичным их перекрытием – один из механизмов, обеспечивающих устойчивость природных биоценозов. Если какой-либо из видов резко снижает свою численность или практически полностью выпадает из состава сообщества, то его функции берут на себя другие его члены. Чем больше видов в составе сообщества, тем обычно ниже численность каждого из них, тем сильнее выражена их экологическая специализация. У близкородственных видов, живущих вместе, как правило, наблюдаются весьма тонкие разграничения экологических ниш. Например, пасущиеся в африканских саваннах, копытные по-разному используют пастбищный корм (рис. 7.11.А): зебры обрывают в основном верхушки трав, антилопы гну кормятся тем, что им оставляют зебры, выбирая при этом только определенные виды растений, газели выщипывают самые низкие травы. Подобное разделение труда происходило ранее в южно-европейских степях, когда там существовали дикие лошади, сурки и суслики (рис. 7.11.Б). В результате, несмотря на совместное обитание (пространственные ниши перекрываются), различие в видах и способах питания не допускает острой конкурентной борьбы.

Далее рассмотрим основные механизмы выхода из конкуренции и разграничения экологических ниш.

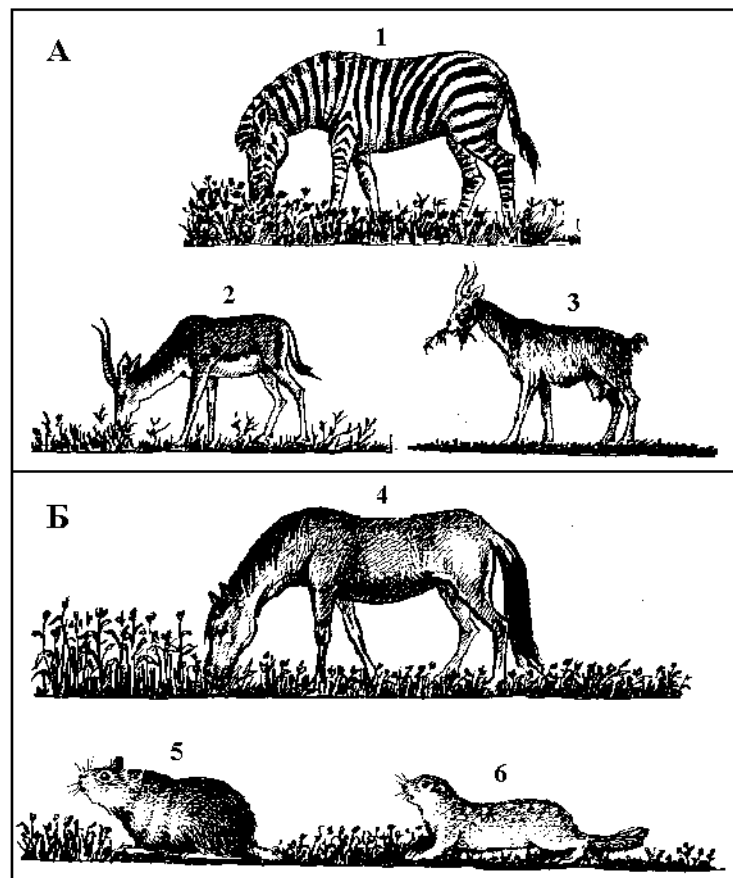


Рис. 7.11. Экологические ниши растительноядных животных. А – биоценоз африканской саванны: 1 – зебра; 2 – антилопа гну; 3 – газель Гранта. Б – биоценоз южно-европейской степи (реконструкция): 4 – дикая лошадь; 5 – сурок; 6 – суслик.

1. *Размерная дифференциация.* Например, средняя масса трех наиболее обычных в пустынях Азии рабочих муравьев относятся между собой как 1:8:120. Примерно такое же соотношение масс имеется можно установить у крупной кошки, рыси и тигра.

2. *Поведенческие различия* могут состоять, например, в разной стратегии сбора пищи. В зимних лесах Европы насекомоядные птицы, такие как поползни и пищухи, собирают пищу на стволах одних и тех же деревьев. Но при этом поползни способны быстро обследовать дерево, стремительно схватывая попадающихся на глаза насекомых или семена, тогда как более мелкие пищухи более тщательно обследуют на поверхности ствола различные щели, в которые проникает их тонкий шиловидный клюв. Тем самым конкуренции почти не возникает.

3. *Пространственная дифференциация.* В пределах напочвенного яруса сбор пищи разными видами может быть приурочен к разным участкам, например на открытых местах или под кустиками полыни, на песчаных глинистых участках и т.д. В пресноводных водоемах полностью погруженные в воду растения (элодея, роголистник, уруть) оказываются в иных условиях освещения, температуры, газового режима, чем плавающие на поверхности (телорез, водокрас, ряска) или укореняющиеся на дне и выносящие листья на поверхность (кувшинка, кубышка, виктория регия).

4. *Различия по времени активности.* Относятся в основном ко времени суток. Например, существуют дневные и ночные виды бабочек, днем за насекомыми охотятся птицы, а ночью – летучие мыши с помощью ультразвука и т.д.

Ослабление межвидовой конкуренции приводит к расширению экологической ниши вида. Прекрасные примеры данной закономерности можно найти в изолированных областях с невысоким видовым разнообразием, например на островах. Экологическая ниша имеет тенденцию к расширению также под влиянием напряженной внутривидовой конкуренции. На фоне возросшей численности и плотности популяции вида начинается использование новых дополнительных кормов, основание новых местообитаний и адаптация к ним, появление новых биоценологических связей.

Усиление межвидовой конкуренции всегда сопровождается сужением экологической ниши, не позволяя проявиться всему ее потенциалу полностью.

Таким образом, конкуренция способствует формированию новых экологических связей, образованию новых экологических ниш и, в конечном итоге, повышает уровень биологического разнообразия в сообществах. Полученные знания могут с успехом найти свое применение на практике, при управлении численностью промысловых организмов.

Глава 8. Экосистемы

8.1. Понятие об экосистеме и биогеоценозе

Сообщества организмов находятся в тесных материально-энергетических связях с неорганической средой обитания. Растения живут за счёт непрерывного потребления углекислого газа, кислорода, воды и минеральных солей. Животные живут за счёт растений, потребляя синтезируемое ими органическое вещество, но также нуждаются в воде, кислороде и минеральных компонентах. В любом местообитании количество имеющихся на данный момент запасов неорганических веществ, необходимых для поддержания жизнедеятельности всех организмов, хватило бы на более или менее ограниченный промежуток времени, если бы эти запасы не восстанавливались. Возвращение биогенных элементов в среду, где они могли бы снова использоваться растениями для синтеза нового органического вещества, происходит в процессе разложения мертвой органики преимущественно бактериями и грибами. Таким образом, сообщество формирует с неорганической средой определённую систему, в которой поток атомов, движущийся под влиянием различной деятельности организмов, имеет тенденцию замыкаться в круговорот.

Понимание наличия тесных взаимных связей между живой и неживой природой позволило английскому ботанику Артуру Тенсли (1871–1955) в 1935 г. впервые выдвинуть понятие «экосистема». Экосистема А. Тенсли, учитывая накопленные к тому времени сведения, представляла собой сочетание трех основных блоков: «среда на входе», в которую входят внешние по отношению к биоте источники энергии, прежде всего солнечный свет и тепло, а также биогенные вещества, необходимые для синтеза сложных органических молекул; «биоценоз» – совокупность растений, животных и микроорганизмов на данной территории, осуществляющих усвоение энергии и биогенных веществ, свое развитие и рост; «среда на выходе», включающая выделение определенной внутренней энергии, экспорт биогенных веществ и новых организмов. При этом интенсивность работы биотического блока находится под правлением различных обратных связей, обеспечивающих саморегуляцию и устойчивость всей экосистемы (рис. 8.1). Несмотря на справедливость основных подходов к взаимодействию между организмами и средой,

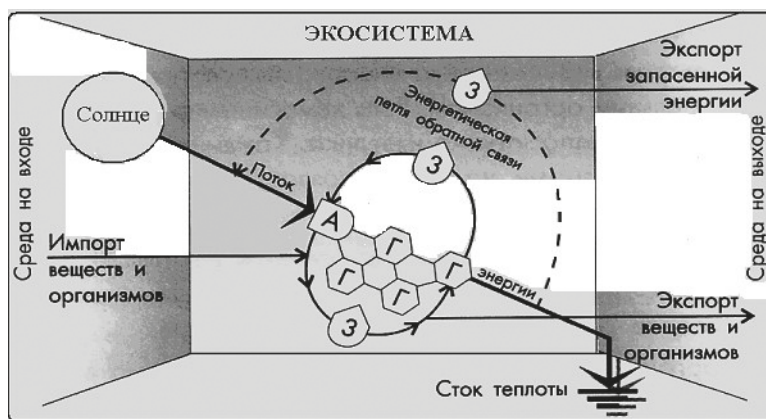


Рис. 8.1. Структурная схема функционирования экосистемы А. Тенсли: А – растения-автотрофы; Г – животные-гетеротрофы; 3 – запасенная энергия

обозначенных в экосистеме А. Тенсли, заметна существенная неполнота и упрощение составленной им структурной схемы ее функционирования. Не производится детализация необходимых для существования экосистемы источников энергии, вещества и организмов, не обозначены функциональные связи организмов с конкретными компонентами неживой природы. По сути, большинство элементов экосистемы, и в основном биотические, представляются здесь как своеобразный «черный ящик», внутренняя природа функционирования которого малопонятна, но известно, что он поглощает, перерабатывает и выделяет вещество и энергию.

Подобный, но несколько более глубокий подход к установлению взаимосвязей между биотическими и абиотическими компонентами окружающей среды был реализован в трудах крупного российского геоботаника, академика В.Н. Сукачева (1880–1967). В 1942 г. им была сформулирована концепция «биогеоценоза» (рис. 8.2). Биогеоценоз складывается из двух блоков – биоценоза и *экотопа*, внутренняя структура которых и возникающие взаимные связи детализируются. Экотоп, согласно В.Н. Сукачеву, – это конкретные элементы неживой природы – атмосфера, гидросфера и земная кора, с которыми организмы находятся в более или менее выраженных взаимоотношениях. Существует также близкое понятие *биотоп*, т. е. пространство, непосредственно занимаемое биоценозом. Биотоп может быть как неорганической, так и органической природы (у паразитов), обеспечивая всеми необходимыми для поддержания жизни ресурсами.

Биоценоз и его экотоп составляют два неразрывных элемента, действующих друг на друга и образующих более или менее устойчивую систему. Иными словами, биогеоценоз, также как и экосистема состоит из двух компонентов. Один из них – *органический*, это населяющий ее биоценоз, другой *неорганический*, т. е. экотоп (биотоп), дающий пространство и неорганические ресурсы растениям, животным, грибам и различным микроорганизмам.

В целом, по своим концепциям и определениям понятия «экосистема» и «биогеоценоз» практически равнозначны. Однако в литературе, в особенности иностранной, термин экосистема получил значительно большее распространение. При этом часто экосистемой называют достаточно крупные природные объекты, тогда как термин «биогеоценоз» используют для обозначения взаимосвязей между живой и неживой природой меньшего пространственного масштаба.

В настоящее время существует достаточно много определений термина экосистема. Одно из наиболее удачных и понятных, на наш взгляд, звучит следующим образом: *экосистема* – это исторически сложившаяся, территориально обособленная система использования совокупностью организмов определённого пространства в целях питания, роста и размножения. Важно подчеркнуть обязательное для любой экосистемы условие длительности ее исторического развития – живые организмы должны успеть выработать соответствующие адаптации к местным биотическим и абиотическим факторам, обеспечить определенное преобразование неорганической среды для своих потребностей. Именно этим достигается высокая эффективность продуцирования органического вещества экосистемой и устойчивость ее существования. Большинство экосистем сложилось в ходе длительной эволюции и является результатом приспособления видов к окружающей среде. Экосистемы обладают саморегуляцией и способны противостоять, по крайней мере, в известных пределах, изменениям окружающих условий и резким колебаниям плотности популяций.

Идеальным примером экосистемы может служить озеро. Это четко ограниченное сообщество, различные компоненты которого нераздельно связаны друг с другом и являются объектами многочисленных взаимодействий.

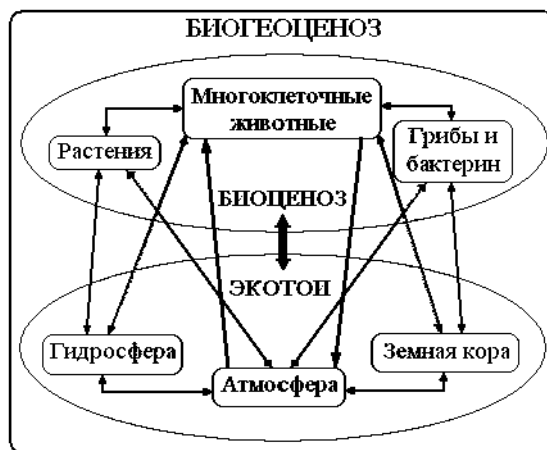


Рис. 8.2. Схема биогеоценоза В.Н. Сукачева

Размеры экосистем могут быть самыми различными. В качестве отдельных экосистем можно рассматривать и подушку лишайника на стволе дерева, и разрушающийся пень со своим особым населением, и небольшой пруд или озеро. К очень крупным экосистемам принадлежат, например, отдельные морские бассейны и весь Мировой океан в целом. Самой крупной экосистемой является *биосфера* Земли, которая, согласно современным представлениям, включает в свой состав не только самих живых организмов, но и те части литосферы, гидросферы и атмосферы Земли, физико-химические свойства которых зависят от деятельности живого вещества.

Применительно к размеру экосистем различают:

- микроэкосистемы, подобные стволу погибшего дерева;
- мезоэкосистемы, например лес или пруд;
- макроэкосистемы, такие как океан;
- мегаэкосистемы, биосфера, объединяющая все существующие экосистемы.

Выделяют *естественные* и *искусственные* экосистемы. Широко используется классификация по *биомам*. Этот термин обозначает крупную региональную экосистему, характеризующуюся каким-либо основным типом растительности или другой характерной особенностью ландшафта. Различают *наземные биомы* (тундра, бореальные хвойные леса, листопадный лес умеренной зоны, степь, саванна, пустыня, вечнозеленый тропический дождевой лес), *пресноводные* экосистемы (стоячие, текущие, заболоченные), *морские* экосистемы (пелагические, прибрежные).

Переход от одной экосистемы к другой может быть более или менее резким. Однако во всех случаях существует переходная зона, которая может захватывать территорию от нескольких метров (береговая зона озера) до десятков километров (переходная зона между лесами и степями). Эту переходную зону, как уже рассматривалось в главе 7, называют *эктоном*. К нему относятся, например, болотистые пространства, располагающиеся между прудом и окружающими его наземными формациями; заросли кустарника, отделяющие лес от поля. Фауна экотонов и в видовом отношении, и численно богаче соседних биоценозов, так как здесь происходит смешение видов. В этом состоит проявление так называемого *краевого эффекта*.

Состав и структура экосистем. С точки зрения *трофической структуры* (от греч. *trophe* – питание) экосистему можно разделить на два яруса: верхний *автотрофный* (самостоятельно питающийся) ярус, или «зеленый пояс», включающий растения, содержащие хлорофилл, где преобладают фиксация энергии света, использование простых неорганических соединений и накопление сложных органических соединений; нижний *гетеротрофный* (питаемый другими) ярус, или «коричневый пояс» почв и осадков, разлагающихся веществ, корней и т.д., в котором преобладают использование, трансформация и разложение сложных соединений.

С биологической точки зрения в составе экосистемы удобно выделять следующие компоненты: 1) *неорганические вещества* (C, N, CO₂, H₂O и др.), включающиеся в круговороты; 2) *органические соединения* (белки, углеводы, липиды, гумусовые вещества и т.д.), связывающие биотическую и абиотическую части; 3) *воздушную, водную и субстратную среду*, включающую климатический режим и другие физические факторы; 4) *продуцентов*, автотрофных организмов, которые могут производить органическое вещество из простых неорганических веществ; 5) *консументов*, в основном животных-гетеротрофов, питающихся растениями и другими животными; 6) *деструкторов*, в основном бактерий и грибов, получающих энергию путем разложения мертвых тканей. В результате деятельности деструкторов высвобождаются неорганические элементы питания, пригодные для продуцентов.

8.2. Энергия и биологическая продукция в экосистемах

Энергия – количественная мера движения и взаимодействия всех видов материи, благодаря чему все явления природы связаны воедино. Существование любой экосистемы возможно только при потоке из окружающей среды не только энергии, но и вещества, т. е. природные экосистемы являются энергетически и структурно открытыми системами. Суммарный поток энергии, характеризующий экосистему, складывается из солнечного излучения и длинноволнового теплового излучения от близлежащих тел. Оба вида излучений определяют климатические условия среды, но при фотосинтезе, который обеспечивает энергией и веществом гетеротрофный компонент экосистемы, потребляется только очень небольшая доля солнечного излучения. Тем не менее, именно за счёт этой энергии вырабатывается первичная, основная продукция экосистемы. Важнейшая термодинамическая характеристика организмов, экосистем и биосферы в целом – способность создавать и поддерживать высокую степень внутренней упорядоченности, т. е. состояние с низкой энтропией. Это состояние достигается постоянным рассеянием легко используемой энергии (свет, пища) и превращением ее в энергию, используемую с трудом (тепловую).

Основным источником энергии, поступающим извне, является лучистая энергия, которая усваивается организмами-продуцентами в процессе фотосинтеза и хемосинтеза, накапливаясь в форме органических веществ. Помимо этого энергия поступает в экосистему и из почвы в виде питательных веществ, а также преобразуется продуцентами. На следующем этапе преобразования энергии ранее созданные питательные вещества используются консументами. И последний этап – это высвобождение энергии в результате функционирования деструкторов. Высвобожденная энергия содержится в неорганических веществах в почве, а также в виде тепловой и других типов энергии в окружающей среде. Таким образом, осуществляется обмен энергии в экосистеме. Интенсивность обмена вещества и энергии между компонентами экосистемы составляет один из ее отличительных признаков. В термодинамическом отношении экосистема относится к *открытым* системам, относительно стабильным во времени. Элементами, поступающими в экосистему, являются солнечная энергия, минеральные вещества почвы и газы атмосферы, вода; выходящими элементами, покидающими экосистему, являются тепло, кислород, углекислый газ и другие газы, перегной и биогенные вещества, переносимые водой, и т.д.

Так как экосистемы относятся к открытому типу систем, то неизбежны утечки энергии, а также поступление энергии из других источников. Энергия необходима для поддержания жизни, т. е. основной обмен; перемещения в пространстве; обеспечения роста; формирования элементов, необходимых для размножения; образования углеводных и жировых запасов. При расчетах энергетического баланса экосистемы необходимо учитывать, что на первом трофическом уровне (уровне растений-продуцентов) поглощается до 50 % падающего света, в то время как переходит в энергию вновь создаваемых органических веществ всего от 1 до 5 %, т. е. *эффективность ассимиляции* энергии у растений очень низкая. Эффективность ассимиляции у растительноядных животных соответствует питательным свойствам их пищи: она может достигать 80 % – при поедании семян, 60 % – при поедании молодой листвы, от 30 до 40 % – более старых листьев и не более 20 % при поедании древесины.

Большинство ненарушенных, естественно развивающихся экосистем, особенно на поздних стадиях своего формирования, находится в сбалансированном, устойчивом состоянии. Цикл воспроизводства и разложения биомассы почти безотходный. В качестве отхода остаются только те органические соединения или вещества, которые не могут быть усвоены редуцентами в силу геологических и географических условий (например, когда органика скапливается в большом количестве в бескислородной среде при низких температурах – процессы торфообразования). Подобные отходы – это залежи нефти, каменного угля, торфа, почвенный слой и т.п. Эти соединения не вызывают нарушения экологического баланса биосферы и не являются собственными отходами в современном смысле этого термина.

В настоящее время в природе обнаружено несколько миллионов видов животных, не менее 500 тыс. видов растений и грибов. Наименьшее число видов приходится на редуцентов, что связано в первую очередь с глобальным однообразием потребляемой ими пищи, а также малыми размерами большинства из них (бактерии, грибы), что позволяет их спорам разноситься на большие расстояния и повсеместно вытеснять менее приспособленные виды. Число видов продуцентов существенно (от 3 до 5 раз по разным оценкам) больше, чем редуцентов, что обусловлено разнообразием природно-климатических условий, к которым они более чувствительны, чем редуценты.

Консументы используют в пищу не только продуцентов, но и консументов с редуцентами, создавая таким образом более или менее сложные пищевые цепи и сети, что обуславливает еще большее преобладание их видового разнообразия над редуцентами – от 15 до 20 раз. Большое число видов обеспечивает множественные и разнообразные обратные связи в системе пища–отходы–пища, увеличивает степень конкуренции видов и скорость их эволюции, увеличивая в конечном счете устойчивость биогеоценозов и биосферы в целом.

Трофическая цепь в экосистеме – это одновременно цепь энергетическая. Академик С.С. Шварц назвал биогеоценоз машиной по трансформации вещества и энергии. В биогеоценозе (экосистеме) существует непрерывный поток энергии, заключающийся в передаче ее от одного пищевого уровня к другому. В силу второго закона термодинамики этот процесс связан с рассеянием энергии на каждом последующем звене, т. е. с её потерями и возрастанием энтропии. В конечном итоге вся энергия, поглощаемая растениями, рассеивается и покидает Землю в виде теплового излучения. Рассеивание энергии все время компенсируется поступлением новой энергии от Солнца. Энергетический баланс консументов выражается следующей формулой:

$$P = П + Д + Н, \quad (8.1)$$

где P – рацион консумента; $П$ – продукция; $Д$ – траты на дыхание; $Н$ – энергия неусвоенной пищи.

Необходимо подчеркнуть, что основная часть потребляемой с пищей энергии у животных идет на поддержание их жизнедеятельности и лишь сравнительно небольшая – на построение тела, рост и размножение. По ориентировочным подсчетам, потери энергии составляют чаще всего не менее 90 % при каждом акте ее передачи по звеньям трофической цепи. Следовательно, на каждый последующий трофический уровень переходит не более 10 % энергии предыдущего уровня. Эта закономерность получила название *правила десяти процентов*. Например, для получения 1 кг говядины требуется от 70 до 90 кг свежей травы, т. е. на создание вторичной продукции используется 1–2 % первичной продукции. Таким образом, запас энергии, накопленной растениями, стремительно иссякает уже на 4–5-м звеньях трофической цепи. Её потери могут быть восполнены только поступлением новых порций, поэтому, в отличие от круговорота веществ, круговорот энергии в экосистемах отсутствует.

Экосистема функционирует только за счет направленного потока энергии, постоянного поступления ее извне в виде солнечного излучения или готовых запасов органического вещества (в отдельных случаях за счет химической энергии земных недр – рудные бактерии). Следует отметить отличие понятия «биомасса» от понятия «биологическая продуктивность». Биомасса биоценоза – его общая накопленная масса на момент исследования. Биологическая продуктивность – количество произведенной биомассы на единицу площади (или объема) в единицу времени. Биомасса того или иного биоценоза не дает представления о его продуктивности. Например, средняя фитомасса луговых степей 23 т/га, а годовая продукция составляет 10 т/га. Фитомасса хвойных лесов 200 т/га, а продуктивность – всего 6 т/га в год.

Биологическая продуктивность – это скорость воспроизводства органического вещества растениями или животными. При этом выделяют понятия первичная и вторичная продукция, а также чистая продукция. *Первичная продуктивность* экосистемы определяется как скорость, с которой лучистая энергия солнца преобразуется продуцентами в процессе фотосинтеза, накапливаясь в виде органических веществ. Первичную

продуктивность (P) выражают в единицах синтезированной биомассы в единицу времени. Процесс производства органического вещества состоит из четырёх последовательных этапов, соответствующих различным типам продуктивности.

Валовая первичная продуктивность (P_v) – это скорость накопления в процессе фотосинтеза органического вещества, включая ту его часть, которая расходуется на дыхание и процессы метаболизма самими растениями.

Чистая первичная продуктивность ($P_ч$) – это скорость накопления органического вещества в растительных тканях за вычетом той его части, которая использовалась растениями на дыхание и процессы метаболизма.

Вторичная продуктивность – скорость накопления органического вещества на уровне консументов. Данная характеристика обозначается через P_2 , P_3 и т.д. в зависимости от пищевого (трофического) уровня животного гетеротрофа.

Чистая продуктивность сообщества – скорость накопления органического вещества, которое не потреблено гетеротрофами: $P_ч = (P_2 + P_3 + P_4 + \dots)$.

На рис. 8.3 показана обобщенная схема потоков энергии и динамики продуктивности в пищевой цепи экосистемы. Мы видим, что за счет трат на дыхание продуцентов и консументов, на усвоение пищи и экскрецию происходит значительное последовательное сокращение доступной на каждом последующем пищевом звене энергии и органического вещества.

В каждый конкретный момент времени чистая продуктивность сообщества выражается *наличной биомассой или урожаем на корню*. Величина урожая в годовом цикле зависит от времени года: весной он минимален, а осенью достигает максимальных значений. Высокие скорости продуцирования органического вещества наблюдаются там, где физические и химические факторы среды весьма благоприятны для жизнедеятельности местных растений и животных. Кроме того, поступление энергии со стороны абиотических процессов, кроме солнечного излучения, снижает энергетические затраты организмов при потере тепла на дыхание. Например, энергия приливов увеличивает продуктивность прибрежных морских экосистем, замещая собой ту часть энергии, которая была израсходована на дыхание, так как приливная волна приносит новые пищевые компоненты, а в процессе отлива удаляются продукты метаболизма. В связи с этим при оценке продуктивности экосистемы необходимо учитывать как расходование энергии в процессе сбора урожая, гибели части особей при неблагоприятных погодных условиях или по причине загрязнения их среды обитания, так и поступление энергии из различных источников, которое способно увеличить продуктивность, снижая потери энергии при дыхании.

Мировое распределение первичной биологической продукции крайне неравномерное. Эффективность связывания растительностью солнечной радиации снижается при

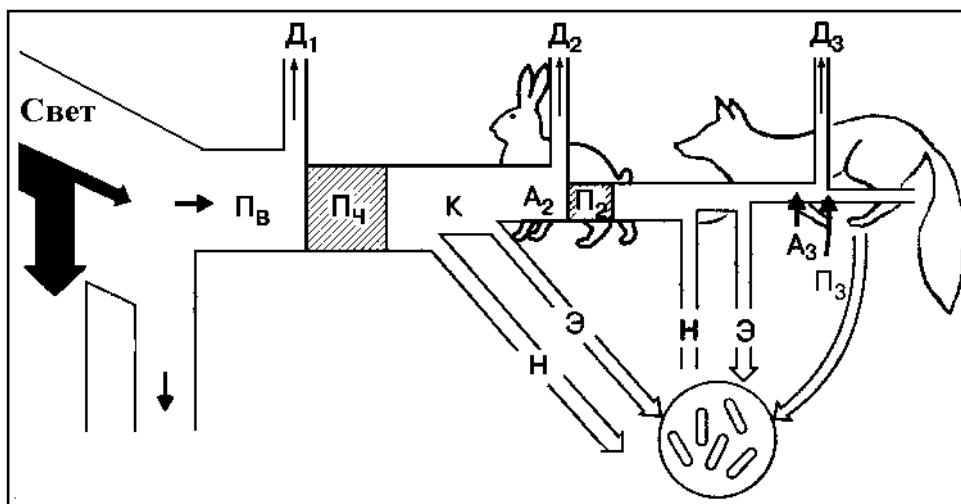


Рис. 8.3. Поток энергии в пищевой цепи экосистемы: P_v – валовая первичная продукция; $P_ч$ – чистая первичная продукция; D – траты на дыхание; A – ассимиляция пищи; K – консументы; P_2 , P_3 – продукция консументов различного порядка; H – неусвоенная пища и энергия; $\mathcal{E}$ – траты на экскрецию

недостатке тепла и влаги, при неблагоприятных физических и химических свойствах почвы и т.п. Теоретически возможная скорость создания первичной биологической продукции определяется возможностями фотосинтетического аппарата растений. Максимально достигаемый в природе КПД фотосинтеза составляет около 10 % энергии фотосинтетически активной радиации (ФАР) – около половины от теоретически возможного. В целом же, по земному шару усвоение растениями солнечной энергии обычно не превышает 0,1 %. Средний коэффициент использования энергии ФАР для всей территории России составляет около 0,8 %: от 1,8–2,0 % на Северном Кавказе до 0,1–0,2 % в пустынях и тундрах. Достигающая поверхности Земли в течение одного года солнечная энергия составляет около $38 \cdot 10^9$ кДж/га. Один гектар леса в средних широтах продуцирует до 6 т древесины и 4 т листьев, сжигание которых дает $193 \cdot 10^6$ кДж, т. е. эффективность использования солнечной энергии в средних широтах – около 0,5 %.

Питание людей обеспечивается в основном сельскохозяйственными культурами, занимающими 10 % площади суши. Почти половина урожая идет на питание людей, остальное – на корм домашним животным, используется в промышленности и теряется в отбросах. Всего человек потребляет 0,2 % первичной продукции Земли. Изучение потоков энергии имеет важное значение для расчетов общей биопродуктивности экосистем, включая оценку (прогноз) хозяйственно возможной продуктивности.

8.3. Биогеохимические циклы в экосистемах

Вещество, необходимое для жизни, может использоваться многократно. Эти процессы называются круговоротами веществ или биогеохимическими циклами. Энергия практически для любого круговорота поставляется от Солнца. Механизмы, обеспечивающие возвращение веществ в круговорот, основаны главным образом на биологических процессах.

В каждом круговороте удобно различать два фонда: резервный – большая масса медленно движущихся веществ, в основном в небиологической сфере; обменный – меньший, но более активный, для которого характерен быстрый обмен между организмами и окружением. Резервный фонд хранится обычно в относительно рассеянном и подвижном виде, доступном большинству живых организмов, где бы они не находились. Наилучшим образом для этих целей подходит атмосфера и гидросфера, выполняющие роль своеобразных буферных зон, соединяющих между собой разные формы жизни. Менее подвижной буферной зоной является почва. Именно из буферных зон получают многие организмы питательные вещества, тщательно отбирая их из всего разнообразия веществ, присутствующих в резервном фонде. Продукты жизнедеятельности организмов также сбрасываются в буферные зоны, где они затем более или менее тщательно перемешиваются: то, что является «отходами» для одной формы жизни, может послужить пищей для другой формы жизни. В первую очередь, это относится к растениям, которые не только получают все, что им нужно из атмосферы, почвы и воды (в случае водных растений), но и сбрасывают туда же тепло, влагу, продукты дыхания, отмершие листья и сучья и т.п. В меньшей мере с резервным фондом связаны животные, которые в основной своей массе не способны синтезировать органику из рассеянных компонентов резервного фонда, и существуют за счет обменного фонда, сосредоточенного главным образом в живом веществе (рис. 8.4).

Биогеохимические циклы принято делить на два основных типа: круговорот газообразных веществ с резервным фондом в атмосфере или гидросфере (океане) и осадочный цикл с резервным фондом в земной коре.

Часть вещества уходит из круговорота в захоронения (прежде всего в бескислородной среде), в виде угля, торфа, нефти, осадочных пород и т.п. Для синтеза вещества клеток живым организмам необходимо примерно 40 элементов, из которых самыми важными являются углерод, азот, водород, кислород, фосфор и сера. Рассмотрим далее круговороты наиболее важных для жизни веществ.

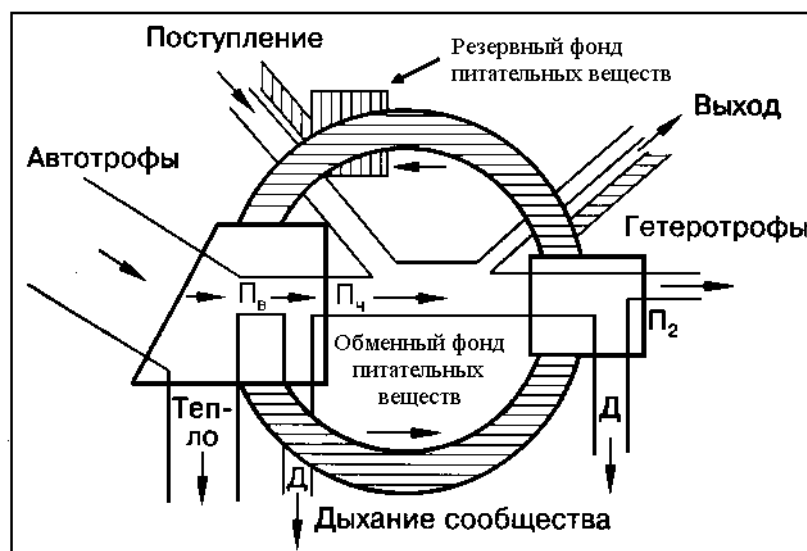


Рис. 8.4. Обобщенная схема биогеохимического цикла [Одум, 1986]

8.3.1. Круговорот углерода

Углерод является одним из самых необходимых для жизни компонентов. В состав органического вещества он включается в процессе фотосинтеза. Затем основная его масса поступает в пищевые цепи животных и накапливается в их телах в виде различного рода углеводов. Главную роль в круговороте углерода играет атмосферный и гидросферный фонды углекислого газа CO_2 . Этот фонд пополняется при дыхании растений и животных, а также при разложении мертвой органики. Некоторая часть углерода ускользает из круговорота в захоронения. Однако человек в последнее время достаточно успешно разрабатывает эти захоронения, возвращая в круговорот жизни углерод и другие важные для жизни элементы, накопленные за миллионы лет. Хотя это приводит к ряду отрицательных для нас последствий, но как знать, может быть, именно эту миссию мы должны были выполнить для биосферы. Например, известно, что увеличение содержания CO_2 и понижение содержания O_2 в атмосфере приводит к усилению фотосинтеза. Фотосинтезирующий зеленый пояс и карбонатная система моря поддерживают постоянный уровень CO_2 в атмосфере. Но за последние 100 лет содержание CO_2 постоянно возрастает, главным образом за счет динамики естественных глобальных климатических и биопродукционных процессов, а также, возможно, в какой-то мере за счет деятельности человека, связанной с поступлением CO_2 при сжигании органического топлива и уничтожением лесов. Происходит потеря углекислоты из почвенного фонда, что вызвано окислением гумуса в почве после уничтожения лесов при последующем использовании этих земель для сельского хозяйства или строительства городов.

В начале промышленной революции (1800 г.) концентрация углекислого газа в атмосфере Земли составляла около 0,029 % CO_2 . В 1958 г., когда были проведены первые точные измерения, – уже 0,0315 %, а в 1980 г. – 0,0335 %. Предположительно, когда доиндустриальный уровень будет превышен вдвое (2050 г.), ожидается повышение средней глобальной температуры атмосферы в среднем на 1,5–4,5 °С. Это связано, в первую очередь, с парниковым эффектом, к которому приводит повышенное содержание углекислого газа в атмосфере. На этом фоне, возможно, начнется ускоренное таяние льдов и существенное увеличение уровня Мирового океана. Однако заметим, что CO_2 – далеко не самый мощный по своему парниковому воздействию газ. Водяной пар превосходит углекислый газ по способности удерживать в низких слоях атмосферы инфракрасное излучение в 12 раз, а метан (CH_4) – примерно в 16 раз. Поэтому нельзя полагать, что макроклиматические условия на Земле будут зависеть в основном от концентрации углекислого газа в атмосфере.

Единственным источником углерода для растений служит углекислота, входящая в состав атмосферы или находящаяся в растворенном состоянии в воде. В процессе фотосинтеза углекислота превращается в органические вещества (углеводы, белковые вещества, липиды), служащие пищей животным. Дыхание, брожение и сгорание топлива возвращает углекислоту в атмосферу.

8.3.2. Круговорот азота

Азот входит в состав аминокислот, являющихся основным строительным материалом для белков. Хотя азот требуется в меньших количествах, чем, например, углерод, тем не менее, дефицит азота отрицательно сказывается на продуктивности живых организмов. Основным источником азота является атмосфера (рис. 8.5), откуда в почву, а затем в растения азот попадает только в форме нитратов, которые являются результатом деятельности организмов-азотификсаторов (отдельные виды бактерий, сине-зеленых водорослей и грибов), а также электрических разрядов (молний) и других физических процессов. Остальные соединения азота не усваиваются растениями. Второй источник азота для растений – результат разложения органики, в частности, белков. При этом сначала образуется аммиак, который преобразуется бактериями-нитрификаторами в нитриты и нитраты.

Возвращение азота в атмосферу происходит в результате деятельности бактерий-денитрификаторов, разлагающих нитраты до свободного азота и кислорода. Значительная часть азота, попадая в океан (в основном со сточными континентальными водами), частично используется водной растительностью, а затем по пищевым цепям через животных возвращается на сушу. Небольшая часть азота выпадает из круговорота, уходя в осадочные соединения. Однако эта потеря компенсируется поступлением азота в воздух с вулканическими газами, а также с промышленными выбросами. Если бы наша цивилизация достигла такой технической мощи, что смогла бы блокировать все вулканы на Земле (не сомневаемся, что подобные проекты обязательно возникли бы), то при этом из-за прекращения поступлений углерода, азота и других веществ могло бы погибнуть больше людей от голода, чем страдает сейчас от извержений вулканов.

Антропогенный азот поступает в природу в основном в форме азотных удобрений. Их количество примерно равно природной фиксации азота в атмосфере, но ниже биологической фиксации.

В природных экосистемах порядка 20 % азота – это новый азот, полученный из атмосферы путем азотификации. Остальные 80 % возвращаются в круговорот вследствие разложения органики. В агроэкосистемах из азота, поступившего на поля с удобрениями, очень небольшая часть используется повторно, большая же часть теряется с собираемым урожаем, а также в результате выщелачивания (выноса водой) и денитрификации. Лишь прокариоты, безъядерные, самые примитивные микроорганизмы могут превращать биологически бесполезный газообразный азот в формы, необходимые для построения и поддержания живой

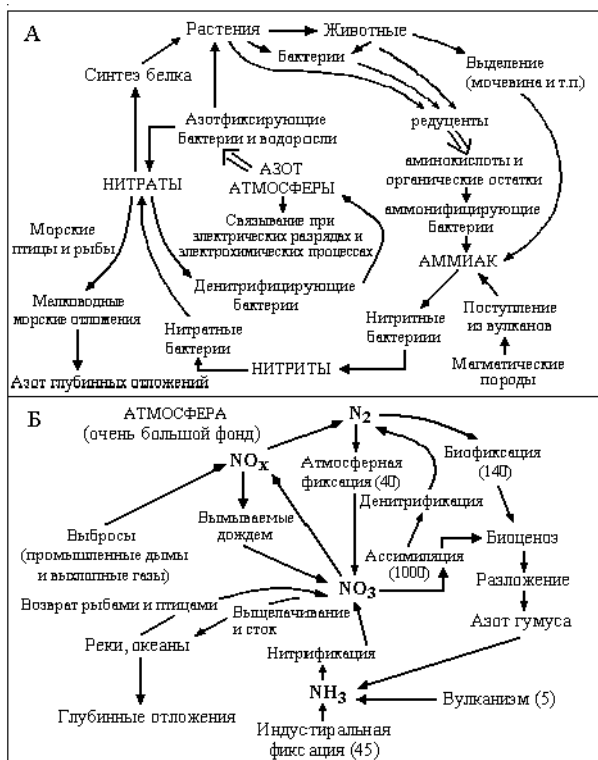


Рис. 8.5. Круговорот азота [Одум, 1986]: а) циркуляция азота между организмами и абиотической средой; б) выделены основные этапы и приведены оценки количеств азота, участвующего в основных потоках. Числа в скобках – тераграммы (1 Тг = 10^6 т) в год

протоплазмы. Когда эти микроорганизмы образуют взаимовыгодные ассоциации с высшими растениями, фиксация азота значительно усиливается. Растения представляют бактериям подходящее местообитание (корневые клубеньки), защищают микробы от излишков кислорода и поставляют им необходимую высококачественную энергию. За это растение получает легкоусвояемый фиксированный азот. Мечта современных специалистов по генной инженерии – создать самоудобряющиеся сорта зерновых культур, которые имели бы на корнях клубеньки с азотфиксирующими бактериями, аналогичные клубенькам на корнях бобовых растений. Полагают, что это позволило бы совершить существенный прорыв в сельском хозяйстве. Однако как знать, не нарушит ли подобное увеличение природной фиксации свободного азота того хрупкого баланса притока и оттока азота в атмосфере, который обеспечивает стабильность концентрации азота в воздухе, которым мы дышим.

Источником азота служит азот атмосферы и азот, содержащийся в трупах. Свободный азот могут использовать лишь немногие организмы – фиксаторы азота – бактерии, живущие в клубеньках бобовых, и некоторые сине-зеленые водоросли. Белковые вещества трупов благодаря деятельности бактерий превращаются в аммонийные соединения, а также нитриты и нитраты. Эти вещества служат источником азота для зеленых растений.

8.3.3. Круговорот фосфора

Основные запасы фосфора содержат различные горные породы, которые постепенно отдают свои фосфаты наземным экосистемам. Фосфаты потребляются растениями и используются ими для синтеза органических соединений. При разложении трупов животных бактериями фосфаты возвращаются в почву и затем снова используются растениями. Фосфор является необходимым компонентом нуклеиновых кислот (РНК и ДНК), выполняющих в биосистемах функции, связанные с записью, хранением и чтением информации о строении организма. Фосфор – достаточно редкий элемент. Относительное количество фосфора, требуемое живым организмам, гораздо выше, чем относительное содержание его в тех источниках, откуда организмы черпают необходимые им элементы. То есть дефицит фосфора в большей степени ограничивает продуктивность в том или ином районе, чем дефицит любого другого вещества, за исключением воды. Фосфор встречается лишь в немногих химических соединениях. Он циркулирует, переходя из органики в фосфаты, которые могут затем использоваться растениями (рис. 8.6). Особенность круговорота фосфора в том, что в нем отсутствует газообразная фаза. То есть основным резервуаром фосфора является не атмосфера, а горные породы и другие отложения, образовавшиеся в прошлые эпохи. Породы эти подвергаются эрозии, высвобождая фосфаты в экосистемы. После неоднократного потребления его организмами суши и моря

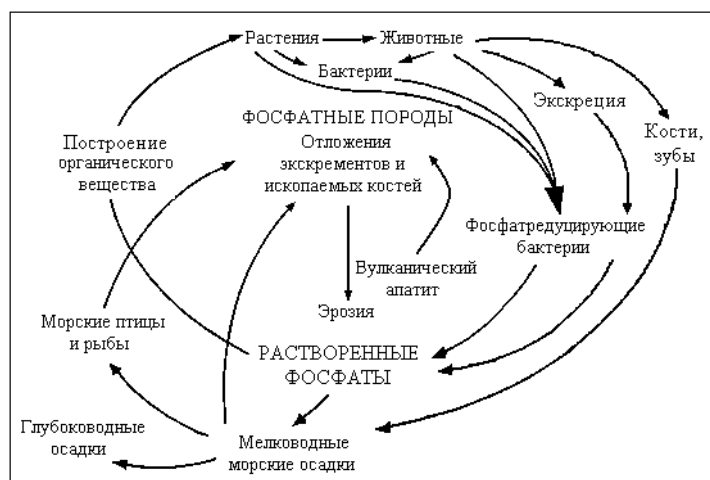


Рис. 8.6. Круговорот фосфора [Одум, 1986]

фосфор в конечном итоге выводится в донные осадки. Это грозит дефицитом фосфора. В прошлом морские птицы, по-видимому, возвращали фосфор в круговорот. Сейчас основным поставщиком фосфора является человек, вылавливая большое количество морской рыбы, а также перерабатывающий донные отложения в фосфаты. Однако добыча и переработка фосфатов создает серьезные проблемы с загрязнением окружающей среды.

8.3.4. Круговорот воды

Около трети поступающей на Землю энергии Солнца затрачивается на приведение в движение круговорота воды. Море теряет из-за испарения воды больше, чем получает с осадками. На суше ситуация противоположная. То есть значительная часть осадков, поддерживающих экосистемы суши, приходит с моря. Однако немалый вклад в круговорот воды вносит и растительность данной конкретной местности, особенно в областях, находящихся в глубине континента, или же «экранированных» от моря грядой гор. Дело в том, что вода, поступающая в растения из почвы, почти полностью (97–99 %) испаряется через листья. Это называется транспирацией. Испарение охлаждает листья и способствует движению в растениях биогенных элементов. Одновременно это поддерживает локальные круговороты воды, позволяющие растительному миру успешно существовать в тех районах, которых влажные воздушные массы со стороны океана, приносящие атмосферные осадки, достигают достаточно редко.

В результате деятельности человека количество лесов на континентах катастрофически уменьшается – происходит вырубка со скоростью до 100 000 га в год. Правда, лес не обязательно теряет больше влаги в результате транспирации, чем травянистая растительность. Проблема в том, что леса способствуют удержанию влаги на данной территории. Для агроценозов, пришедших на смену лесам, характерно уплотнение и эрозия почв и увеличение стока воды. Это привело даже к тому, что в некоторых областях с достаточным количеством осадков возникли местные пустыни. Особенно велики потери для грунтовых вод в сильно урбанизированных районах, где велик процент водонепроницаемых покрытий. Все это нарушает локальные круговороты воды, приводя к засухам и одновременно к наводнениям в низовьях рек в периоды дождей, принесенных с моря. В средних широтах растения способны задерживать до 25 % воды, выпадающей в виде осадков. Остальная вода впитывается в почву или стекает по ее поверхности. Благодаря испарению часть ее возвращается в атмосферу.

8.4. Динамика экосистем

Одно из основных свойств экосистем и природы в целом – динамизм, изменчивость во времени различных количественных и качественных показателей. Любая экосистема, приспосабливаясь к изменениям внешней среды, находится в состоянии динамики. Это может касаться, как отдельных ее элементов (организмов, популяций, трофических групп), так и всей системы в целом. При этом динамика может быть связана, с одной стороны, с адаптациями к факторам, которые являются внешними по отношению к системе, а с другой – к факторам, которые создает и изменяет сама экосистема. Основными факторами, влияющими на развитие экосистем, являются: климатические (изменения, произошедшие в четвертичный период во время межледниковых и ледниковых периодов), геологические (эрозия, горообразование, вулканизм), эдафические (развитие почв), биологические (межвидовая конкуренция), деятельность человека (пожары, вырубки, интродукция новых видов животных и растений). Выделяют два основных типа динамики экосистем:

– *сукцессии* (от англ. *succession* – последовательность, ряд), представляющие собой последовательную смену составляющих биоценоза и соответствующего микроклимата на протяжении нескольких лет или десятилетий до достижения устойчивого состояния;

– *эволюция* – весьма длительный процесс их развития, способный сопровождаться коренными перестройками параметров экосистемы.

Сукцессионные процессы, в отличие от эволюционных, могут быть обратимыми.

8.4.1. Сукцессионные изменения

Сукцессия сопровождается внесезонными процессами определенной последовательности появления и исчезновения популяций разных видов в данном месте обитания. Например, наблюдения за заброшенным полем показывают, что его последовательно завоёвывают сначала многолетние травы, затем кустарники и, наконец, древесная растительность. Явление сукцессии известно давно, но более детальное его изучение началось относительно недавно.

Изменения в экосистемах могут происходить под воздействием различных причин. Различают *экзогенетические (аллогенные)* изменения, вызванные действием внешних геологических и климатических сил, воздействующих на экосистему, и *эндогенетические (автогенные)* изменения обусловленные воздействием процессов, происходящих в самой экосистеме, например конкурентной борьбой видов. Однако в большинстве случаев бывает затруднительно однозначно классифицировать причины наблюдающихся перемен. Например, зарастание озера может быть обусловлено поступлением в водоём извне значительного количества органико-минеральных веществ при эрозии почвы и разрушении рыхлых осадочных пород, а соответствующие изменения в видовом разнообразии фауны и флоры могут быть вызваны внутренними процессами, происходящими на фоне снижения межвидовой конкуренции за пищевые ресурсы.

Сукцессии бывают первичными и вторичными. *Первичными сукцессиями* называют освоение живыми организмами тех станций, которые никогда прежде не были заселены, т. е., иными словами, пустых мест. Впервые поселяющиеся в них организмы называют *пионерами*. *Вторичные сукцессии* возникают в районах, которые уже были заселены, но лишились своих обитателей в результате климатических (оледенения, пожары) или геологических (эрозия) явлений, а также из-за вторжения человека (распашка полей). Конечным этапом эволюции экосистемы является стабильный биоценоз, находящийся в равновесии со средой. Этот этап называется *климаксовым*.

Для любой сукцессии, особенно первичной, характерны следующие общие стадии протекания динамических процессов.

1. На начальных стадиях видовое разнообразие незначительно, продуктивность и биомасса малы, но по мере развития сукцессии эти показатели возрастают.

2. С развитием сукцессионного ряда увеличиваются взаимосвязи между организмами. Особенно возрастает количество и роль симбиотических отношений. Полнее осваивается среда обитания, усложняются цепи и сети питания.

3. Уменьшается количество свободных экологических ниш, и в климаксном сообществе они либо отсутствуют, либо находятся в минимуме. В связи с этим по мере развития сукцессий уменьшается вероятность всплесков численности отдельных видов.

4. Интенсифицируются процессы круговорота веществ, поток энергии и дыхание экосистем.

5. Скорость сукцессионного процесса в большей мере зависит от продолжительности жизни организмов, играющих основную роль в сложении и функционировании экосистем. В этом отношении наиболее продолжительные сукцессии в лесных экосистемах. Короче они в экосистемах, где автотрофное звено представлено травянистыми растениями, и еще быстрее протекают в водных экосистемах.

6. Неизменяемость завершающих (климаксных) стадий сукцессий относительна. Динамические процессы при этом не приостанавливаются, а лишь замедляются. Продолжаются динамические процессы, обуславливаемые изменениями среды обитания, сменой поколений организмов и другими явлениями. Относительно большой удельный вес занимают динамические процессы циклического характера.

7. В зрелой стадии климаксного сообщества биомасса обычно достигает максимальных или близких к максимальным значений. Неоднозначна продуктивность отдельных сообществ на стадии климакса. Обычно считается, что по мере развития сукцессионного процесса продуктивность увеличивается и достигает максимума на промежуточных стадиях, а затем в климаксном сообществе резко уменьшается. Последнее связывают, во-первых, с тем, что в это время максимум первичной продукции потребляется консументами, а, во-вторых, экосистема развивает чрезвычайно большую массу ассимиляционного аппарата, что ведет к дефициту освещенности, следствием чего является снижение интенсивности фотосинтеза при одновременном возрастании потерь продуктов ассимиляции на дыхание самих автотрофов.

В целом, опыт лесоводства свидетельствует о наиболее высокой продуктивности климаксных лесных сообществ (применительно к лесной зоне хвойных или смешанных хвойно-лиственных лесов). В противном случае, с точки зрения получения продукции (древесины), неизбежен вывод о нецелесообразности ориентации на выращивание и сохранение климаксных стадий лесов. Применительно к другим экосистемам, например луговым, можно согласиться с тем, что возможности получения продукции на климаксной стадии уменьшаются, однако не потому, что сокращается ее нарастание (прирост, продуктивность), а по той причине, что более значительная часть ее отчуждается гетеротрофами в результате образования устойчивых цепей выедания. Таким образом, продуктивность экосистем на климаксных стадиях сукцессий высока и может быть максимальной вследствие более полного освоения пространства (экотопа).

Сукцессионные процессы, не выводящие систему из стационарного состояния, т. е. процессы циклического и субциклического характера можно подразделить на несколько следующих типов.

1. Классический сукцессионный процесс, при котором видовые популяции организмов и типы функциональных связей между ними закономерно, периодически и обратимо сменяют друг друга. Такого рода субциклический процесс может протекать бесконечно долго в том случае, если внешние по отношению к экосистеме условия сохраняются, а среда обладает свойством самовосстановления. Хорошим тому примером может служить заиление колоний моллюсков-устриц в результате их жизнедеятельности. Это заиление ведет к деградации устричника (за отсутствием субстрата для оседания новых поколений устриц), и если сильные штормы или мутьевые потоки (в зависимости от батиметрии и рельефа) периодически удаляют ил, то такой устричник существует неопределенно долго. Если же это не происходит, то колония устриц постепенно сменяется соседней экосистемой, приуроченной к илистым грунтам. Цикличность в таких процессах может быть весьма различной и подчас очень сложной в связи с наложением циклов разной периодичности.

2. «Заторможенный» сукцессионный процесс – субциклический процесс, при котором одна или некоторые фазы сохраняются неопределенно долго. Эта ситуация уже давно обращала на себя внимание исследователей и нашла свое отражение в концепции климакс-сообщества. С первого взгляда из-за резко неодинаковой длительности фаз этот процесс не выглядит циклическим. Однако это не всегда так. Возьмем классический пример. Гарь зарастает мхами и пионерной травянистой растительностью, затем их сменяет ассоциация с малиной и иван-чаем, далее березняк, а затем неопределенно долго хвойный лес. Тем не менее, субциклическость здесь очевидна: хвойный лес (особенно в более северных районах его произрастания) постепенно истощает почву, в связи с этим усиливается покров сфагновых мхов (не нуждающихся в почвенном минеральном питании), и в конце концов на этом месте остается (опять же на неопределенно долгий срок) верховое болото. При чрезмерном росте болота сфагновый покров редет, открытая поверхность торфа начинает пылить, торф самовозгорается и после пожара остается гарь, обогащенная минеральными элементами, накопленными как в мертвых остатках леса, так и в торфе. В итоге все может начинаться сначала.

Важно отметить, что, для того чтобы рассмотренный субциклический процесс протекал неопределенно долго, необходимо, чтобы минимальный репрезентативный фрагмент

содержал представителей всех видовых популяций, характерных для его разных стадий. Практически это эквивалентно тому, что в пределах фрагмента имеются все варианты сообществ, существующих на каждой фазе. «Заторможенность» той или иной фазы, как, например, в случае тундровых болот, обычно обусловлена климатическими факторами, ограничивающими или, напротив, ускоряющими переход от одной фазы к другой (устойчивой). Видовой состав и численность популяций не меняются, отбор идет в основном в стабилизирующей форме. Неизменность видового состава и численности влечет за собой стабилизацию условий среды, для каждой из популяций, а это в свою очередь в сочетании с морфо-функциональными и морфогенетическими ограничениями приводит опять же к неизменности видового состава. Таким образом, имеет место устойчивость как на макро-, так и на более мелкомасштабном уровне описания.

3. Сукцессионно-переходный процесс, который в принципе заключается в переходе от ситуации, описанной в п. 1, к ситуациям п. 2, или наоборот. Этот процесс может наблюдаться при относительно малых изменениях макроусловий (например, климатических), в которых находится экосистема. Видовой состав в основном сохраняется, но соотношения между численностями популяций меняются. Меняются также макрохарактеристики системы (например, период сукцессионного цикла, поток энергии через систему и составляющие ее популяции и т.п.), однако эти изменения также не являются эволюционными, поскольку они адаптивны и обратимы, а восстановление макроусловий приводит к возврату к исходному состоянию. Объясняется все это тем, что диапазон изменения внешних условий здесь недостаточен для того, чтобы какие-нибудь из видов были бы устранены отбором или же чтобы были сняты морфогенетические ограничения на эволюцию хотя бы некоторых из них.

Рассмотрим ход вторичной сукцессии на примере развития процесса зарастания лесного озера и последовательного превращения его сначала в заболоченную территорию, а затем и в типично лесной участок (рис. 8.7). Процессы заболачивания большинства озер – естественны и развиваются повсеместно. Постепенно в прибрежной мелководной зоне озера развивается плотное растительное сообщество, состоящее как из полностью

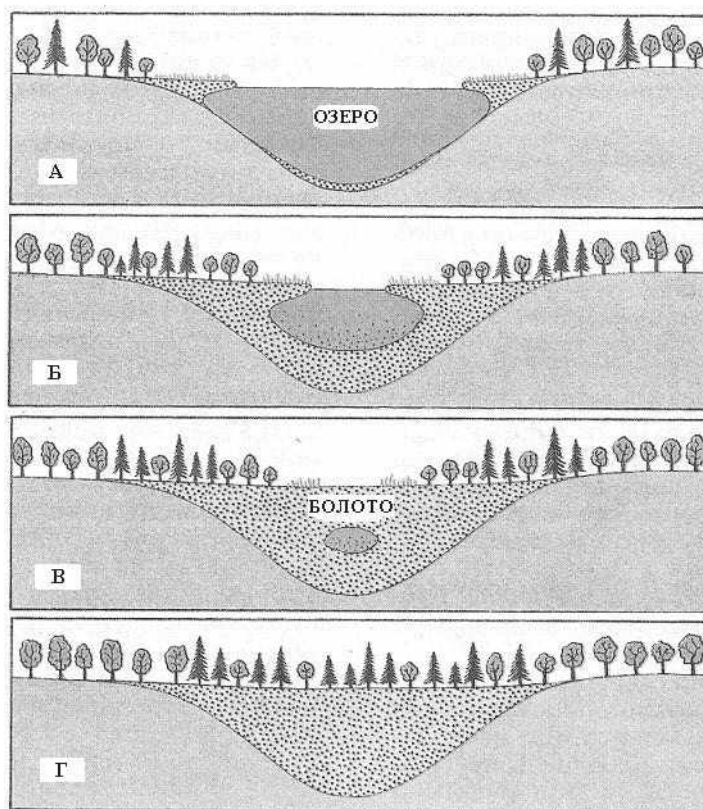


Рис. 8.7. Сукцессионный процесс трансформации озерной экосистемы: А – озеро; Б – процесс заболачивания; В – болото; Г – смешанный лес

погруженных в воду растений (рдесты, рогалистик, элодея канадская и др.), так и имеющих надводные побеги и листья (рогоз, осоки и др.). Впадающие в озеро ручьи и реки приносят значительное количество взвешенных и влекомых органических и неорганических веществ — ил, растительные остатки, песчаные и глинистые частицы. Вдоль мелющего побережья разрастается черная ольха и ива, выдерживающие подтопление. Увеличивается накопление мертвого органического вещества местного происхождения, в том числе за счет лиственного опада. В результате водоем продолжает интенсивно мелеть. На поверхности воды возникают плавающие образования органического материала, которые постепенно уплотняются и превращаются в своеобразные плавучие острова. В дальнейшем часть плавающего органического материала оседает на дно, чаша озера все больше заполняется илом и минеральными осадками. В определенный момент площадь растительных плавучих островов возрастает на столько, что они смыкаются, закрывая практически все водное зеркало. С этого момента озеро превращается в низовое болото, с характерной наземной влаголюбивой растительностью. Далее постепенно образуется примитивная почва, возникают условия для произрастания луговых трав и кустарников, затем лиственных пород деревьев (березы, осины и др.), появляется молодь хвойных пород, в основном ели, которая постепенно захватывает верхний ярус формирующегося леса, пользуясь своей теневыносливостью. Весь процесс сукцессионной трансформации зависит от размера озера и его глубины. Для малых озер и прудов с глубинами не более 3 м превращение озера в болото возможно примерно за 50–60 лет, а на развитие на месте болота лесного массива потребуется еще 60–100 лет.

В районах, где наблюдаются существенные подвижки земной коры, связанные с ее медленным опусканием или возвышением, как например, в бассейне Балтийского моря, сукцессионные изменения озерных экосистем могут менять свое направление, вплоть до распада болот и повторного формирования на их месте водоемов. Некоторые специалисты геоморфологи даже используют термин «болотная тектоника». Наиболее выраженной цикличностью обладают сукцессии, формирующиеся в районах периодического угнетения экосистем, например под влиянием крупных лесных пожаров, которые на Карельском перешейке, согласно анализу почвенной структуры в ряде районов, происходят раз в 50–60 лет. После гибели значительного количества деревьев, кустарников и трав начинается многоэтапный процесс восстановления лесного сообщества, который обычно успешно завершается.

Наряду с природными факторами причинами динамики экосистем все чаще выступает человек. К настоящему времени им разрушено большинство коренных (климаксных) экосистем. Например, степи почти полностью распаханы (сохранились только на заповедных участках). Преобладающие площади лесов представлены переходными (временными) экосистемами из лиственных древесных пород (береза, осина, реже ива, ольха и др.). Эти леса обычно называют производными, или вторичными. Они, как отмечалось выше, являются промежуточными стадиями сукцессий. К сменам экосистем ведут также такие виды деятельности человека, как осушение болот, чрезмерные нагрузки на леса. Например, в результате отдыха населения (рекреации), химических загрязнений среды, усиленного выпаса скота, пожаров и т.п. Антропогенные воздействия часто ведут к упрощению экосистем. Такие явления обычно называют деградациями. Различают, например, пастбищные, рекреационные и другие деградации. Смены такого типа обычно завершаются не климаксными экосистемами, для которых характерно усложнение структуры, а стадиями, которые нередко заканчиваются полным распадом экосистем (катастрофами). Климаксные экосистемы обычно чувствительны к различным вмешательствам в их жизнь. К подобным воздействиям, кроме хвойных лесов, чувствительны и другие коренные сообщества, например дубовые леса. Это одна из причин катастрофической гибели дубрав в современный период и замена их, как и хвойных лесов, менее ценными, но более устойчивыми временными экосистемами из березы, осины, кустарников или трав. Последнее особенно типично при разрушении степных и лесостепных дубрав.

8.4.2. Эволюция экосистем

Эволюционные процессы принципиально отличаются от сукцессионных тем, что они необратимы, а следовательно, не имеют цикличности. При этом обычно необратимо одновременно меняются как макро-, так и микрохарактеристики системы. Периоды разрушения и восстановления среды здесь никак не согласованы и преобладает движущая форма естественного отбора. В силу неравномерности темпов эволюции наиболее интенсивный отбор идет до тех пор, пока не будет достигнуто новое устойчивое макросостояние по типу первого или второго из описанных выше. Это вовсе не означает, что микроэволюция после этого полностью прекращается, она идет заметно более медленными темпами, не меняя тех наиболее существенных характеристик и того набора массовых видов, которые мы учитываем при выделении и описании экосистем.

Причины эволюции экосистем можно разделить на 2 категории. К *экзогенным причинам* можно отнести изменение физико-географических условий, приводящее к нарушению функционирования экосистем. Однако если такие изменения локальны и постепенны, то это, как правило, ведет к смещению областей распространения экосистем, причем при восстановлении условий экосистемы могут вернуться на прежние места. Достаточные примеры этого дают нам изменения природной зональности умеренных и холодных широт Северного полушария в течение плейстоцена – голоцена. Значит, нужны более серьезные глобальные изменения, а они в свою очередь обычно связаны с изменениями планетарного или даже космического характера. Следует подчеркнуть, что такие изменения сами по себе не приводят к «прогрессивной» эволюции, но скорее к деградации и упрощению экосистем вследствие исчезновения части видовых популяций, хотя бы даже характерных только для одной из фаз сукцессии. Дальнейшую прогрессивную эволюцию обуславливают *эндогенные* или эндогенные в сочетании с экзогенными причины.

Интересный пример эволюционного пути развития экосистем дает нам история внутренних морей – Балтийского, Черного, Азовского и Каспийского морей. Рассмотрим некоторые аспекты их эволюции.

Около 20 тыс. лет назад ледник, сползший к концу ледникового периода со Скандинавского полуострова на земли Западной и Восточной Европы, начал таять, медленно отступая на север. В настоящее время, благодаря применению геохронологического метода, предложенного шведским ученым Герхардом Якобом де Геером, удалось довольно точно изучить картину отступления последнего ледника, а также исчислить время этого отступления по его отдельным последовательным фазам. Сущность данного геохронологического метода заключается в следующем. Одним из характерных типов отложений приледниковых озер являются ленточные глины, широко распространенные по всей зоне отступления ледника. Они имеют равномерно-слоистую структуру, зависящую от чередования более темных и более светлых тонких слоев или лент. На взгляд ленточные глины имеют полосатый вид. Они образованы тальми водами отступающего ледника за счет размывания более ранних коренных отложений. Каждая светлая песчаная полоска ленточных глин вместе со своей соседней темной глинистой полоской соответствует *годовому циклу* таяния отступающего ледника точно так же, как кольцевой слой в древесном стволе соответствует годовичному циклу роста дерева. Подсчет годовичных слоев в ленточных глинах на достаточно широкой территории дает возможность исчислить число лет таяния ледника на данной территории. Изучение ленточных глин на территории Карелии выявило, что, например, в Прионежье ледник отступал к северу со скоростью 160 м в год. На продвижение ледника от южного конца Клименецкого острова (Онежское озеро) до Медвежьей горы (расстояние около 140 км) понадобилось 600–700 лет. Подобные же наблюдения у Финского залива Балтийского моря привели к выводу, что ледник покинул широту нынешнего Санкт-Петербурга 12 400 лет назад. Применяя такого рода подсчеты вместе с некоторыми другими приемами, де Геер и его последователи установили, что со времени начала отступления ледника от южной окраины Скандинавии и до нашего времени прошло около 14 000–15 000 лет. Изучение геологических отложений, главным образом морских террас и содержащихся в них остатков водной фауны, моллюсков и

водорослей, позволило установить, что экосистема Балтийского моря прошла целый ряд стадий в своей послеледниковой истории.

После того как край ледника начал отступать на северо-запад Скандинавии, оставленные материковым льдом впадины стали заливаться водой. Образовалось Южно-Балтийское приледниковое озеро, заливом которого была современная Ладога. Его уровень часто менялся. Около 12 тыс. лет назад суша в Южной Швеции сильно понизилась, что привело к резкому падению уровня озера. Более 11 тыс. лет назад Южно-Балтийское приледниковое озеро объединилось с другими водоемами, возникшими несколько севернее, на месте продолжавшего отступать ледника. В результате образовалось обширное пресное Балтийское ледниковое озеро. Воды его частично стекали в Белое море. Южная Ладога была тогда сушей, северная же ее часть была значительно глубже нынешней.

Примерно 10 тыс. лет назад ледник сошел с территории Средней Швеции – и уровень озера упал почти на 30 м. Так образовалось Иольдиевое море (рис. 8.8.А), соединившееся через пролив Нерке с океаном. Ладога впервые стала самостоятельным озером. Уровень его определялся стоком в северной части нынешнего Карельского перешейка. Воды Иольдиева моря были солоноватыми, в составе его фауны и флоры были в основном толерантные океанические и морские солоновато-водные виды.

Через 700 лет пролив Нерке за счет подъема земной коры обмелел. На его месте образовалась река Свья. Так 9 тыс. лет назад Иольдиевое море превратилось в пресное Анцилово озеро (рис. 8.8.Б). Соответствующим образом изменился химический состав воды и биоценоз. Еще через 600 лет сток из озера совсем прекратился. Уровень его стал расти. На севере Карельского перешейка образовался пролив – и Ладога стала заливом Анцилового озера. Около 8 тыс. лет назад воды озера обрели сток в Северное море через Дарсский порог и Большой Бельт. После этого уровень воды упал почти на 15 м. Пролив на севере Карельского перешейка осушился и стал речкой, вытекавшей из района Хейнийоки (у поселка Вещево) и впадавшей в Выборгский залив. Порог стока Ладоги стал выше – и южная часть озера была затоплена. Примерно в это же время скандинавский ледник полностью завершил свое таяние. Сток рек в Балтийскую котловину резко снизился. Уровень ее стал ниже, и туда начали поступать соленые океанические воды. Так Анцилово озеро превратилось в солоноватое Литориновое море. В дальнейшем Датские проливы обмелели – и поступление соленой воды в Литориновое море сократилось, результатом чего стало постепенное превращение его – через стадии Древне-Балтийского моря (более 6 тыс. лет назад) и моря Лимнея (около 6 тыс. лет назад) – в современную Балтику. Свидетелем этих процессов был доисторический человек. Нынешняя стадия

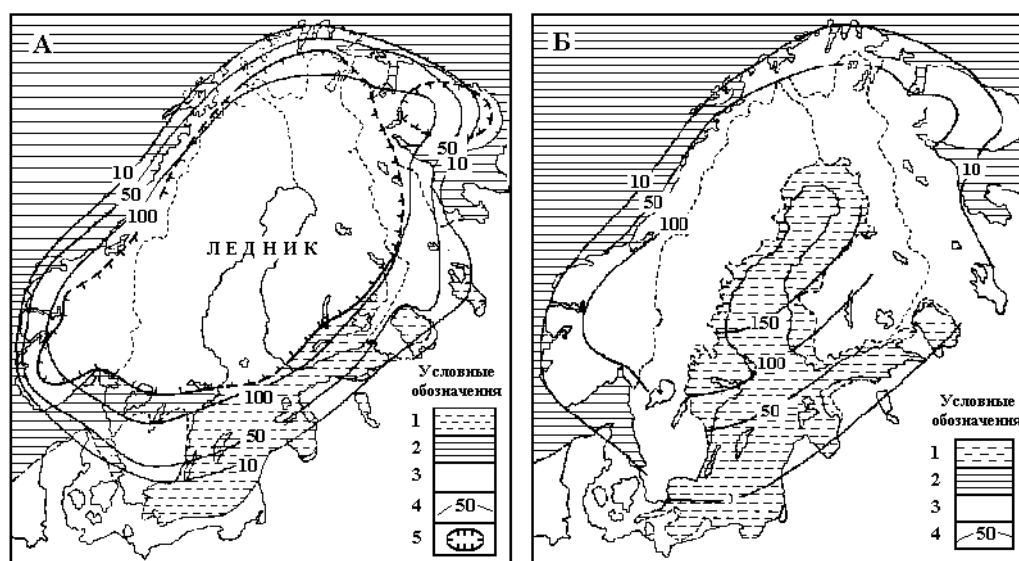


Рис. 8.8. Развитие экосистемы Балтийского моря: А – Иольдиевое море; Б – Анцилово озеро; 1 – воды моря; 2 – воды океана; 3 – континентальные области; 4 – высотные отметки ледниковых террас (м); 5 – границы ледника

эволюции Балтийского моря, продолжающаяся уже более двух с половиной тысячелетий, именуется Миа (по имени моллюска, обитающего на песчаном дне – *Mia arenaria*). Суша в области Ладоги поднималась на севере быстрее, чем на западе, протока в Финский залив по р. Вуоксе (Хейнийокская протока) постепенно отмирала. Ладога стала замкнутым озером – и вода в нем заполнила долину Мги, подошла к перемычке на месте Ивановских порогов, поднялась на двенадцать метров и, наконец, прорвала перемычку. Началась разработка русла Невы. Из воды поднялись острова, бывшие до того отмелями. В ложбины хлынула вода – и появились основные рукава Невской дельты. Произошло это примерно 4 тыс. лет назад.

Рассматривая эволюцию экосистем Черного и Азовского морей, следует отметить, что возраст Черноморской впадины служит объектом постоянных дискуссий. Одни исследователи считают, что несколько десятков миллионов лет назад Черное и Азовское моря вместе с огромной территорией вокруг них были заполнены солеными водами единого океана, называемого Тетис. Позднее этот океан распался на отдельные замкнутые морские бассейны, между которыми поднялись хребты Кавказа, Крымские горы, Карпаты и др. Несколько позже один из таких бассейнов включал в себя Черноморскую и Каспийскую впадины. Образовалось обширное Сарматское озеро, которое охватывало не только эти два моря, но еще Предкавказье, Аральское море и Среднедунаскую впадину.

В центре бассейна большим островом возвышались цепи Большого Кавказа. В дальнейшем, в результате тектонических движений возникло Понтическое море-озеро (рис. 8.9.В). Это был последний бассейн, который объединял Черное и Каспийское моря – активные тектонические движения земной коры вскоре вызвали его распад.

Большинство исследователей придерживаются гипотезы, что Черное море возникло в мезозое как мелководный бассейн. В олигоцене, миоцене и в нижнем плиоцене на этом месте сформировались глубокие тектонические впадины, которые в последствии соединились и образовали единую котловину примерно 7 млн лет назад. Дно котловины имело тенденцию к опусканию со скоростью 0,8–0,6 мм в год. Опускание дна происходило по глубинным разломам, одновременно оно захватывало новые территории окружающей суши. Подъем уровня моря (трансгрессия) вне континентального слоя привели к образованию современной шельфовой зоны моря. Установлено, что в четвертичном периоде существовали следующие этапы развития Черноморского бассейна: чаудинский, древнеэксинский, новоэксинский и древнечерноморский.

1. Типичные отложения чаудинского, наиболее древнего этапа находятся у мыса Чауда (южный берег Керченского полуострова). На

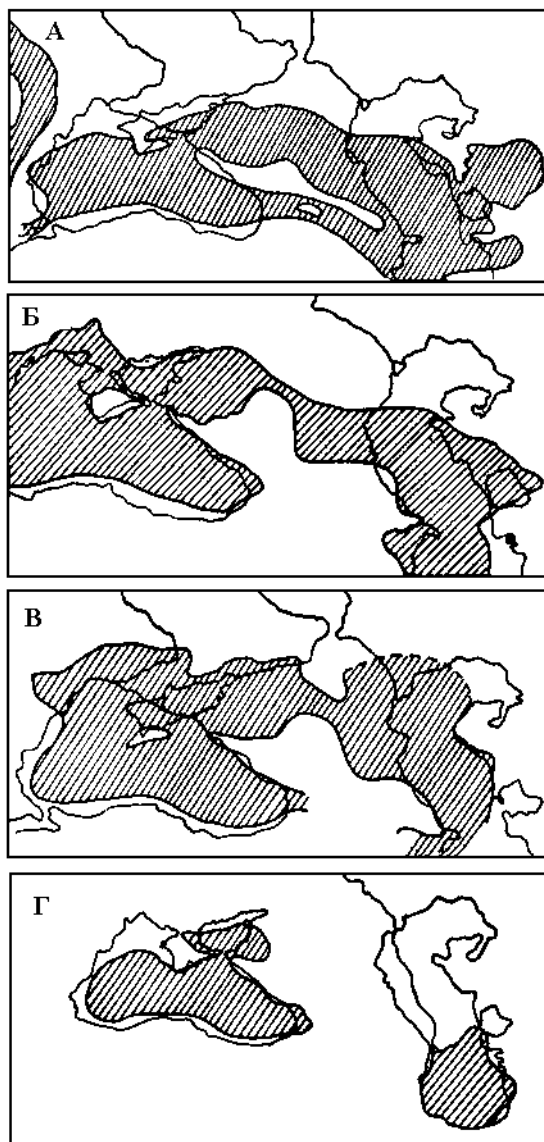


Рис. 8.9. Стадии развития экосистем Черного и Каспийского морей: А – среднемиоценовый бассейн (от 15 до 12 млн. лет назад); Б – меотийский бассейн (от 2 до 3 млн лет назад); В – Понтическое море (Киммерийский бассейн) (от 2 до 1,5 млн лет назад); Г – Карангатское море (от 150 до 100 тыс. лет назад)

Кавказском побережье чаудинская морская терраса располагается на высоте 100–110 м над уровнем моря, обнаружена в районе Геленджика, Юго-восточнее Туапсе, в Абхазии и в других местах. В период, когда между Средиземным и Черным морями не существовало связи, Каспийское и Черное моря соединялось Кумо-Манычским проливом. Соленость вод бассейна составляла 12–14 ‰, т. е. существенно ниже современного значения.

2. Следы древнеэвксинского солоноватого бассейна обнаруживаются почти на всем черноморском побережье. На Кавказском побережье древнеэвксинская терраса, имеющая высоту 55–90 м, датирована по остаткам животных, а в Колхиде, вблизи устья реки Риони, эта терраса обнаружена на глубине 190 м. Около города Николаева она находится на глубине 20 м. Связь между водами тогдашнего солоновато-водного Каспийского бассейна и Черного моря подтверждается общностью фауны обоих бассейнов.

3. Узунларский бассейн был более соленым (16 ‰), чем древнеэвксинский. В южной части бассейна вследствие осолонения водами, проникающими через Босфор, появилась солоновато-водная фауна, а в северной части еще обитала древнеэвксинская. На Кавказском побережье узунларская терраса лежит на 40–45 м выше уровня современного моря.

4. На карангатском этапе развития море осолоняется (соленость 22 ‰) и имеет уже средиземноморскую фауну (рис. 8.9.Г). Карангатские морские отложения широко распространены по всему черноморскому побережью. У мыса Карангат (Керченский полуостров) они находятся на высоте 7–8 м над уровнем.

На последних этапах развития Черноморского бассейна особенно ярко были выражены периоды снижения уровня моря (регрессии), когда уровень Черного моря понизился на 90 м. Связь между Черным и Средиземным морями через пролив Босфор прекратилась. Воды Черного моря опреснились, о чем свидетельствует фауна того периода, характерная для вод с соленостью до 7 ‰. Эта регрессия произошла 25–30 тыс. лет назад. С понижением уровня моря на болгарском побережье русла больших рек углубились на 25–30 м. На кавказском побережье углубление русел достигло 40–50 м. Именно тогда реки Дона сформировали Керченский пролив.

В период новой черноморской трансгрессии, 10 тыс. лет назад, связь Черного моря со Средиземным через пр. Босфор восстанавливается. Фауну Черного моря обогащают новые виды, преимущественно средиземноморские. Существует множество археологических свидетельств, указывающих на колебания уровня Черного моря в историческое время, на протяжении последних нескольких тысяч лет. Во многих районах море разрушило и затопило остатки древнегреческих городов и храмов, стоявших на берегу. Например, у побережья южной Украины, около устья реки Южный Буг, находился древнегреческий город Ольвия. Под водой оказались участки греческих колоний Херсонеса и Пантикопеи в Крыму, Фанагории на Таманском полуострове Краснодарского края и т.д. Археологи считают, что в IV–III вв. до нашей эры уровень Черного моря был на 3–4 м ниже, чем теперь. Эту морскую регрессию называют фанагорийской.

Основными причинами колебаний уровня Черного моря в четвертичный период (плейстоцен + голоцен) являются тектонические движения в районе проливов Босфор и Дарданелл, а также крупномасштабные климатические изменения, влияющие на уровень Мирового океана в целом. Климатические колебания приводили к возникновению оледенений, чередующихся с межледниковыми более теплыми периодами. Максимальное развитие ледников совпадает с самым низким уровнем океана.

Таким образом, как и при рассмотрении эволюции экосистемы Балтийского моря, мы видим, что Азово-Черноморский регион в процессе своей эволюции прошел через ряд стадий возникновения и утраты связи с солеными водами Средиземного моря, в процессе которых озерный характер экосистемы сменялся морским или солоновато-водным. Это наложило определенный отпечаток и на состав современной флоры и фауны Черного моря. Из 180 постоянно обитающих здесь видов рыб многие демонстрируют эвригалинность, т. е. способность жить и размножаться в достаточно существенном диапазоне соленостей воды.

8.5. Биосфера как глобальная экосистема Земли

8.5.1. Понятие биосферы

Впервые термин *биосфера*, как «область жизни», был введен в науку французским эволюционистом Ж.Б. Ламарком в начале XIX в., а в геологию – австрийским геологом Э. Зюссом в 1875 г. Э. Зюсс, занимаясь исследованием геологических пород, обнаружил, что в большинстве районов имеются ископаемые останки животных и растений. Обобщив данные о современном распространении жизни на Земле, он пришел к выводу, что организмы образуют на поверхности, в почвенном слое и водоемах практически сплошную зону жизни, которую и назвал «биосфера», понимая под этим термином совокупность всех живых существ. Это определение близко к современному понятию «биота». В.И. Вернадский в первой половине XX в. значительно расширил наше представление о биосфере, которая теперь уже рассматривалась не просто как область жизни, а в виде единой системы живого и неживого вещества планеты. Кроме того, согласно В.И. Вернадскому, биосфера в своем функционировании тесно связана с космосом, с космическими излучениями, с гелиобиологическими и гелиогеофизическими климатообразующими процессами.

Биосфера составляет верхнюю оболочку или геосферу, одну из больших концентрических областей нашей планеты Земли. Если с понятием «биосферы» по Э. Зюссу связывалось только наличие в трех сферах земной оболочки (твердой, жидкой, газообразной) живых организмов, то по В.И. Вернадскому им отводится роль главнейшей геохимической силы. В таком случае под понятием биосферы понимается все пространство, где существует или когда-либо существовала жизнь, где встречаются живые организмы или продукты их жизнедеятельности. Согласно закону биогенной миграции В.И. Вернадского, «миграция химических элементов на поверхности Земли осуществляется при непосредственном участии живых организмов или в среде, физические и химические особенности которой обусловлены жизненной активностью». Этим подчеркивается, во-первых, колоссальная роль организмов в миграции и химическом преобразовании веществ, и, во-вторых, в понятие «биосфера» справедливо включать не только самих организмов, но и те пределы геосфер Земли (атмосферы, гидросферы и земной коры), физические и химические параметры которых в существенной мере зависят от деятельности компонентов соответствующих биоценозов.

8.5.2. Границы биосферы

В современном понимании биосфера включает в себя часть атмосферы, верхнюю часть литосферы (земную кору) и гидросферу. Верхняя граница биосферы располагается примерно на высоте 20–22 км над поверхностью Земли, т. е. до верхней границы озонового экрана, а нижняя граница в твердом теле планеты находится примерно на 6–7-километровой глубине, определяясь зонами распространения температур в земной коре, не превышающих, по-видимому, 100 °С. Гидросфера заселена жизнью полностью. Даже во мраке и холоде самых глубоких впадин, при гидростатическом давлении в сотни и тысячи атмосфер существуют свои биоценозы. Биосфера принципиально отличается от прочих земных оболочек, поскольку является «комплексной». Она не только «покров» из живого вещества, но и среда обитания миллионов видов живых существ, в том числе и человека. Биосфера – это дом, созданный на Земле жизнью и для жизни.

В.И. Вернадский впервые обосновал границы жизни в биосфере, показал, что в природе нет более мощной геологической средообразующей силы, чем живые организмы и продукты их жизнедеятельности. Ту часть биосферы, где живые организмы встречаются в настоящее время, обычно называют современной биосферой, или *необиосферой*, а древние биосферы относят к *палеобиосферам*, или к белым биосферам.

К необиосфере следует относить также и донные отложения, где возможно существование живых организмов. В литосферу жизнь проникает на несколько километров, но в основном ограничивается почвенным слоем, но по отдельным трещинам и пещерам она распространяется на сотни метров. Границы палеобиосферы в атмосфере примерно совпадают с необиосферой, под водами к палеобиосфере следует относить и осадочные породы, которые практически полностью претерпели переработку живыми организмами. Это толща от сотен метров до десятков километров. Это применимо и к литосфере, пережившей водную стадию функционирования. Таким образом, границы биосферы определяются наличием живых организмов или «следами» их жизнедеятельности.

Масса живого вещества биосферы Земли весьма мала относительно общей массы геосфер Земли. Она составляет около 2420 млрд т, что более чем в 2 тыс. раз меньше массы самой легкой оболочки Земли – атмосферы. Но эта ничтожная масса живого вещества встречается практически повсюду – в настоящее время живые существа отсутствуют лишь в областях обширного оледенения и в кратерах вулканов. «Всюдность жизни» в биосфере обязана потенциальным возможностям и масштабу приспособляемости организмов, которые постепенно, захватив моря и океаны, вышли на сушу и освоили ее как новую среду обитания.

Жизнь демонстрирует свойства удивительной способности к приспособлению по отношению к различным условиям среды обитания. Некоторые бактерии могут существовать даже в вакууме. Широкий диапазон химических условий среды для ряда организмов – от жизни в уксусе до жизни под действием ионизирующей радиации (бактерии в котлах ядерных реакторов). Более того, выносливость некоторых живых существ позволяет им выходить даже за пределы биосферы. В целом, экологический диапазон распространения живого вещества очень велик. Приведем несколько примеров.

1. В 1977 г. в океане на глубине нескольких километров были обнаружены горячие вулканические зоны, в которых при температуре 350 °С существуют многочисленные термофильные бактерии.

2. В экспериментах американского исследователя Камерона сине-зеленые водоросли на протяжении нескольких месяцев не теряли жизнеспособности в условиях, которые соответствовали марсианским.

3. Живое вещество не гибнет в жидком азоте.

4. Некоторые виды, например сине-зеленые водоросли, не гибнут под действием мощного ионизирующего излучения и поселяются в эпицентре ядерного взрыва уже после нескольких дней его действия. Высока также стойкость сине-зеленых водорослей, и в особенности их спор, к воздействию ультрафиолетового излучения.

5. Живое вещество может сохраняться даже в условиях открытого космоса. Так, третья экспедиция американских астронавтов забыла на Луне телекамеру. Когда через полгода ее возвратили на Землю, на внутренней стороне крышки были обнаружены земные бактерии, которые без каких-либо вредных последствий пережили длительное нахождение за пределами родной планеты.

8.5.3. Состав и свойства биосферы

Биосфера, являясь глобальной экосистемой, как и любая экосистема, состоит из абиотической и биотической частей.

Абиотическая часть представлена:

1) почвой и подстилающими ее породами до глубины, где еще есть живые организмы, вступающие в рис. 8.9. Стадии развития экосистем Черного и Каспийского морей: а) среднемиоценовый бассейн (от 15 до 12 млн. лет назад); б) меотийский бассейн (от 2 до 3 млн лет назад); в) Понтическое море (Киммерийский бассейн) (от 2 до 1,5 млн лет назад); г) Карангатское море (от 150 до 100 тыс. лет назад)

2) обмен с веществом этих пород и физической средой порового пространства;

3) атмосферным воздухом до высот, на которых возможны еще проявления жизни;

4) водной средой – океаны, реки, озера и т.п.

Биотическая часть состоит из живых организмов всех таксонов, осуществляющих важнейшую функцию биосферы, без которых не может существовать сама жизнь: биогенный ток атомов. Живые организмы осуществляют этот ток атомов благодаря своему дыханию, питанию и размножению, обеспечивая обмен веществом между всеми частями биосферы.

В основе биогенной миграции атомов в биосфере лежат 2 биохимических принципа:

- стремиться к максимальному проявлению, к «всюдности» жизни;
- обеспечить выживание организмов, что увеличивает саму биогенную миграцию.

Эти закономерности проявляются, прежде всего, в стремлении живых организмов «захватить» все мало-мальски приспособленные к их жизни пространства, создавая экосистему или ее часть. Но любая экосистема имеет границы, имеет свои границы в планетарном масштабе и биосфера.

При общем рассмотрении биосферы, как планетарной экосистемы, особое значение приобретает представление о ее живом веществе, как о некой общей живой массе планеты. Под живым веществом В.И. Вернадский понимает все количество живых организмов планеты как единое целое. Его химический состав подтверждает единство природы – он состоит из тех же элементов, что и неживая природа, только соотношение этих элементов различное и строение молекул иное. Биосфере, как и составляющим ее другим экосистемам более низкого ранга, присуща *система свойств*, которые обеспечивают ее функционирование, саморегулирование, устойчивость и другие параметры. Рассмотрим основные из них.

1. Биосфера – централизованная система. Центральным звеном ее выступают живые организмы (живое вещество).

2. Биосфера – открытая система. Ее существование невозможно без поступления энергии извне. Она испытывает воздействие космических сил, прежде всего солнечной активности.

3. Биосфера – саморегулирующаяся система, для которой, как отмечал Вернадский, характерна организованность. В настоящее время это свойство называется гомеостазом, понимая под ним способность, возвращаться в исходное состояние, компенсировать возникающие возмущения включением ряда механизмов. Биосфера за свою историю пережила ряд таких возмущений, среди которых интенсивные извержения вулканов, встречи с астероидами, землетрясения, горообразование и т.п. Но благодаря действию гомеостатических механизмов и, в частности, принципа устойчивости Ле-Шателье–Брауна при действии на систему сил, выводящих ее из состояния устойчивого равновесия, происходит ее смещение в том направлении, при котором эффект этого воздействия ослабляется.

Опасность современной экологической ситуации связана, прежде всего, с тем, что нарушается линия механического гомеостаза и принцип устойчивого функционирования если не в планетарных, то в крупных региональных масштабах. Результат – распад экосистем либо появление неустойчивых, практически лишенных свойств гомеостаза систем типа агроценоза или урбанизированных комплексов.

4. Биосфера – система, характеризующаяся большим разнообразием. Разнообразие – важнейшее свойство всех экосистем. Биосфера как глобальная экосистема, характеризуется максимальным среди других систем разнообразием. Разнообразие рассматривается как основное условие устойчивости любой экосистемы и биосферы в целом. Это условие так универсально, что сформировалось в качестве закона.

5. Важнейшее свойство биосферы – наличие в ней механизмов, обеспечивающих круговорот вещества и связанного с ним неисчерпаемость отдельных химических элементов и их соединений.

8.5.4. Живое вещество биосферы

Живое вещество биосферы есть совокупность всех ее живых организмов. В.И. Вернадский понимает, что биосфера как объект его исследований требует некоторых характеристик, а поэтому отмечает: «Я буду называть совокупность организмов, сведенных

к массе, химического состава и энергии, живым веществом». Живое вещество в его понимании – это форма активной материи, и ее энергия тем больше, чем больше масса живого вещества. Понятие «живое вещество» ввел в науку В.И. Вернадский и понимал под ним совокупность всех живых организмов планеты. Рассмотрим *основные свойства живого вещества*.

1. Живое вещество биосферы характеризуется огромной свободной энергией, которую можно было бы сравнить разве что с огненным потоком лавы, но энергия лавы не долговременна.

2. В живом веществе, благодаря присутствию ферментов, химические реакции происходят в тысячи, а иногда и в миллионы раз быстрее, чем в неживой. Для жизненных процессов характерно то, что полученные организмом вещества и энергия перерабатываются и отдаются в значительно больших количествах. Например, масса насекомых, которых съедает синица за день, равна ее собственной массе, а некоторые гусеницы употребляют и перерабатывают за сутки в 200 раз больше еды, чем весят сами.

3. Индивидуальные химические элементы (белки, ферменты, а иногда и отдельные минеральные соединения) синтезируются только в живых организмах.

4. Живое вещество стремится заполнить собой все возможное пространство. В.И. Вернадский называет 2 специфические формы движения живого вещества:

а) пассивную, которая осуществляется размножением и присуща как животным, так и растительным организмам;

б) активную, которая осуществляется за счет направленного движения организмов (в меньшей степени характера для растений).

5. Живое вещество проявляет значительно большее морфологическое и химическое разнообразие, чем неживое. В природе известно более 2 млн органических соединений, которые входят в состав живого вещества, тогда как количество минералов неживого вещества составляет около 2 тыс., на три порядка ниже.

6. Живое вещество представлено дисперсными телами – индивидуальными организмами, каждый из которых имеет свой собственный генезис, свой генетический состав. Размеры индивидуальных организмов колеблются от 2 нм у наименьших до 100 м. Крупнейшими из растений считаются секвойи, а из животных – киты. По мнению Вернадского, минимальные и максимальные размеры организмов определяются граничными возможностями их газового обмена со средой.

7. Будучи дисперсным, живое вещество никогда не попадает на Земле в морфологически чистой форме, например в виде популяционного вида. Она может существовать только в виде биоценоза: «... даже простенький биоценоз какого-то сухого сосняка на песочке есть группировка, которая состоит приблизительно из тысячи видов живых организмов».

8. Живое вещество в лице конкретных организмов, в отличие от неживого, осуществляет на протяжении своей исторической жизни грандиозную работу. По сути, только биогенные вещества метабиосферы – это интеграл массы живого вещества, тогда как масса неживого вещества земного происхождения является величиной постоянной в геологической истории: 1 г архейского гранита и сегодня остается 1 г того же вещества, а та же масса живого вещества, т. е. 1 г, на протяжении миллиардов лет существовала за счет изменения поколений и все это время выполняла геологическую работу.

8.5.5. Функции живого вещества в биосфере

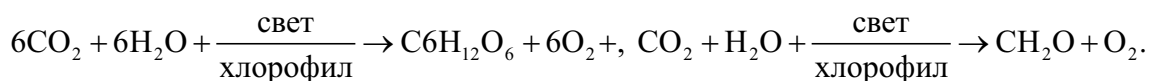
Живое вещество в биосфере выполняет ряд важнейших функций, обеспечивающих поддержание необходимых и достаточных условий своего существования. В.И. Вернадский основными среди них считал следующие: а) энергетическая; б) концентрационная; в) деструктивная; г) средообразующая; д) транспортная; е) газовая, в том числе кислородная, ж) окислительно-восстановительная; и) разрушения органических веществ (табл. 8.1).

Табл. 8.1. Основные функции живого вещества в биосфере

Функции	Краткая характеристика процессов
Энергетическая	Поглощение солнечной энергии в процессе фотосинтеза, а химической энергии – путем распада энергонасыщенных веществ; передача энергии пищевыми цепями разнородного живого вещества. Согласно В.И. Вернадскому, «только жизнь с его морфологическим осложнением может удерживать солнечное излучение на Земле миллионы лет, как мы увидим на примере каменного угля. Действительно, только благодаря «зеленому экрану» биосферы – фотоавтотрофам, солнечная энергия не просто отбивается от поверхности планеты, нагревая только поверхностный слой, а глубоко проникает в толщи земной коры и является энергетическим источником, по сути, для всех экзогенных процессов».
Концентрационная	Выборочное накопление в ходе жизнедеятельности отдельных видов вещества: а) использованной для создания тела организма; б) выделенной из него в процессе метаболизма.
Деструкционная	Минерализация небиогенного органического вещества (1); разложение неживого неорганического вещества (2); всасывание созданных веществ в биохимический круговорот (3).
Средообразующая	Превращение физико-химических параметров среды (главным образом за счет небиогенного вещества).
Транспортная	Перенос вещества против силы тяжести и в горизонтальном направлении.
Газовая	Выработка и регуляция потоков кислорода, углекислого газа, метана и других газов.
Окислительно-восстановительная	Окислительно-восстановительные реакции в воде, земной коре, почве и в нижних слоях атмосферы, обеспечивающие глобальный круговорот веществ

Следует напомнить, что проявление фотосинтеза, которое является главным компонентом движения вещества и энергии в биосфере, стало известно только во второй половине XVIII в. В 1772–1782 гг. Д. Пристли, Я. Ингенхауз и Ж. Сеисбье, дополняя друг друга, описали процесс воздушного углеродного поглощения, или фотосинтеза. Через столетие К.А. Тимирязев (1843–1920) раскрыл энергетическую закономерность фотосинтеза как процесса использования света для образования органического вещества в растениях. Механизм фотосинтеза был раскрыт американским биохимиком Кальвином, за что ему была присвоена Нобелевская премия. Сегодня под фотосинтезом понимают превращение зелеными растениями и фотосинтезирующими организмами лучистой энергии Солнца. Процесс фотосинтеза происходит при участии поглощающих свет пигментов (кислород и др.). Попадая в клетку зеленого листа, углекислый газ присоединяется к акцептору, с которым продолжает дальнейшие движения и превращения. Благодаря ферменту альдолазы образуется простой сахар – глюкоза, а из него – сахароза и крахмал. Часть синтезированного вещества в этом процессе переходит снова в акцептор – так образуется авторегулируемый циклический процесс. Далее с участием других ферментов сахара превращаются в белки, жиры и другие органические вещества, необходимые для жизни растений.

Основа реакции фотосинтеза имеет такой вид:



За год растения суши и океана запасают такое количество энергии продуктов фотосинтеза, которое в 100 раз превышает производство энергии всеми электростанциями мира.

В целом, *энергетическая функция* живого вещества в биосфере заключается в аккумуляции энергии и ее перераспределении по пищевым цепям. Жизнь возникает в соответствии с принципом Ле Шателье–Брауна, как ответ на рост энтропии, на рассеяние энергии в окружающей среде. Поэтому концентрация энергии – это наиболее естественная функция жизни. Наличие живой оболочки планеты препятствует остыванию ее поверхности, аккумулируя в себе энергию, излучаемую в космос. Правда, сейчас жизнь биосферы развивается в основном в потоке солнечной энергии, аккумулируя ее в себе и препятствуя прямому отражению ее в космос. Эта энергия передается по пищевой цепи от одной формы жизни к другой. По мере этого движения ее энтропия значительно возрастает. В конечном итоге она переходит в тепловую форму и излучается за пределы планеты. Поэтому энтропия излучения, отраженного с поверхности планеты, оказывается существенно больше энтропии излучения, поглощаемого планетой. Именно за счет этой разницы энтропий

существует жизнь на планете. Таким образом, основным механизмом накопления энергии в биосфере является реакция фотосинтеза. Имеется также довольно незначительный процент хемосинтезирующих живых существ, чей жизненный цикл опирается на энергию химических соединений. Это разного рода бактерии (железо-, серо-, азотобактерии и др.). Обнаружены целые экосистемы, функционирование которых основано на активности хемосинтезирующих бактерий, не зависящих от продуктов фотосинтеза. Это глубоководные системы, где в абсолютной темноте вблизи выходов горячей воды, богатой минеральными солями и серой, помимо бактерий существуют и уникальные многоклеточные животные, типа двусторчатых моллюсков длиной около 30 см и трехметровые черви, получающие энергию от хемосинтезирующих бактерий. Возможно, было время, когда такие формы жизни были более разнообразными и заполняли всю поверхность Земли, до которой ввиду интенсивной вулканической деятельности не могли пробиться солнечные лучи.

Концентрационная функция – способность организмов концентрировать в своем теле рассеянные элементы окружающей среды. Любое живое существо в процессе своей жизнедеятельности буквально по молекулам собирает из окружающей среды необходимые для него вещества и консервирует их в своей структуре. Поэтому, например, концентрация марганца в теле некоторых организмов превышает его концентрацию в окружающей среде в миллионы раз. В условиях антропогенного загрязнения окружающей среды побочным следствием этого может являться накопление растениями, которые мы потребляем в пищу, веществ, которые являются токсичными для нашего организма. Результатом концентрационной деятельности живых организмов являются залежи руд, известняков, горючих ископаемых и т.п.

Деструктивная функция – разрушение погибшей органики и минеральных веществ. Это один из важнейших элементов круговорота веществ в биосфере, обеспечивающего непрерывность жизни путем превращения сложных органических соединений в минеральные вещества, необходимые для растений, стоящих в самых первых звеньях пищевых цепей. Практически все живые организмы биосферы, за исключением растений, в той или иной мере являются деструкторами (разрушителями). Однако главная роль в этом процессе принадлежит грибам и бактериям. Л. Пастер назвал бактерии «великими могильщиками природы». Одновременно жизнь участвует и в разрушении костных веществ (в частности, горных пород), доводя их постепенно до состояния, после которого они могут быть вовлечены в круговорот жизни (так измельченные горные породы являются необходимым компонентом почвы).

Средообразующая функция – преобразование физико-химических параметров окружающей среды. В широком смысле результатом данной функции является вся природная среда. Она создана живыми организмами, они же и поддерживают ее в определенном стабильном состоянии. Так состав атмосферы и гидросферы – это продукт жизнедеятельности в биосфере. Живые организмы создали особый тип органоминерального вещества – почву. Коралловые колонии создают в океанах целые острова (рифты). Примером могут также служить леса, в которых микроклимат существенно отличается от микроклимата поля. Анализ показывает, что при отсутствии жизни на Земле, условия на ней были бы такими, что, по нашим понятиям, жизнь на ней была бы попросту невозможной. Ее атмосфера на 98 % состояла бы из углекислого газа, на 1,9 % – из азота (сейчас на Земле 78 % азота, являющегося вопреки своему названию (азот – не поддерживающий жизни) основным элементом при построении аминокислот, кислорода практически не было бы (сейчас 21 %), средняя температура поверхности 290 ± 50 °С, не оставляющая никаких шансов на наличие воды в жидком состоянии. Словом, условия весьма похожие на условия планеты Венера.

Транспортная функция – перенос и перераспределение вещества и энергии. Это является одним из механизмов рассеивающей функции живого вещества. Часто такой перенос осуществляется на громадные расстояния, например, при миграциях и кочевках животных. Это может также способствовать и концентрации элементов среды, достаточно вспомнить птичьи базары.

Газовая функция – способность изменять и поддерживать определенный газовый состав среды обитания и атмосферы в целом. Фотосинтез привел к постепенному

уменьшению в атмосфере углекислоты и накоплению кислорода и озона. При этом в развитии биосферы наблюдалось, по крайней мере, два переломных момента: первая точка Пастера (1,2 млрд лет назад), когда количество кислорода достигло 1 % от современного уровня и появились первые аэробные организмы (живущие только в кислородной среде, в отличие от анаэробных, живущих в бескислородной среде); вторая точка Пастера, когда количество кислорода достигло 10 % от современного уровня, создались условия для синтеза озона и озонового слоя, что защитило организмы от ультрафиолетовых лучей. До этого данную функцию выполняли густые водяные облака.

Круговорот углекислого газа в океане значительно сложнее, чем на суше, и так же во многом зависит от деятельности живых организмов. Мировой океан аккумулирует вынесенный реками с суши углерод в форме карбонатных и органических соединений. Возвращение углерода с океана или суши происходит с большим дефицитом, главным образом, воздушными потоками в виде CO_2 . Наличие углекислого газа в гидросфере зависит от поступления кислорода в верхние слои как из атмосферы, так и из нижних слоев воды. В общем выражении годовой круговорот массы углерода в Мировом океане почти вдвое меньше, чем на суше. Много углерода изымается с биологического круговорота вещества и попадает в океан в виде углекислых солей. Эти соли, особенно CaCO_3 , тратятся на построение панцирей животных, очень много их и в морской воде. Если в атмосфере возрастает содержание CO_2 , часть его растворяется в воде, вступает в реакцию с карбонатом кальция, образуя растворенный в воде бикарбонат кальция. И, наоборот, при снижении содержания углекислого газа в атмосфере бикарбонаты, которые всегда содержатся в морской воде, превращаются в карбонаты кальция, которые выпадают с раствора, используются организмами для построения скелетов или панцирей, оседают на морское дно. Реакция имеет такой вид: $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2 = \text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$.

Окислительно-восстановительная функция – окисление вещества в процессе жизнедеятельности и восстановление в процессе разложения при дефиците кислорода.

Наряду с фотосинтезом в зеленых растениях на Земле происходит почти равное ему по масштабу окисление органических веществ в процессе дыхания, брожения, гниения с выделением воды, углекислого газа и теплоты, которая после этого излучается в космическое пространство. Существенно меньшая часть энергии Солнца консервируется в земной коре, формируя залежи каменного угля, нефти, торфа и т.п. Эти процессы связаны с протеканием в бескислородной среде реакций восстановления, сопровождающихся образованием и накоплением сероводорода и метана.

Кроме вышеперечисленных, выделяют еще также *рассеивающую функцию* – рассеяние живого вещества на больших пространствах; *информационную* – накопление информации и закрепление ее в наследственных структурах. Эта функция пока еще мало изучена. Но, по всей видимости, ее возможности с точки зрения преобразования и регуляции среды обитания весьма высоки и сравнимы с остальными функциями живого вещества.

Глава 9. Основы прикладной экологии

Формирование прикладной экологии является результатом, с одной стороны, возросшего уровня загрязнения природной среды и необходимостью научного обоснования методов оценки состояния и очистки окружающей среды, обезвреживанию различных отходов, а с другой – в последние десятилетия возросла актуальность исследований связанных с обеспечением жизнедеятельности в условиях, близких к экстремальным. Речь идет о развитии исследований в Арктике и Антарктике, освоении космического пространства, поиском жизни на других планетах, создании искусственных экосистем в районах с суровым климатом.

Важнейшими задачами современной прикладной экологии являются:

- разработка технологических систем переработки и очистки различных отходов;
- рекультивация нарушенных производственной деятельностью территорий;

- обоснование расположения сети постов долговременного контроля параметров среды – мониторинга;
- установление допустимого объема эксплуатации биоресурсов суши и моря, обеспечивающего их дальнейшее устойчивое воспроизводство;
- оценка влияния на организм человека экстремальных факторов среды и разработка систем жизнеобеспечения и др.

Большинство разделов прикладной экологии занимаются различными оценками влияния человека на окружающую среду. Происходит оценка воздействия на человека и среду его обитания различных факторов: химических (пестициды, гербициды, синтетические красители и материалы, отходы гальванических производств и т.д.) и физических (электромагнитные и гравитационные поля, акустические колебания, радиоактивность и т.д.). В области прикладной экологии можно выделить следующие важнейшие основные разделы:

- *сельскохозяйственная экология*, занимающаяся исследованием функционирования создаваемых человеком агроэкосистем;
- *промышленная (инженерная) экология*, нацеленная на создание технологий, снижающих негативную нагрузку на окружающую среду при работе промышленных предприятий, в том числе нефтеперерабатывающих заводов, металлургических комбинатов, химических производств, различных электростанций;
- *экология города* как специфической системы, для которой характерен весьма интенсивный метаболизм, требующий огромного и постоянного притока энергии от сжигания топлива извне. Каждый гектар площади города потребляет многократно больше энергии, чем такая же площадь в сельской местности.

Прикладная экология, так же как и общая, имеет широкие связи с различными науками. Поэтому мы видим развитие следующих разделов:

- *экономическая экология* – разрабатывающая экономические механизмы рационального природопользования;
- *математическая экология* – объединяет математические модели и методы, используемые при решении проблем связанных с экологией;
- *юридическая экология* – анализирует законы и другие нормы права, направленных на охрану окружающей среды.

Весьма востребованной в настоящее время является такая прикладная дисциплина, как *военная экология*, интегрирующая знания о специфике воздействия на природу и человека процессов и факторов, возникающих при ведении разного рода боевых действий.

Постепенно формируется и такой раздел прикладной экологии, как *экология околоземного космического пространства*, рассматривающий солнечно-земные связи, возможности длительного пребывания человека в космосе на борту космических станций и кораблей. Большой вклад в развитие данного направления вносит космическая медицина, а также результаты эксперимента «Биориск», проведенного российскими исследователями на борту международной космической станции в 2005–2006 гг. с целью оценки влияния условий открытого космоса на выживаемость семян различных растений и микроорганизмов. По-видимому, на фоне увеличения интереса и развития технических возможностей изучения и прикладного освоения планет Солнечной системы будет сформирован полноценный новый раздел экологии – *космическая экология*.

9.1. Экологическая ниша человека

Понятие экологическая ниша было рассмотрено в разделе 7.5 данного учебного пособия. Применение понятия экологической ниши к человеку несколько более условно, чем по отношению к природным популяциям животных. В отличие от экологических ниш других видов, населяющих биосферу, экологические ниши человека постоянно изменялись, увеличиваясь вместе с этапами исторического развития человечества и доступом к различным техническим средствам. Основная реализованная экологическая ниша

первобытного человека в большой мере зависела от его энергетических потребностей. В соответствии с данными о размерах тела средняя удельная расходимая мощность человека была близка к 2 Вт/кг, а теплоотдача – к 75 Вт/м², что определяло потребность в пище (до 1/12 массы тела в сутки) и в климатических условиях обитания, характерных для сезонно-влажных зон тропического пояса.

Ранние архантропы занимали нишу собирателей пастбищной пищевой цепи с относительно малой долей животной пищи. Они были вынуждены постоянно выполнять большую работу по добыче пищи и осваивать большую кормовую территорию (50–100 га/чел). Начало использования огня около 1 млн лет и увеличение добычи и потребления животной пищи расширило экологическое пространство человека до ниши первобытных охотников и рыболовов (100–1000 га/чел). К этому же периоду относится и применение огня для выжигания лесов, сначала для целей загонной охоты, а затем и для подсечно-огневого земледелия. В дальнейшем, по-видимому, от 20 до 10 тыс. лет назад, в зависимости от региона, произошло изменение характера «землепользования» – переход от собирательства и охоты к сельскому хозяйству – произошла т. н. неолитическая революция.

Переход к земледелию значительно уменьшил необходимую индивидуальную кормовую площадь и довел потребление пищи почти до уровня чистой первичной продукции возделываемых растений примитивных агроценозов. Одновременно это потребовало роста общих затрат контролируемой человеком энергии на единицу продукции (включая затраты на изготовление орудий, обработку земли и переработку урожая, а также энергию рабочего скота). Вместе с оседлостью, созданием постоянных поселений и необходимым разделением труда это означало появление устойчивой материальной культуры – возникновение цивилизации. С экологических позиций это было в значительной мере случайным явлением, так как требовало совпадения ряда редких условий: относительно большой плотности населения в плодородных террасных долинах сезонно-влажных тропиков или субтропиков, где были растения, пригодные для возделывания, животные, пригодные для одомашнивания, и где быстро исчерпывались ресурсы собирательства, примитивной охоты и рыбной ловли. Конечно, была весьма сильная зависимость от относительно благоприятных типов климата и ландшафтов – древнейшие центры цивилизации независимо возникли всего в трех небольших регионах – в междуречье Тигра и Ефрата на территории современного Ирака, в среднем течении р. Меконга и на юге Перу.

На ограниченных территориях освоения человек не мог добыть нужное количество животной пищи. Поэтому распространение земледелия сопровождалось развитием скотоводства и пастбищного хозяйства, а также развитием кочевого скотоводства. Так как продукция скота по массе на порядок меньше его корма, то для получения хотя бы 1/10 продуктов питания в виде животной пищи человек вынужден был иметь биомассу скота, равную биомассе людей, а площадь пастбищ не меньше площади пашни.

Неолитическая революция означала переход от присваивающей экономики к производящей. Она вызвала к жизни принципиально новый тип природопользования. Если при собирательстве отношение человека к ресурсам потребления было примерно таким же, как и у животных, то теперь человек стал производить пищу, переделывая или заменяя природные сообщества растений и животных.

Потребление человеком большей части продукции агроценозов исключало возможность естественного восстановления биомассы растений и плодородия почвы. Человек вынужден был взять на себя функцию воспроизводства, ежегодно обрабатывая поля. Был нарушен естественный круговорот, связанный с продукционно-деструкционным балансом. Во многих случаях это вело к деградации земель и к смене земледельческих цивилизаций на Ближнем Востоке и в Восточной Азии. Все же конкурентоспособность их в столкновениях с природными системами постоянно нарастала. Распространение земледелия и скотоводства привели к освоению значительных территорий субтропиков и умеренного пояса, к увеличению энергопотребления и к увеличению численности и плотности населения.

В эпоху великих географических открытий XV в. заселение европейцами Америки и Австралии, формирование колониальных империй затрагивающих также Африку

и Юго-восточную Азию завершило расширение глобального ареала человечества. Территориально были определены экологические ниши больших популяций людей. Внутри них, благодаря возросшей продуктивности земледелия и углублению разделения труда, возникли условия быстрого развития промышленности, торговли и концентрации людей в городах.

Применение машин и ископаемого топлива позволило значительно повысить выход продукции земледелия, освоить новые территории и расширить площадь возделываемых земель. Но одновременно это сильно увеличило энергоемкость производства продуктов питания и обеспечения других потребностей человека. К концу XX в. среднее потребление энергии, приходящееся на одного жителя планеты, в 25 раз превысило его потребность в энергии пищи. За последние 100 лет затраты энергии на производство 1 т пшеницы возросли многократно и сейчас намного превышают энергию, содержащуюся в этой массе зерна.

Человек, сохраняя в зависимости от региональных адаптаций и рас определенные зоны оптимума применительно к факторам среды, по закону толерантности В. Шелфорда, все настойчивее строит т. н. «вторую природу» – создает для своего комфорта искусственные условия жизни. Особенно это актуально в тех климатических зонах, естественные значения факторов среды в которых далеко выходят за границы зоны оптимума для человека и находятся, скорее, в зоне угнетения или гибели. Прежде всего, это районы Арктики, Антарктики, жарких пустынь. Основываясь на достижениях в области современной архитектуры, человек стремится в ряде случаев стать независимым или почти независимым от влияния внешних условий и факторов, создавая, в частности, промышленные и жилые здания, теплицы с искусственным регулируемым микроклиматом с составом воздуха. При этом в некоторых видах деятельности, требующих изоляции от внешней среды (подводные и космические аппараты), человек оказывается полностью в искусственной среде. Но потребности человека не ограничиваются только лишь желанием жизни в диапазоне факторов среды (температура, влажность, концентрация кислорода в воздухе и др.), близких к оптимальным. Человеку нужно общение и творчество – это тоже наши естественные потребности. Современные телекоммуникационные технологии позволяют общаться и работать дистанционно за сотни и тысячи километров. Естественно, средства связи, в том числе спутниковая связь, помогают изучать и осваивать труднодоступные районы Земли. Овладев технологиями жизнеобеспечения практически в любых земных условиях, в том числе на основе компактных и эффективных энергетических установок, средствами приема и передачи больших массивов информации и данных, в настоящее время человек является единственным видом, способным существовать буквально везде на Земле. Активно развиваются концептуальные и технические проекты по созданию необходимых условий для жизнедеятельности человека и на других ближайших планетах – прежде всего на Луне и Марсе, в виде долговременных баз.

Таким образом, говоря об экологической нише человека, необходимо учитывать не только физиологический оптимум жизнедеятельности по ряду экологических факторов, но также и те новые возможности расширения среды жизни за счет создания благоприятных условий в искусственной городской среде.

9.2. Техносфера и ноосфера

Постепенно, с момента возникновения первых паровых двигателей и эффективных технологий строительства создается, в границах биосферы, а также постепенно и за ее пределами, новая среда жизни – техносфера.

Техносфера – это часть естественной природной биосферы, значительным образом преобразованная человеком с помощью воздействия технических средств, а также непосредственно сами антропогенные объекты (средства транспорта, механизмы, здания и т.п.), функционирующие для обеспечения социально-экономического благополучия граждан и общества в целом.

Однако, пока что процесс развития техносферы идет достаточно трудно и сопровождается не просто модернизацией жизненного пространства техническими средствами, но приводит к загрязнению и деградации компонентов биосферы. При этом полностью в изоляции от природных жизнеобеспечивающих ресурсов и процессов человечество конечно существовать не может. Это значит, что построение техносферы не должно и не может подменять собой биосферу полностью. Функции, которые выполняет биосфера, перечисленные в разделе 8.5.5 настоящего учебного пособия, абсолютно необходимы для существования человечества. Мы не можем создать им искусственные эффективно функционирующие аналоги в планетарном масштабе.

Современная среда обитания человека рассматривается как совокупность социальных, техногенных и природных факторов, существующих соответственно в обществе, техносфере и экологической системе.

Первый компонент – современное общество, заинтересованное в безопасном взаимодействии человека (группы людей) с техносферой. Общество потенциально способно к формированию негативных социальных факторов, опасностей, угроз. Гражданские и межнациональные войны, терроризм, многочисленные виды преступлений против личности – все это в совокупности и различных формах проявления может представлять собой реальный источник социальной напряженности и нестабильности, который невозможно игнорировать, говоря о среде обитания человека.

Другой компонент среды обитания – техносфера, сформированная путем преобразования части биосферы в антропогенные объекты, в основном утратившие свойства природной среды и основанные на использовании человеком различных видов техники. Согласно Федеральному закону № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды» от 10.01.2002 (в редакции 27.12.2019) – «природно-антропогенный объект» – природный объект, измененный в результате хозяйственной и иной деятельности, и (или) объект, созданный человеком, обладающий свойствами природного объекта и имеющий рекреационное и защитное значение; «антропогенный объект» – объект, созданный человеком для обеспечения его социальных потребностей и не обладающий свойствами природных объектов.

Созданная человеческим обществом техносфера, в конечном счете, начинает сама активно влиять на его жизнедеятельность, становясь мощным фактором существования современной цивилизации. Иначе говоря, техносфера, создаваемая человеком для повышения производительности своего труда и комфортности жизни, может демонстрировать затем целый ряд негативных эффектов, представляющих опасность для самого человека и общества. Примерами реализации таких опасностей со стороны техносферы можно выделить случаи травматизма и гибели людей на производстве, техногенные катастрофы локального и глобального масштаба. По сути – чем мы в большей мере хотим стать независимыми от естественных природных условий, тем в большей степени в ряде случаев рискуем попасть от них в зависимость. Например, любой крупный город с населением более 1 млн человек, в случае даже кратковременного отключения электричества, особенно в холодное время года, выхода из строя систем водоснабжения и водоочистки превращается в очаг гуманитарной катастрофы. В городе все централизовано и взаимосвязано. А ведь сейчас существует 3 города с населением более 20 млн человек (Шанхай, Карчи, Пекин) и 16 городов с населением более 10 млн человек. Всего же городов с населением более 1 млн человек в мире около 360.

Первым городом, достигшим населения 1 млн человек в Европе, был, по-видимому, Рим примерно на рубеже нашей эры, однако к V–VI вв. население Рима значительно уменьшилось. Близкую к миллионной численность имела также Александрия немногим ранее (с I в. до новой эры) и позднее. В середине первого тысячелетия миллионером и крупнейшим городом мира был китайский Чаньань (сегодня Сиань), а в конце тысячелетия – Багдад. По некоторым оценкам, китайские города Кайфын и Ханчжоу в начале II тысячелетия также могли иметь численность около 1 млн человек. Первым городом-миллионером к 1800 г. стал японский город Эдо (ныне Токио). При этом в истории судьба таких больших городов не была благополучной длительное время. В особенности обострились проблемы связанные с загрязнением среды и функционированием систем

жизнеобеспечения в период войн. В XX в. – наиболее трагичным примером стал Ленинград в период блокады 1941–1944 гг., длящейся 871 день (с 8 сентября 1941 по 27 января 1944). В городе осталось 2 млн 887 тыс. мирных жителей, в том числе около 400 тыс. детей. От голода и холода погибло, согласно официальным данным, около 641 тыс. жителей.

Развиваясь по своим собственным законам, техносфера чаще создает противоречие, чем сотрудничество с биосферой. Это выражается в остающихся арсеналах оружия массового поражения, прежде всего ядерного. Колоссальной опасностью могут обладать также и техногенные катастрофы в мирное время – аварии на атомных электростанциях, пожары и взрывы на предприятиях по добыче и переработке нефти и природного газа. Большую опасность представляют порты, особенно располагающиеся вблизи крупных городов. Например, вечером 4 августа 2020 г. в порту столицы Ливана Бейруте прогремели два взрыва. Второй был такой силы, что сейсмические станции зарегистрировали его как землетрясение магнитудой 3,3. Толчок от взрыва ощутили жители соседних стран – Сирии, Израиля и Турции, а грохот слышали в 250 км от Бейрута – на Кипре. Взорвались 2750 т взрывчатого вещества (которое можно использовать и как удобрение) – нитрата аммония – аммиачной селитры, доставленных в порт морем. Погибло больше 180 человек, еще несколько тысяч получили ранения. Городу и экономике всего Ливана нанесен колоссальный ущерб: практически разрушен сам порт, важнейшая часть транспортной инфраструктуры страны, повреждены или полностью уничтожены тысячи зданий, как минимум 300 тыс. человек остались без жилья.

Структурными элементами техносферы как искусственного явления обычно признаются территориально-промышленные комплексы (ТПК). Выделяют агропромышленные, градопромышленные, горнодобывающие и горноперерабатывающие, энергетические, рекреационные комплексы. Определяющими в описании такого типа являются внешняя функция загрязнения окружающей среды, а также общая для каждого из них функция цели и управления со стороны человеческого общества. Такая классификация обусловлена естественным пятнистым распределением объектов техносферы по поверхности земного шара. Транспортные коммуникации связывают эти мегаобъекты в общий каркас техносферы. На энергетическом уровне техносферу можно считать непрерывной, так как электромагнитное излучение (например, в радиодиапазоне) можно уловить в любой точке земли. Территориальное описание объектов техносферы является внешним функциональным, и, по существу, эти объекты рассматриваются в качестве черного ящика.

Внутреннюю структуру техносферы определяют процессы, происходящие в ней. Общая классификация этих процессов основана на самом общем характере преобразования вещества. Содержит следующие классы: процессы преобразования веществ; процессы создания вещей; процессы эксплуатации вещей; процессы разложения отслуживших вещей.

Уникальность свойств техносферы проявляется в том, что процессы третьей группы – эксплуатация вещей – не могут быть осуществлены без процессов первой и второй группы, а последние, в свою очередь, не могут быть осуществлены без уже созданных вещей. Группа процессов первого класса создает конструкционные материалы для группы процессов второго класса, энергетические предпосылки для осуществления процессов первых трех классов, новые концентрированные вещества, выделяет элементы, осуществляя тем самым функции, аналогичные функциям почвы в биосфере. Поэтому такой функции избежать невозможно. Для осуществления ее первого этапа – добычи полезных ископаемых в ходе исторического развития – были созданы механизмы, имитирующие человеческую руку (экскаваторы, драглайны и др.). Часть полезных ископаемых может извлекаться без применения таких механизмов (подземная газификация угля, выщелачивание руд, добыча нефти и газа и т.п.). Но при разработке других, например, строительного или химического сырья, такие технологии невозможны, т. к. полезным ископаемым является горная порода целиком. Из литосферы, гидросферы, атмосферы и биосферы извлекаются и переходят в техногенный круговорот некоторые элементы, другие остаются в отходах. Общий химический состав техносферы тем самым сильно отличается от такового литосферы. Отличается он также и от общего состава биосферы. И именно это несоответствие химических составов приводит к возникновению экологических

проблем. Движение материальных потоков при осуществлении процессов преобразования веществ создает сетевые структуры, подобные трофическим цепям биосферы.

Для создания каждого материала совокупными усилиями людей организуются такие сетевые структуры преобразования вещества, охватывающие значительные пространства. Руда может добываться в одном месте, металл выплавляться за сотни километров от рудника, металлические детали могут производиться в другой стране, автомобили из этих деталей могут собираться на другом континенте, а на свалку автомобиль может попасть на другом конце земли.

Таким образом, вещи, для производства которых существует техносфера, локальны, а процессы преобразования вещества для производства этих вещей – глобальны. Потоки вещества, будучи автономными для производства отдельных материалов, частично соединяются на этапе создания вещей.

Более мелкими структурными элементами техно-трофических цепей сферы являются различные уровни преобразования вещества, связанные обычно с различными отраслями промышленности – горной, металлургической, химической и т.п. На каждом из этих уровней существуют тысячи предприятий, которые объединены целями, задачами, материалами, технологиями в общественном плане, но разъединены в физическом плане – географически. Каждое такое предприятие и есть структурная единица техносферы, подобная организму в биосфере. Каждое из них является по существу природно-технической системой, т. е. искусственной системой, размещенной в природном ландшафте. Природная компонента рассматривается не с точки зрения ее внутренних функций, а как она влияет на искусственную (например, как скальный массив влияет на стоящее на нем сооружение). И наоборот, искусственная компонента (например, здание) рассматривается не с точки зрения процессов, происходящих в ней, а со стороны тех процессов, которые оказывают влияние на окружающую природную компоненту.

Таким образом, при изучении природно-технических систем рассматриваются функциональные (внешние) свойства этих объектов техносферы в системных связях «человек–техносфера», «техносфера–биосфера», «техносфера–литосфера», «техносфера–гидросфера», «техносфера–атмосфера». Внутренние же свойства природно-технической системы как структурной единицы техносферы, которые в значительной мере определяют и внешнее поведение, могут быть описаны только через процессы технологического преобразования вещества внутри нее.

Связь звеньев технотрофических цепей осуществляют не только материальные и энергетические потоки, но и согласованность технологий разных производств, т. к. в процессе преобразования вещества продукция предыдущего звена является материалом в составе последующего технологического передела.

Единичным элементом структуры техносферы можно считать элементарный технологический процесс преобразования вещества, который сохраняет в себе свойства амбивалентности как определяющего свойства любого объекта, принадлежащего техносфере.

Функционирование каждого элементарного технологического процесса несет в себе амбивалентность, поскольку, помимо получения полезного продукта (для которого он предназначен), он является как бы мотором воздействия, т. е. постоянным поставщиком загрязнений, технической системы на природную. Попытка управления процессом через ограничение отходов или изменение их качества неэффективна, т. к. в уже функционирующей технической системе невозможно достигнуть двух оптимумов – определенного качества продукции и заданных свойств отходов. Это приводит к передаче загрязнений на другой уровень, т. е. ужесточаются требования к материалу, входящему в технологический процесс, что приводит к созданию новых производств по доведению материала до необходимых кондиций, при этом возникают новые отходы. Другой путь – изменение свойств полезного проекта, что приводит к дополнительным технологическим трудностям на последующих этапах преобразования вещества.

Далее рассмотрены *основные виды техносферных зон*.

1) *Промышленная зона* – зона, включающая промышленные районы города, а также участки отдельных промышленных предприятий и других производственных объектов,

обслуживающие их культурно-бытовые учреждения, улицы, площади, зеленые насаждения, территории компактного размещения предприятий.

Промышленный район – территория города, на которой размещаются предприятия с обслуживающими зданиями, учреждениями, дорогами и др. Промышленный район включает систему озелененных территорий, которые отделяются от других районов санитарно-защитной зоной.

Санитарно-защитная зона (СЗЗ) – зеленые насаждения шириной от 50 до 1000 м, защищающие территории от вредного влияния промышленности и транспорта. Расчет СЗЗ происходит по специальной методике в зависимости от специфики промышленного объекта.

2) *Городская зона* – условная территориальная единица города. Городские зоны отражают историческое развитие и внутреннюю организацию города; различаются по интенсивности использования занимаемой площади, составу населения и другим социально-экономическим характеристикам.

3) *Селитебная зона*:

а) часть территории населённого пункта, предназначенная для размещения жилой, общественной (общественно-деловой) и рекреационной зон, а также отдельных частей инженерной и транспортной инфраструктур, других объектов, размещение и деятельность которых не оказывает воздействия, требующего специальных санитарно-защитных зон;

б) часть планировочной структуры города; территория, включающая:

- жилые районы и микрорайоны;
- общественно-торговые центры, улицы, проезды, магистрали;
- объекты озеленения.

В селитебной зоне могут размещаться отдельные коммунальные и промышленные объекты, не требующие устройства санитарно-защитных зон.

Селитебная территория занимает в среднем 50–60 % территории города.

Основные задачи:

- создание максимально благоприятных условий для удовлетворения социально-культурных и бытовых потребностей населения;
- минимизация затрат времени на пространственную доступность объектов обслуживания, мест отдыха, культурно-бытовых учреждений.

4) *Транспортная зона* – система наземных, надземных и подземных магистралей, пересекающихся в нескольких уровнях.

В мировой практике уже существуют транспортные развязки в пяти уровнях. С увеличением количества и разнообразия транспортных средств возрастает степень сложности транспортной сети городов и, таким образом, улучшается система связей между функциональными зонами. Планировочная структура транспортных зон зависит от расположения города на рельефе.

Сложность планировочной структуры больших городов заключается том, что большое разнообразие промышленных предприятий не может располагаться на территории одной промышленной зоны. Это вызывает подразделение селитебных территорий. Возникают новые жилые районы на периферии города, образуются новые зоны отдыха. Новые промышленные зоны приводят к появлению санитарно-защитных территорий. Рост города способствует развитию внешнего транспорта и расширению транспортной зоны. При этом основными экологическими проблемами больших городов остаются загрязнение воздуха, в т.ч. продуктами сжигания топлива автомобилями, качество питьевого водоснабжения, накопление твердых коммунальных отходов.

В целом, техносфера, и природно-антропогенные объекты являются источниками опасности для человека и естественной природной среды, особенно при несоблюдении правил по технике безопасности. Поэтому одной из основных задач прикладной экологии является разработка и совершенствование методов и оборудования предназначенных для оценки состояния окружающей среды. Дальнейшее развитие техносферы, в т.ч. методов управления природной средой, может привести к возникновению «ноосферы», отдельные признаки которой имеются уже сейчас.

Ноосфера (от др.-греч. νοῦς «разум» + σφαῖρα «шар»; дословно «сфера разума») – сфера взаимодействия общества и природы, в границах которой разумная человеческая деятельность становится определяющим фактором развития (эта сфера обозначается также терминами «антропосфера»).

Ноосфера – предположительно новая, высшая стадия эволюции биосферы, становление которой связано с развитием общества, оказывающего глубокое воздействие на природные процессы.

Согласно В.И. Вернадскому, «в биосфере существует великая геологическая, быть может, космическая сила, планетное действие которой обычно не принимается во внимание в представлениях о космосе... Эта сила есть разум человека, устремленная и организованная воля его как существа общественного».

Понятие «ноосфера» было предложено профессором математики университета Сорбонны Э. Леруа (1870–1954), который трактовал её как «мыслящую» оболочку, формирующуюся человеческим сознанием. Э. Леруа подчёркивал, что пришёл к этой идее совместно со своим другом – геологом и палеонтологом-эволюционистом, католическим философом П.Т. Шарден. При этом Э. Леруа и П.Т. Шарден основывались на лекциях по геохимии, которые в 1922–1923 гг. читал в университете Сорбонны В.И. Вернадский.

Наиболее полное воплощение теория Э. Леруа нашла в разработке Тейяра де Шардена, который разделял не только идею абиогенеза (оживления материи), но и идею, что конечным пунктом развития ноосферы будет слияние с Богом. Развитие ноосферного учения связано в первую очередь с именем Вернадского.

В.И. Вернадский сформулировал следующие 12 условий существования ноосферы в будущем:

1. Заселение человеком всей планеты.
2. Резкое преобразование средств связи и обмена между разными странами.
3. Усиление связей, в том числе политических, между государствами Земли.
4. Преобладание геологической роли человека над другими геологическими процессами, протекающими в биосфере.
5. Расширение границ биосферы и выход в Космос.
6. Открытие новых источников энергии.
7. Равенство людей всех рас и религий.
8. Увеличение роли народных масс в решении вопросов и внутренней политики.
9. Свобода научной мысли и научного искания от давления религиозных, философских и политических построений и создание в общественном и государственном строе условий, благоприятных для свободной научной мысли.
10. Подъём благосостояния трудящихся. Создание реальной возможности не допустить недоедания, голода, нищеты и ослабить влияние болезней.
11. Разумное преобразование первичной природы Земли с целью сделать способной удовлетворять все материальные, эстетические и духовные потребности численно возрастающего населения.
12. Исключение войн из жизни человечества.

В.И. Вернадский утверждал, что человечество в ходе своего развития превращается в новую мощную «геологическую силу», своей мыслью и трудом преобразующую лик планеты. Соответственно, оно в целях своего сохранения должно будет взять на себя ответственность за развитие биосферы, превращающейся в ноосферу, а это потребует от него определённой социальной организации и новой, экологической и одновременно гуманистической этики. На рис. 9.1 показаны основные этапы развития человечества, начиная с XVIII в. Именно рубеж XVII–XVIII вв. следует, по-видимому, назвать периодом рождения техносферы.

В 1698 г. английский механик, изобретатель Томас Севери (1650–1715) запатентовал первый паровой двигатель. Полностью его труд звучит так: «новое изобретение для подъема воды для всех видов мельниц с помощью двигательной силы огня». В основу его конструкции не входили цилиндр с поршнем или какие-либо другие детали, приводимые в движение. Однако пар для работы насоса генерировался в отдельном котле. Именно это

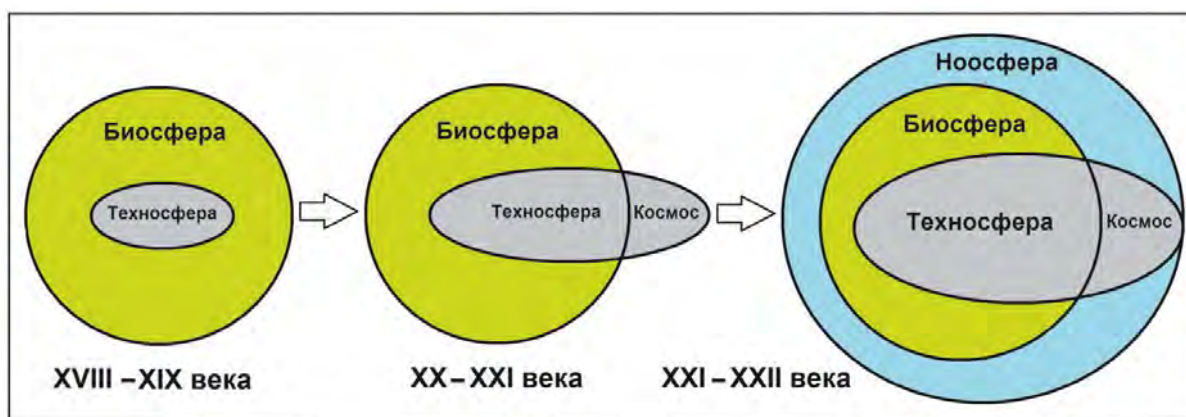


Рис. 9.1. Основные этапы совместного развития биосферы, техносферы и ноосферы

открытие впоследствии позволило другим ученым разработать и внедрить в механические устройства реальные паровые двигатели.

Первый прототип паровоза (поезда, оснащенного паровым двигателем) был построен в 1769 г. французским инженером Николя-Жозе Кюньо (1725–1804). Именно паровой двигатель привёл к взрывному росту промышленности в XVIII–XIX вв. Железнодорожные составы, корабли, водяные насосы, станки на заводах и фабриках, котельные, первая моторизованная сельская техника, деревообрабатывающие предприятия, ранние автомобили и грузовики – буквально всё держалось на паровых двигателях, пока их не заменили электродвигатели и двигатели внутреннего сгорания в конце XIX – начале XX вв. Именно на таких двигателях, примитивных и проблемных по современным меркам, обработка и логистика материалов постепенно пришли в кондицию.

Британский инженер, изобретатель-механик Джеймс Уатт (1736–1819) ввёл первую единицу мощности – лошадиную силу (л.с.). Его именем названа единица мощности – Ватт. В 1782 г. значительно усовершенствовал паровую машину. Работы Д. Уатта внесли большой вклад в начало промышленной революции – становление техносферы.

В 1800 г. итальянский физик, химик и физиолог Алессандро Джузеппе Антонио Анастасио Вольта (1745–1827) первым в мире создал химический источник тока. В 1821 г. британский физик-экспериментатор и химик Майкл Фарадей (1791–1867) опубликовал трактат «О некоторых новых электромагнитных движениях и о теории магнетизма», где описал, как заставить намагниченную стрелку непрерывно вращаться вокруг одного из магнитных полюсов. Эта конструкция впервые реализовала непрерывное преобразование электрической энергии в механическую. Принято считать ее первым электродвигателем в истории.

В 1834 г. немецкий и русский физик, академик Императорской Санкт-Петербургской Академии Наук Борис Семенович (Мориц Герман фон) Якоби (1801–1874) изобрел первый в мире действующий электродвигатель с непосредственным вращением рабочего вала. Мощность двигателя составляла около 15 Вт, частота вращения ротора 80–120 оборотов в минуту. До этого изобретения существовали только устройства с возвратно-поступательным или качательным движением якоря. В 1839 г., используя электродвигатель постоянного тока, питающийся от 69 гальванических элементов Грове и развивающий 1 л.с., Якоби построил лодку, способную двигаться с 14 пассажирами по Неве против течения. Это было первое практическое применение электродвигателя.

Первый двигатель переменного тока был создан британским физиком Чарльзом Уитстоном (1802–1875) в 1841 г. Началом применения переменного тока для электродвигателя принято считать 1889 г., когда инженер Михаил Осипович Доливо-Добровольский (1861–1919) сконструировал первый асинхронный двигатель. Первая линия трехфазного переменного тока была создана в 1891 г. Появилась возможность передавать большие объемы электроэнергии с высокими показателями КПД. В целом, к началу XX в. появились прототипы большинства современных электромашин.

Этот весьма краткий обзор важнейших изобретений прошлого, прежде всего в энергетике, показывает, что к началу XX в. техносфера уже в принципе была, но в более-менее

развитом состоянии реализовалась только в некоторых странах Западной Европы, России и США. В России, в частности, в период с 1891 по 1904 г. была построена крупнейшая в мире железнодорожная транссибирская магистраль протяженностью около 7000 км от Челябинска до Владивостока. До начала Первой Мировой войны в России функционировали сотни механизированных производств, при этом производительность труда не уступала США и Великобритании. Однако по сравнению с биосферой, площади преобразованной среды человеком с присутствием машин и механизмов (заводы, порты, железные дороги и др.) была еще крайне незначительной.

XX век ознаменовался новыми открытиями и достижениями в области энергетики, двигателестроения, развития транспорта. Возможности освоения новых регионов, в том числе ранее труднодоступных, резко увеличились. Например, были основаны крупнейшие промышленные центры Сибири – Магадан (1929), Магнитогорск (1929), Норильск (1935), Билибино (1956) – и Кольского полуострова – Мурманск (1916), Апатиты (1926), Мончегорск (1937), Полярные Зори (1967) и многие другие. Во второй половине XX в. человечество вышло в космос. Десятки автоматических зондов достигли и изучили Луну, Меркурий, Марс, Венеру, Юпитер и Сатурн. Достигнуты и наиболее удаленные планеты Солнечной системы – Нептун и Плутон. Планируются новые пилотируемые космические экспедиции. Техносфера шагнула за пределы привычной нам биосферы, формируя сотни искусственных спутников на орбитах вокруг Земли и отправляя своих посланников к далеким планетам. Очевидно, что процесс освоения ближнего и дальнего космоса продолжится, на фоне дальнейшего развития науки, прежде всего в области энергетики и материаловедения. В XXI–XXII вв. площади территорий и акваторий, занятых техносферой, будут возрастать. Ноосфера, так или иначе объединяя человечество за счет развития инфотелекоммуникационных технологий и широкого распространения инноваций, станет глобальной оболочкой, включая техносферу и преобразованную биосферу. Человечество шагнет далеко в космос и будет осваивать уже новые миры. Однако необходимо приложить все усилия, на международном уровне, чтобы переход в высокотехнологичное будущее, в котором человек контролирует и управляет региональными, а возможно и глобальными природными процессами, произошел без тяжелых экологических кризисов. Пока это скорее мечта, чем реальность, но мы живем в период активного становления ноосферы.

9.3 Антропогенное воздействие на экосистемы

Давление человека на среду непрерывно возрастает. Мы очень упрямы и сильны, и среда все более стремительно поддается нашему напору. Мы не теряем уверенности, что можем из нее брать все, чего нам хочется. Сколько еще она сможет выдержать этот натиск? Когда начнется цепная реакция ее разрушения с полной потерей устойчивости? Это только вопрос времени, если масштабы современного воздействия человека на природу не сократятся. Единственная надежда на то, что человек одумается и откажется от своих проектов перестройки надсистемы по своему усмотрению. Этому должно способствовать объединение усилий международного сообщества с целью внедрения природоохранных мер и ресурсосберегающих технологий. В последние десятилетия получены некоторые положительные результаты в решении этих задач. Активно действуют Хельсинская и Бухарестская комиссии по охране морской среды Балтийского и Черного морей, очищаются многие крупные реки Европы (Рейн, Эльба, Висла, Нева и др.). Внедряются эффективные технологии очистки сточных вод и переработки твердых бытовых отходов. Появляются новые заповедники и национальные парки в зоне дождевых тропических лесов, что спасает их от неминуемой вырубki. Но сделать еще предстоит очень много. Природоохранные решения многих стран еще не достаточно согласованы и слишком политизированы. Вместе с отступлением страха перед глобальной экологической катастрофой мы снова с удвоенной силой вгрызаемся в планету, выжимая из нее еще больший рост нашего благосостояния. Но вместо всеобщего благоденствия мы почему-то приходим к резкой

дифференциации общества, вместо радости от благ цивилизации мы получаем чрезмерные психические перенапряжения, вместо душевного подъема – духовную деградацию.

Разнообразное вмешательство человека в естественные процессы в биосфере можно сгруппировать по следующим видам загрязнений, понимая под ними любые нежелательные для экосистем антропогенные изменения:

- ингредиентное (ингредиент – составная часть сложного соединения или смеси) загрязнение как совокупность веществ, количественно или качественно чуждых естественным биогеоценозам;

- параметрическое загрязнение (параметр окружающей среды – одно из ее свойств, например уровень шума, освещенности, радиации и т.д.), связанное с изменением качественных параметров окружающей среды;

- биоценотическое загрязнение, заключающееся в воздействии на состав и структуру популяции живых организмов;

- деструктивное (разрушающее) изменение ландшафтов и экологических систем в процессе природопользования.

До 1960-х гг. под охраной природы понималась в основном защита ее животного и растительного мира от истребления. Соответственно и формами этой защиты было главным образом создание особо охраняемых территорий, принятие юридических актов, ограничивающих промысел отдельных животных и т.п. Ученых и общественность волновали, прежде всего, биоценотическое и частично деструктивное воздействия на биосферу. Ингредиентное и параметрическое загрязнение, конечно, существовало тоже, тем более что об установке очистных сооружений на предприятиях и речи не шло. Но оно не было столь многообразным и массированным, как теперь, практически не содержало искусственно созданных соединений, не поддающихся естественному разложению, и природа с ним справлялась самостоятельно. Так, в реках с ненарушенным биоценозом и нормальной скоростью течения, не замедляемой гидротехническими сооружениями, под влиянием процессов перемешивания, окисления, осаждения, поглощения и разложения редуцентами, дезинфекции солнечным излучением и др. загрязненная вода полностью восстанавливала свои свойства на протяжении 30 км от источников загрязнения.

Конечно же, и раньше наблюдались отдельные очаги деградации природы в окрестностях наиболее загрязняющих производств. Однако к середине XX в. темпы ингредиентного и параметрического загрязнений возросли, и качественный их состав изменился столь резко, что на значительных территориях способность природы к самоочищению, т. е. естественному разрушению загрязнителя в результате природных физических, химических и биологических процессов, была утрачена.

В настоящее время не происходит самоочищения даже таких полноводных и протяженных рек, как Обь, Енисей, Лена и Амур. Что же говорить о многострадальной Волге, естественная скорость течения которой в несколько раз снижена гидротехническими сооружениями, или р. Томь (Западная Сибирь), значительные объемы воды которой промышленные предприятия успевают забрать для своих нужд и спустить обратно загрязненной.

Способность почвы к самоочищению подрывается резким уменьшением в ней количества редуцентов, происходящим под влиянием неумеренного применения пестицидов и минеральных удобрений, выращивания монокультур, полной уборки с полей всех частей выращенных растений и т.д.

На протяжении тысячелетий человек постоянно увеличивал свои технические возможности, усиливал вмешательство в природу, забывая о необходимости поддержания в ней биологического равновесия.

В особенности резко возросла нагрузка на окружающую среду во второй половине XX в. Во взаимоотношениях между обществом и природой произошел качественный скачок, когда в результате резкого увеличения численности населения, интенсивной индустриализации и урбанизации нашей планеты хозяйственные нагрузки начали повсеместно превышать способность экологических систем к самоочищению и регенерации. Вследствие этого нарушился естественный круговорот веществ в биосфере, под угрозой оказалось здоровье нынешнего и будущего поколения людей.

Экологическая проблема современного мира не только остра, но и многогранна. Она проявляется практически во всех отраслях материального производства (особенно в сельском хозяйстве, химической промышленности, черной и цветной металлургии, атомной энергетике), имеет отношение ко всем регионам планеты.

Угрожающие размеры приняло уничтожение лесов. Ежегодно с лица Земли исчезает не менее 100 000 га тропических лесов – это значительно превышает масштабы лесовосстановления. Идет быстрое уничтожение двух главных мировых массивов тропических лесов – Амазонии и Юго-Восточной Азии. В Амазонии ведутся массовые вырубки под пастбища, развивается и целлюлозно-бумажное производство. В Юго-Восточной Азии ценная древесина заготавливается для экспорта. Всё это ведет к уничтожению уникального генофонда тропических лесов, нарушению водного режима огромных районов, снижению их роли как «легких планеты». Интенсивно вырубается леса и умеренных широт. Параллельно идет процесс опустынивания. Он ежегодно изымает из сельскохозяйственного производства около 6 млн га земель. Особенно сильно процесс опустынивания проявляется в Сахельских странах Африки, расположенных на границе Сахары и саванны. Следующие одна за другой необычайно жестокие засухи, поразившие эти страны в 1970–80-х годах, явились эхом неправильных и экстенсивных методов эксплуатации почв в условиях африканских тропиков. Негативную роль сыграли также перевыпас скота и уничтожение и без того скудной растительности с целью заготовки дров. Сахельские засухи принесли смерть миллионам африканцев.

Многие страны мира сталкиваются с серьезными водо-ресурсными проблемами, которые заключаются не только в количественной нехватке воды, но и в дефиците чистых пресных вод. Ежегодно в водоемы попадает огромное количество неочищенных сточных вод. Среди наиболее загрязненных рек и озер мира – Дунай, Рейн, Сена, Миссисипи, Волга, Днепр, Ладожское озеро, Балхаш и др.

На каждого жителя планеты ежегодно добывается около 20 т минерального сырья, 97–98 % его в виде отходов поступает затем в почву, воду, воздух. Масса отходов и загрязняющих веществ, поступающая в окружающую среду, достигла примерно 40 млрд т. Загрязнение окружающей среды ставит под угрозу жизнь и здоровье людей, существование растительного и животного мира. Например, загрязнения двуокисью серы и окислами азота породило такое явление, как кислотные дожди, отравляющие почву и водоемы, губящие леса. Эти загрязнения переносятся на большие расстояния воздушными массами и вместе с осадками выпадают от источников загрязнения («трансграничный перенос»). Только в США и Западной Европе ими уничтожено уже более 30 млн га лесов, в ФРГ поражена половина лесной (преимущественно хвойной) растительности. Европа становится «лысеющим континентом». Кислотные дожди не минуют и территорию России: в европейской части страны уровень загрязнения западных ветров примерно в 10 раз больше, чем в восточных.

К экологической проблеме современности можно также отнести ухудшающиеся условия жизни людей в крупных городах, загрязнение Мирового океана и др.

Перенаселенность и быстрый рост населения теснейшим образом связаны с большинством аспектов наблюдающегося серьезного осложнения ситуации на планете, включая быстрое истощение невозобновляемых источников жизнеобеспечения, деградацию окружающей среды и усиливающуюся напряженность в международных отношениях. Данные о динамике роста населения Земли за последние 200 лет следующие:

- в 1804 г. население мира достигло отметки в 1 млрд человек;
- в 1927 г. население составляло уже 2 млрд (т. е. после 123 лет);
- в 1960 г. – 3,034 млрд (33 года спустя);
- в 1974 г. – 4,003 млрд (спустя 14 лет);
- в 1987 г. – 5,052 млрд (спустя 13 лет);
- в 1999 г. – 6,064 млрд (спустя 12 лет);
- в 2011 г. – 7,041 млрд (спустя 11 лет)
- в 2020 г. – 7,78 млрд;
- в 2023 г. – 8,031 (прогноз).

12 октября 1999 г. ООН официально объявлено днем 6-миллиардного жителя планеты. В среднем численность населения увеличивается на 250 тыс. человек в день, на 90 млн в год. К 2010 г. население планеты составляет около 7 млрд. Причем более 5 млрд этих людей живут в Китае, Индии, Бразилии и в странах Африки, на долю которых приходится 90 % роста населения. Однако рост населения наблюдается не во всем мире. После быстрого роста в XIX и начале XX в., население индустриально развитых стран стабилизировалось. В менее развитых регионах мира быстрый рост населения начался позже, но продолжается до сих пор. Некоторые страны Африки, например Кения, удваивают свое население каждые 25–30 лет! В развивающихся странах есть ряд социально-экономических причин, которые приводят к тому, что женщины имеют больше детей. Здесь дети являются «ресурсом» – они обеспечивают ценный труд и не требуют больших затрат на свое развитие. В некоторых странах девушки рожают детей, когда им только 15 лет. Это тоже приводит к увеличению населения. Рост численности населения напрямую связан с уровнем жизни. Он больше там, где уровень жизни низкий. В странах, где отсутствует система пенсий и пособий для стариков, дети становятся источником их финансовой поддержки на старости лет. Поэтому семьи стараются иметь больше детей.

Причинами роста населения бедных стран становятся также отсутствие доступа к профилактическим программам и здравоохранению, что приводит к большому уровню смертности детей. Поэтому многие родители стараются компенсировать это их большим количеством. Во многих случаях стремление к уменьшению роста населения сталкивается с целым рядом трудностей, касающихся моральных, культурных, религиозных и других аспектов.

К чему приводит рост численности населения? В связи с ростом населения планеты наблюдается рост общемирового потребления природных ресурсов. Процесс роста мирового населения гораздо сильнее, чем процесс роста сельскохозяйственной продукции во всем мире.

С 1950 г. численность городского населения возросла до 2 млрд человек, что составляет более 41 % мирового населения. Рост городского населения в развивающихся странах будет увеличиваться и по прогнозам ученых достигнет 4 млрд к 2025 г. Город с населением в более чем 1 млн человек (таких городов в мире более 250) ежедневно в среднем потребляет 625 000 т воды, 2000 т продуктов питания и 9500 т топлива. Этот же город ежедневно образует более 500 000 т сточных вод, 2000 тонн твердых отходов и 950 т газов, загрязняющих атмосферу.

Рост мирового населения будет оказывать и оказывает огромное давление на обеспечение людей питьевой водой. Особенно в развивающихся странах, поскольку многие из них находятся в засушливых или полувасушливых регионах.

Не стоит забывать, что развитые страны потребляют примерно 75 % всей использованной энергии, 79 % всего коммерческого топлива, 85 % всех продуктов, сделанных из дерева, и 72 % всех продуктов, сделанных из стали. Однако, анализируя данные о пирамидах возрастов населения Земли в различные периоды, как показано на рис. 9.2, приходим к интересным выводам.

В 1950-х и в начале 1960-х годов наблюдался общий резкий рост численности населения и весьма низкая детская смертность, очевидно связанные с успехами медицины и массовой вакцинации от инфекционных заболеваний. В возрастной категории от 0 до 4 лет находилось от 7 до 7,5 % населения, по-видимому, с максимумом в 1956 г. – 7,6 % для мужчин и 7,3 % для женщин. Как известно, данный тип пирамиды возрастов соответствует быстро растущей популяции (*r*-стратегия). Однако в период с 1980 по 1990 г. – ситуация начала заметно меняться. В возрастной категории от 0 до 4 лет уже находилось от 5,8 до 6,3 % населения Земли. Пирамида возрастов начала сужать свое основание. Современный нам период 2010–2020 гг. характеризуется дальнейшим снижением численности молодого поколения в возрасте от 0 до 4 лет до 4,2–4,5 %. В итоге в пирамиде возрастов в настоящее время начинает существенно увеличиваться численность людей в средней возрастной категории 30–34 года (3,8–4 %). Человечество стареет. Меньшее относительное количество новорожденных по сравнению с периодами 1950–1960 и 1980–1990 гг.,

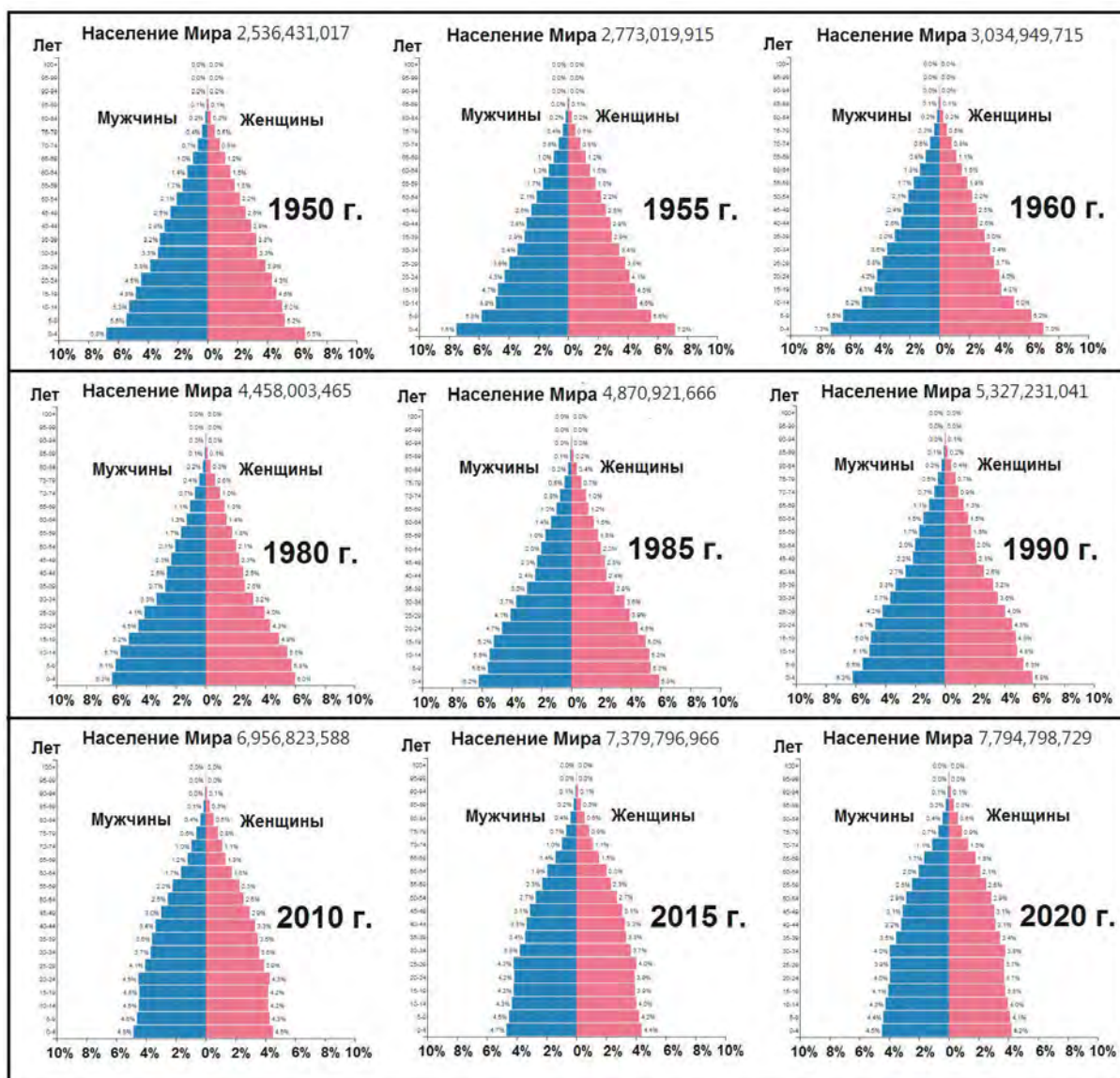


Рис. 9.2. Пирамиды возрастов и численность населения Земли за периоды с 1950–1960 гг., 1980–1990 гг., 2010–2020 гг.

может говорить о снижении темпов прироста населения Земли и стабилизации численности в ближайшем будущем.

В целом, воздействие на биосферу современного человека происходит по следующим основным направлениям:

- изменение структуры земной поверхности (распашка земель, горнодобыча, вырубка лесов, осушение болот, создание искусственных водоемов и водотоков и т.п.);
- изменение химического состава природной среды, круговорота и баланса веществ (изъятие и переработка полезных ископаемых, размещение отходов производства в отвалах, на полигонах, в атмосферном воздухе, водных объектах);
- изменение энергетического (в частности, теплового) баланса в пределах как отдельных регионов земного шара, так и на планетарном уровне;
- изменения в составе биоты (совокупности живых организмов) в результате истребления одних видов животных и растений, создания других видов (пород), перемещения их на новые места обитания (интродукция).

Далее представлены **основные источники воздействия** по состоянию на конец XX – начало XXI в.

1. *Главные источники антропогенного загрязнения воздуха:* горнотехническая промышленность, энергетика, транспорт, черная и цветная металлургия, химия и нефтехимия.

2. *Основные загрязнители гидросферы*: предприятия целлюлозно-бумажной, нефтеперерабатывающей, химической, пищевой и легкой промышленности. В последнее время значительно увеличилась доля загрязнений, поступающих в водоемы от индустриального сельского хозяйства.

3. *Основная масса промышленных твердых и жидких отходов* образуется на предприятиях горнодобычи и горнопереработки, энергетики, металлургической и химической отраслей промышленности. Твердые отходы, поступающие в окружающую среду, подразделяют на сельскохозяйственные, промышленные и бытовые. Утилизация твердых бытовых отходов повсеместно затруднена.

Антропогенное воздействие на биоту имеет следующие *важные особенности*.

1. Нелинейность дозового эффекта различных чуждых веществ или излучений на биологические системы, т. е., как правило, действие малых доз зачастую является несоизмеримо сильным. Нелинейность дозового эффекта выражается в том, что для некоторых веществ (например, опасных канцерогенов) или ряда мутагенных факторов (например, ионизирующей радиации) безопасных доз и концентраций просто не существует.

2. Наличие кумулятивного эффекта, т. е. накопление неблагоприятного воздействия на организм. В частности, в организме человека кумулятивный эффект загрязнений проявляется в виде накопления стресса, общей усталости, напряжения, переходящих в болезненное состояние.

3. Синергическое, т. е. совместное, действие. Если даже малые концентрации каких-либо химических веществ действуют на один и тот же организм одновременно, то возможен самый разнообразный интегральный эффект. Одни вещества могут усиливать или ослаблять действие других, а в некоторых случаях возможен неожиданный результат.

4. Наличие генотипических, иммунологических и индивидуальных различий в чувствительности к тем или иным воздействиям, т. е. для всех живых организмов характерны различия в чувствительности мишеней.

Следовательно, большинство антропогенных воздействий могут быть сравнимы с факторами естественного отбора. В конечном счете, суммарное воздействие на человека антропогенно измененных факторов окружающей среды происходит аналогично естественному отбору и проявляется в форме бесплодия, предродовой и послеродовой смертности.

Многим загрязнениям характерно триггерное (триггер – пуск, спусковой механизм) действие, а именно то или иное загрязнение может вызвать цепную реакцию, начинающуюся с какого-то одного наиболее чувствительного вида. Далее реакция передается по трофической сети и ведет к тому или иному поражению целой экосистемы.

9.3.1. Отходы и их свойства

Городские и сельские поселения, промышленные предприятия и сельское хозяйство являются источниками огромного количества различных отходов. Для упорядочивания работы с ним существует классификация и кодификация отходов по классам в зависимости от степени вреда человеку и природе. Классы отходов определяют уровень технологии утилизации разных видов мусора. Федеральным классификационным каталогом отходов (ФККО), согласно Приказу Росприроднадзора от 22.05.2017 № 242 (с изменениями от 2 ноября 2018 года № 451) в Российской Федерации создана классификация, подразделяющая мусор на группы по признакам:

- по составу составляющих компонентов, пригодных для повторного использования;
- по происхождению мусора;
- по агрегатному состоянию отходов.

Большая часть отходов, произведенная человечеством, вполне пригодна для вторичного в качестве сырья, а это экономия ресурсов планеты и площадей для захоронения. При таком развитии технологии классификация по составу имеет два вида:

- переработка невозможна – отходы подлежат либо уничтожению, либо захоронению в невозможном для нанесения вреда природе виде;
- возможно вторичное использование мусора в качестве сырья.

При первичной сортировке мусор сортируется по изложенным выше признакам и то, что невозможно переработать, но очень вредно, подлежит уничтожению либо захоронению в надежде, что это пригодится последующим поколениям. Перед захоронением этот вид отходов приводится в безопасный для природы вид (обеззараживается, сжигается и пр.).

Что можно использовать сейчас, при сегодняшнем развитии технологии, отделяется и уходит в качестве сырья в соответствующую отрасль промышленности для производства новой продукции.

Первая цифра кода ФККО указывает на происхождение отходов и начинается кодификация с сельского хозяйства. Список кодов включает в себя следующие разделы:

- органические остатки переработки продукции;
- отходы минералов и руд;
- отходы химической промышленности;
- коммунальный мусор и бытовые отходы.

Например, код 1-00-000-00-00-0 соответствует группе отходов сельского, лесного хозяйства, рыболовства и рыбоводства. Отходы растениеводства имеют код 1-11-000-00-00-0, а более опасные отходы пестицидов и ядохимикатов – 1-14-100-00-00-0. Отходы, образующиеся при добыче полезных ископаемых, кодируются как 2-00-000-00-00-0, а отходы, образующиеся при добыче сырой нефти и попутного газа, – 2-12-000-00-00-0 и т.д.

Происходят отходы из двух источников: производство (промышленное и сельскохозяйственное) и жизнедеятельность человека в быту.

В промышленности в изготовлении конечного продукта участвует часть сырья, а неустраняемый брак, поломанные инструменты, обрезки, стружка – все это отходы. В сельском хозяйстве большая проблема с выделениями отходов животноводческих ферм, свиноматок, птицефабрик, скотобоен и мясокомбинатов.

Огромные скопления жителей мегаполисов выдают миллионы тонн просроченной еды, пищевых остатков, поломанной бытовой техники и мебели, тары и упаковки для продуктов и товаров, уходящих в мусор.

На сбор, хранение, транспортировку мусора критически влияет физическое состояние отходов. Агрегатное состояние их указывается в кодах, они делятся на следующие группы:

- твердые (твердые бытовые отходы – ТБО, твердые коммунальные отходы – ТКО);
- жидкие;
- газы;
- сыпучие отходы, геле- и пастообразные материалы.

Основную массу отходов составляют первые три вида их состояния.

Все эти разделы подлежат отражению в классификации и предполагают соответствующую технологию утилизации.

Накопление отходов отличается по уровню опасности для людей и природы, это требует различного подхода ко всем его этапам. Определение кода позволяет правильно подойти к организации сбора, хранению, транспортировке и конечной утилизации мусора.

Основой современной классификации служит стандарт ГОСТ 12.1.007-76, определивший критерии опасности отходов. В нем описаны *четыре класса опасности* веществ, терминология, пояснения и предельные нормы содержания их при хранении и транспортировке.

Приказом Минприроды РФ № 536 от 04.12.2014 г. введена расширенная классификация отходов и уточнены критерии деления ее по I–V классам.

Далее рассмотрены классы опасности отходов (на 2020 г.) в зависимости от источника происхождения.

К *1 классу* относятся отходы, содержащие вещества, наносящие непоправимый ущерб здоровью человека, приводящие к разрушению экосистемы и природного равновесия. Чрезвычайно опасные соединения, не распадающиеся в природе в обозримом будущем и не позволяющие восстановиться самостоятельно. Они включают в себя ртуть и ее производные, свинец и его соли, плутоний, полоний, таллий.

Источниками токсичных веществ 1 класса опасности являются: ртутные (энерго-сберегающие) лампы, расходные материалы медицинского оборудования и градусников,

различные терморегуляторы, трансформаторы и конденсаторы. Их хранение, транспортировка и утилизация возможны в специальных контейнерах, емкостях и чехлах, исключающих проникновение отходов 1 класса опасности в почву.

Учет и контроль мест хранения таких отходов – особая зона ответственности. Не допустима потеря и нежелательна утечка такой информации в открытый доступ.

Отходы 2 класса менее опасны для человека и природной среды. Однако, в случае утечки на восстановление экосистемы уйдут несколько десятилетий. К таким отходам относятся: отработавшие автомобильные аккумуляторы, батарейки и элементы питания оргтехники, кислотные и щелочные растворы, отработанные масла и остатки нефтепродуктов.

Источниками такого класса отходов являются промышленные и транспортные предприятия, многочисленные автосервисы и мастерские. Хранение веществ 2 класса опасности возможно в закрытых емкостях, на поддонах и под навесом на закрытой для доступа территории.

Переработка и утилизация отходов 2 класса специализированными организациями налаженный процесс, поэтому по мере накопления отходов лучше их сдавать, а не хранить. Это не только безопасно, но и экономически выгодно.

Умеренно опасными *отходами 3 класса* считаются такие, которые в природе перерабатываются в течение 10 лет. К категории относятся предметы, прошедшие в процессе изготовления химическую обработку: фильтры разного назначения, кабели, цементная пыль и продукция нефтехимии. В этот же класс входит и некоторые отходы сельского хозяйства, в частности, куриный и утиный жир, свиной навоз. Хранить органические отходы нужно так, чтобы не допускать утечки в окружающую среду, а над переработкой отходов нефтехимии ученые успешно работают, используя их в качестве сырья.

Отходы, относящиеся к 4 классу, – это малоопасный мусор. Уровень ущерба в данном случае для экологической системы незначителен и их негативное влияние длится не более 3 лет. К 4 классу отходов принадлежат: строительные отходы (рубероид, битум, шпаклевка, битое стекло); изношенные автошины; пришедшая в негодность мебель; биоотходы сельского хозяйства. Значительная часть отходов 4 класса может быть использована вторично, остатки их должны быть собраны на полигонах, после заполнения которых подвергнуты регенерации.

Пятый класс отходов хоть и не удобен, но вполне безопасен для человека и не наносит ущерб природе. К нему относятся различные отходы деревообработки: бумага, картон, опилки. Они могут быть использованы в качестве сырья или топлива для вторичного использования. Черные и цветные металлы вообще можно использовать не единожды.

Пищевые остатки, если верить статистике, составляющие до 40 % всей произведенной еды в мире, уходят в отходы. Им находится применение в животноводстве. Скорлупа от яиц огромных птицефабрик и зола могут быть использованы в сельском хозяйстве. Что касается изделий из пластмасс и пластиковых пакетов, они не оказывают прямого воздействия на здоровье человека и природу, но их количество становится угрожающим.

Все отходы, относящиеся к I–IV классам, должны получить паспорт с определением уровня опасности на основе двух показателей. Методы определения класса отходов возможны по расчетам и экспериментально. Процедура классификации прописана в СанПин 2.1.7.1386-03. Если выявлено появление нового вида мусора, необходимо направить в Росприроднадзор заявку на внесение его в классификацию и ФККО.

9.3.2. Загрязнение атмосферного воздуха

Под качеством атмосферы понимают совокупность ее свойств, определяющих степень воздействия физических, химических и биологических факторов на людей, растительный и животный мир, а также на материалы, конструкции и окружающую среду в целом.

В зависимости от формы материи загрязнения подразделяют на: *вещественные* (ингредиентные), *энергетические* (параметрические) и *вещественно-энергетические*.

К первым относят механические, химические и биологические загрязнения, которые обычно объединяют общим понятием – примеси. Ко вторым – тепловые, акустические, электромагнитные и ионизирующие излучения, а также излучения оптического диапазона. К третьим – радионуклиды.

Численность населения Земли и темпы его роста являются предопределяющими факторами повышения интенсивности загрязнения всех геосфер Земли, в том числе и атмосферы, так как с их увеличением возрастают объемы и темпы всего того, что добывается, производится, потребляется и отправляется в отходы. Наибольшее загрязнение атмосферы наблюдается в городах, где обычные загрязнители – это пыль, сернистый газ, окись углерода, двуокись азота, сероводород и др. В некоторых городах в связи с особенностями промышленного производства в воздухе содержатся специфические вредные вещества, такие как серная и соляная кислота, стирол, бенз(а)пирен, сажа, марганец, хром, свинец, метилметакрилат. Всего в городах насчитывается несколько сотен различных загрязнителей воздуха.

Особую тревогу вызывают загрязнения атмосферы вновь создаваемыми человеком веществами и соединениями. Всемирная организация здравоохранения отмечает, что из 105 известных элементов таблицы Д.И. Менделеева 90 используются в производственной практике, а на их базе получено свыше 500 новых химических соединений, почти 10 % из которых вредные или особо вредные. Загрязнение атмосферного воздуха, по сравнению с загрязнением воды и почвы, наиболее опасное. Без чистого воздуха человек сможет прожить не более нескольких минут. Кроме того, атмосфера – основной путь достаточного быстрого трансграничного загрязнения окружающей среды с учетом ее постоянной региональной и крупномасштабной циркуляции.

Уровень загрязнения атмосферы примесями от естественных источников является фоновым и имеет малые отклонения от среднего уровня во времени.

Примеси поступают в атмосферу в виде газов, паров, жидких и твердых частиц. Газы и пары образуют с воздухом смеси, а жидкие и твердые частицы – *аэрозоли* (дисперсные системы), которые подразделяют на: *пыль* (размеры частиц более 1 мкм), *дым* (размеры твердых частиц менее 1 мкм) и *туман* (размер жидких частиц менее 10 мкм).

Пыль, в свою очередь, может быть крупнодисперсной (размер частиц более 50 мкм), среднедисперсной (50–10 мкм) и мелкодисперсной (менее 10 мкм).

В зависимости от размера жидкие частицы подразделяются на супертонкий туман (до 0,5 мкм), тонкодисперсный туман (0,5–3,0 мкм), грубодисперсный туман (3–10 мкм) и брызги (свыше 10 мкм).

Следует отметить, что аэрозоли чаще полидисперсные, т. е. содержат частицы различного размера. Далее рассмотрены основные химические примеси, загрязняющие атмосферу.

Окись углерода (CO) – бесцветный газ, не имеющий запаха, известен также под названием «угарный газ». Вызывает головные боли, тошноту, а при более высокой концентрации – смерть. Препятствует связыванию и транспортировке кислорода по сосудам. С гемоглобином крови формирует стойкое соединение карбоксигемоглобин. Выделяется при сжигании всех типов органического топлива. В городской среде, на улицах крупных городов возможны повышенные концентрации вблизи магистралей с напряженным автомобильным движением, в пробках, на перекрестках.

Двуокись углерода (CO₂), или углекислый газ, – бесцветный газ с кисловатым запахом и вкусом, продукт полного окисления углерода. Является одним из парниковых газов.

Двуокись серы (SO₂) (диоксид серы, сернистый ангидрид) – бесцветный газ с резким запахом. Длительное воздействие диоксида серы на человека приводит вначале к потере вкусовых ощущений, стесненному дыханию, а затем – к воспалению или отеку легких, перебоям в сердечной деятельности, нарушению кровообращения и остановке дыхания.

Окислы азота (оксид и диоксид азота) – газообразные вещества: монооксид азота NO и диоксид азота NO₂ объединяются одной общей формулой NO_x. При остром отравлении диоксидом азота может развиваться отек легких. Признаками хронического отравления являются головные боли, бессонница, раздражение слизистых оболочек.

Озон (O_3) – газ с характерным запахом, более сильный окислитель, чем кислород. Его относят к наиболее токсичным из всех обычных загрязняющих воздух примесей. Озон относят к 1-му, наиболее высокому классу опасности.

Углеводороды – химические соединения углерода и водорода. К ним относят тысячи различных загрязняющих атмосферу веществ, содержащихся в несгоревшем бензине, жидкостях, применяемых в химчистке, промышленных растворителях и т.д. Многие углеводороды опасны сами по себе. Например, бензол, один из компонентов бензина, может вызвать лейкемию, а гексан – тяжелые поражения нервной системы человека. Бутадиен является сильным канцерогеном.

Свинец – серебристо-серый металл, токсичный в любой известной форме. Широко используется для производства припоя, красок, боеприпасов, типографского сплава и т.п. Около 60 % мировой добычи свинца ежегодно расходуется для производства кислотных аккумуляторов. Однако основным источником (около 80 %) загрязнения атмосферы соединениями свинца являются выхлопные газы транспортных средств, в которых используется этилированный бензин, в который в качестве антидетонационной присадки ранее вводили тетраэтилсвинец.

Фреоны – группа галогеносодержащих веществ, синтезированных человеком. Их преимуществом перед другими веществами является то, что они не горючи, не токсичны и нейтральны. Фреоны, представляющие собой хлорированные и фторированные углеводороды (ХФУ), как недорогие и нетоксичные газы широко применяются в качестве хладагентов в холодильниках и кондиционерах, пенообразующих агентов, в установках для газового пожаротушения, рабочего тела аэрозольных упаковок (лаков, дезодорантов и т.д.).

Промышленные пыли в зависимости от механизма их образования подразделяют на следующие 4 класса:

- механическая пыль – образуется в результате измельчения продукта в ходе технологического процесса;
- возгоны – образуются в результате объемной конденсации паров веществ при охлаждении газа, пропускаемого через технологический аппарат, установку или агрегат;
- летучая зола – содержащийся в дымовом газе во взвешенном состоянии несгораемый остаток топлива, образуется из его минеральных примесей при горении;
- промышленная сажа – входящий в состав промышленного выброса твердый высокодисперсный углерод, образуется при неполном сгорании или термическом разложении углеводородов.

Основной параметр, характеризующий взвешенные частицы, – это их размер, который колеблется в широких пределах – от 0,1 до 850 мкм. Из этой гаммы наиболее опасны частицы от 0,5 до 5 мкм, поскольку они не оседают в дыхательных путях и именно их выдыхает человек.

Сжигание каменного угля, производство цемента и выплавка чугуна дают суммарный выброс пыли в атмосферу, равный 170 млн т/г.

Загрязнение атмосферы соединениями серной и азотной кислот с последующим выпадением осадков называется *кислотными дождями*.

Кислотные дожди образуются в результате выброса в атмосферу оксидов серы и азота предприятиями топливно-энергетического комплекса, автотранспортом, а также химическими и металлургическими заводами. При анализе состава кислотного дождя основное внимание обращается на содержание катионов водорода, определяющих его кислотность (pH). Для чистой воды водородный показатель $pH = 7$, что соответствует нейтральной реакции. Растворы с pH ниже 7 считаются кислыми, выше – щелочными. Весь диапазон кислотности-щелочности охватывается значениями pH от 0 до 14.

Кислотные дожди и водоемы. Как правило, pH большей части рек и озер составляет 6...8, но при высоком содержании в их водах минеральных и органических кислот pH значительно ниже. Процесс попадания кислотных дождей в водоемы (реки, пруды, озера и водохранилища) включает много этапов, на каждом из которых их pH может и уменьшаться и возрастать. Например, изменение pH осадков возможно при их движении по лесной подстилке, взаимодействии с минералами, продуктами деятельности микроорганизмов.

Все живое чувствительно к изменению pH , поэтому повышение кислотности водоемов наносит непоправимый вред рыбным запасам. В Канаде, например, из-за частых кислотных дождей более 4 тыс. озер объявлены мертвыми, еще 12 тыс. – на грани гибели. Нарушено биологическое равновесие 18 тыс. озер в Швеции. В половине озер южной части Норвегии исчезла рыба.

Кислотные дожди и леса. Огромный урон кислотные дожди наносят лесам, садам, паркам. Кислотные дожди наносят урон не только лесам, расположенным на равнинах, ряд повреждений зарегистрирован в высокогорных лесах Швейцарии, Австрии, Италии.

Кислотные дожди и урожайность сельскохозяйственных культур. Установлено, что последствия воздействия на сельскохозяйственные культуры кислотных дождей определяются не только их кислотностью и катионным составом, но и продолжительностью, а также температурой воздуха.

Кислотные дожди и материалы. Влияние кислотных дождей на широкую гамму конструкционных материалов становится из года в год все очевиднее. Серьезной проблемой, как известно, стало сохранение античных памятников в Греции и Италии. Основными повреждающими ингредиентами являются катион водорода, диоксид серы, оксиды азота, а также озон, формальдегид и пероксид водорода.

Конкретные меры по уменьшению выбросов серы в атмосферу реализуются в двух направлениях: использование на ТЭЦ углей с низким содержанием серы; очистка выбросов.

Аналогичные методы необходимо применять и к высокосернистой нефти. Мировые запасы нефти с низким содержанием серы (до 1 %) невелики и составляют не более 15 %.

Перспективной мерой по снижению вредных воздействий является установление лимитов на выбросы. Так, Агенство по охране окружающей среды США установило лимит общего выброса двуокиси серы на территории страны, предусмотрев его ежегодное снижение. Это мероприятие дало определенный положительный эффект.

Атмосфера испытывает также загрязнение биологическими примесями. Биологические примеси подразделяют на патогенные макроорганизмы (бактерии, вирусы, грибы и т.д.) и микроорганизмы (растения и животные). К первым относят живые организмы, размером меньше 500 мкм.

Загрязнение атмосферы биологическими примесями связано как с массовым появлением самих микроорганизмов, так и с влиянием их на человека, в первую очередь на его иммунную систему. Иммунная система человека эволюционировала на протяжении миллионов лет, адекватно реагируя на новые бактерии и штаммы вирусов. Но это экологическое равновесие человека с окружающей средой начинает все больше нарушаться.

Исследованиями установлено, что с 1970-х годов в России на 50 % возросла частота таких экологически зависимых (эндоэкологических) заболеваний, как сердечно-сосудистые и онкологические. Эндоэкологические заболевания наиболее опасны для будущих поколений, и это подтверждается следующими данными: всего 23 % детей остаются здоровыми к 7-летнему возрасту, а к 17-летию – 14 %, половина юношей призывного возраста не пригодна к службе в армии по состоянию здоровья.

Атмосферный воздух является средой для распространения опасных инфекционных заболеваний, передающихся воздушно-капельным путем, в т.ч. коронавируса COVID-19.

9.3.3. Загрязнение природных вод

Гидросфера – водная оболочка Земли, включающая океаны, моря, реки, озера, подземные воды и ледники, снеговой покров, а также водяные пары в атмосфере. Гидросфера Земли на 94 % представлена солеными водами океанов и морей, более 75 % всей пресной воды законсервировано в полярных шапках Арктики и Антарктиды.

Развитие цивилизации изменяет естественный круговорот воды, прежде всего из-за изменения баланса транспирируемой воды, а также образования такого промежуточного звена, как техническое водопотребление. Особая роль в этом процессе принадлежит орошению – искусственному увлажнению почвы и поверхности растений путем подачи

воды из водного источника в целях обеспечения растений влагой, промывки почв и регулирования их солевого режима. 70 % потребляемой людьми пресной воды используется в земледелии. При этом 60 % воды, применяемой для орошения, не доходит до полей.

Масштабы использования водных ресурсов быстро увеличиваются. Это связано с ростом населения и улучшением санитарно-гигиенических условий жизни человека, развития промышленности и орошаемого земледелия. Суточное потребление воды на хозяйственно-бытовые нужды в сельской местности составляет 50 л на 1 человека, в городах – 150 л. Огромное количество воды используется в промышленности. Например, на производство 1 т бумаги требуется 100 м³, на изготовление 1 т синтетического волокна – от 2500 до 5000 м³. Промышленность поглощает 85 % всей воды, расходуемой в городах, оставляя на хозяйственно-бытовые цели около 15 %.

Постоянное увеличение водопотребления на планете ведет к опасности «водяного голода», что обуславливает необходимость разработки мероприятий по рентабельному использованию водных ресурсов

Различают следующие группы источников загрязнения Мирового океана:

- *морские* – военные корабли, суда различного назначения и другие установки и устройства, эксплуатируемые в морской среде;
- *трубопроводы*, установки и устройства, используемые при разведке и разработке природных ресурсов морского дна и его недр;
- *наземные* – реки, озера и другие водные системы, куда загрязняющие вещества попадают с грунтовыми водами, а также в результате сбросов сточных и нагретых вод с различных береговых объектов, захоронений радиоактивных отходов и других особо вредных веществ;
- *атмосферные* – различные промышленные предприятия, транспортные средства и другие объекты, откуда могут происходить выбросы в атмосферу вредных газообразных отходов.

Международная конвенция по предотвращению загрязнения с судов от 29 декабря 1972 г. (англ. International Convention for the Prevention of Pollution from Ships, MARPOL 73/78) – Международная конвенция, предусматривающая комплекс мер по предотвращению эксплуатационного и трансграничного загрязнения моря судами с нефтью, жидкими веществами в больших количествах, вредными веществами в упаковке, сточными водами. Данная Конвенция полностью запрещает сброс:

- органогалогенных соединений;
- ртути и соединений на ее основе;
- кадмия и кадмиевых соединений;
- изделий из устойчивых пластмасс и других устойчивых синтетических материалов (например, сетей и тросов), которые могут всплывать или оставаться во взвешенном состоянии в морской воде таким образом, что будут существенно мешать рыболовству, судоходству или другому законному использованию моря;
- сырой и топливной нефти, тяжелого дизельного топлива и смазочного масла, гидравлических жидкостей, а также смесей, содержащих эти вещества;
- радиоактивных веществ с высоким уровнем радиации по заключению Международного агентства по атомной энергии, как непригодных для сброса в море с точки зрения здравоохранения, биологической безопасности и по другим причинам;
- материалов в какой бы то ни было форме (твердые вещества, жидкости, полужидкости, вещества в газообразном состоянии или живые организмы), изготовленных для ведения биологической или химической войны.

Это не распространяется на сбросы отходов или других материалов, содержащих перечисленные вещества в незначительных количествах, например, сточные и отстойные воды, грунт от землечерпальных работ, а также на вещества, которые можно быстро обезвредить физическими, химическими или биологическими процессами при условии, что образованные соединения не влияют отрицательно на вкус съедобных морских организмов, а также не создают угрозы здоровью человека или домашних животных.

Международная конвенция о контроле судовых балластных вод и осадков и управлении ими, принятая 13 февраля 2004 г., вступила в силу для Российской Федерации

8 сентября 2017 г. Российская Федерация присоединилась к Конвенции на основании постановления Правительства Российской Федерации от 28.03.2012 № 256. Данная Конвенция направлена на предотвращение трансграничного биологического загрязнения морской среды, распространяющегося вместе с балластными водами транспортных судов. Введены требования по их обязательному обезвреживанию.

Международная морская организация, членом которой России является с 1958 г., приняла Международный кодекс для судов, плавающих в полярных водах и соответствующие поправки, чтобы сделать его обязательным в рамках как Международной конвенции по охране человеческой жизни на море, так и Международной конвенции по предотвращению загрязнения с судов (MARPOL). Экологические положения, касающиеся MARPOL, были приняты в ходе 68-й сессии Комитета по защите морской среды в мае 2015 г. Требования Кодекса вступили в силу 01 января 2017 г. Цель Кодекса состоит в том, чтобы обеспечить безопасную эксплуатацию судов и защиту полярной среды от характерных для полярных вод рисков, снижение которых не рассматривается в достаточной степени в других руководящих документах. В частности, в обозначенных полярных районах Арктики и Антарктики полностью запрещается сброс нефтесодержащих вод с судов, даже после их частичной очистки.

Особенности загрязнения морских вод нефтью. К числу наиболее распространенных и вредных загрязняющих веществ относятся нефть, ежегодное поступление которой в моря и океаны, по данным ООН, достигает 6–7 млн т. Ожидается дальнейший рост загрязнений нефтью из-за постоянного увеличения объема ее добычи, особенно с континентального шельфа.

Огромное количество нефти попадает в море в результате сброса с судов промысловых, балластных и льяльных (трюмных) вод, а также потерь при погрузке и разгрузке танкеров. По этим причинам в морях и океанах ежегодно оказывается около 3 млн т нефти. При этом в основном загрязняются территории портов, припортовые акватории, прибрежные районы и районы интенсивного судоходства.

В начале третьего тысячелетия подводные скважины будут давать 50 % добываемой в мире нефти. При морской нефтедобыче возможно загрязнение морской среды вследствие аварий, а также мелких утечек нефти (оцениваемых в 0,1 млн т ежегодно). Очевидно, что этот источник представляет огромную потенциальную опасность, и его роль в формировании нефтяных загрязнений морей и океанов со временем будет увеличиваться.

Источником нефтяных загрязнений вод являются береговая промышленность, и в первую очередь нефтеперерабатывающие заводы. Хотя сточные воды промышленных предприятий очищаются, полной очистки сточных вод от нефти и нефтепродуктов достичь не удается.

Большое количество нефтепродуктов попадает в океанические бассейны из атмосферы. Например, двигатели внутреннего сгорания, которыми оснащены различные транспортные средства, выбрасывают в воздух в год более 50 млн т различных углеводородов.

Кроме техногенных источников, имеются и природные. Естественные выходы нефти образуются в местах ее просачивания из нефтеносных слоев через земную кору. Такие выходы известны у берегов Южной Калифорнии, в Мексиканском и Персидском заливах, Карибском море. Скорость поступления нефти из естественных выходов обычно невелика, поэтому таким образом в моря и океаны попадает сравнительно небольшое количество нефтяных углеводородов, а основную массу загрязнений Мирового океана (более 90 %) поставляют источники антропогенного происхождения.

Поля нефтяных загрязнений, формирующие локальные зоны, остаются устойчивыми во времени, поэтому в их распространении огромную роль играют океанические циркуляции. Именно они переносят нефтяные загрязнения в наиболее чистые районы Мирового океана, в том числе и в Северный Ледовитый океан.

Поступившие в воду нефтепродукты деградируют в результате химического, фотохимического и бактериального разложения, а также деятельности некоторых морских организмов и высших растений. Однако «процесс» естественной нейтрализации нефтепродуктов достаточно длителен и может составлять от одного до нескольких месяцев.

Смешиваясь с водой, нефть образует эмульсию двух типов: прямую «нефть в воде» и обратную «вода в нефти». *Прямые эмульсии*, составленные капельками нефти диаметром до 0,5 мкм, менее устойчивы и характерны для нефти, содержащей поверхностно-активные вещества. При удалении летучих фракций нефть образует вязкие *обратные эмульсии*, которые могут сохраняться на поверхности, переноситься течением, выбрасываться на берег и оседать на дно. Однако наибольшую опасность по своим последствиям представляют нефтяные пленки, образующиеся на водной поверхности и уменьшающие теплопроводность и теплоемкость верхнего водного слоя. Поэтому наличие нефтяной пленки сказывается на процессе испарения. Так, на спокойной воде из-за тонкого слоя нефти испарение уменьшается в 1,5 раза, а при скорости ветра до 6–8 м/с – на 60 %, т. к. пленки служат барьером для молекул воды и снижают аэродинамическую шероховатость водной поверхности. Экспериментально установлено, что за 1 ч с поверхности океана в одну квадратную милю при наличии нефтяной пленки испаряется 45 т воды, в то время как при отсутствии пленки – 97 т. Замедление процесса испарения приводит к тому, что воздушные массы, движущиеся над океаном, слабее насыщаются водяным паром.

Таким образом, нефтяные пленки являются тем техногенным фактором, который влияет на формирование и протекание гидрологических и гидрохимических процессов в поверхностных слоях воды морей и океанов.

Нефтяные загрязнения воздействуют и на живые организмы, экранируя солнечное излучение и замедляя обновление кислорода в воде. В результате перестает размножаться планктон – основной продукт питания морских обитателей. Толстые нефтяные пленки нередко становятся причиной гибели морских птиц.

Нефтяное загрязнение – серьезный фактор, влияющий на жизнь всего Мирового океана. Особенно опасно загрязнение высокоширотных вод, где из-за низкой температуры нефтепродукты практически не разлагаются и как бы «консервируются» льдами, поэтому нефтяное загрязнение может нанести серьезный ущерб окружающей среде Арктики и Антарктики.

Особенности загрязнения морей и океанов тяжелыми металлами. В условиях активной антропогенной деятельности загрязнение океанических вод тяжелыми металлами стало особо острой проблемой. Группа тяжелых металлов плотностью выше 4,5 г/см³ объединяет более 30 элементов периодической системы. Эти металлы (ртуть, свинец, кадмий, цинк, медь, мышьяк) относятся к числу распространенных и весьма токсичных загрязняющих веществ. Они широко применяются в различных промышленных производствах, поэтому, несмотря на очистные мероприятия, содержание тяжелых металлов и их соединений в промышленных сточных водах довольно высокое. Большие массы этих соединений поступают в океан через атмосферу. Для морских биоценозов наиболее опасны ртуть, свинец и кадмий, так как они сохраняют токсичность бесконечно долго. Например, ртутьсодержащие соединения (особенно метилртуть) – сильнейшие яды, действующие на нервную систему, представляют угрозу для жизни всего живого. В 1950–60-е годы в районе бухты Миномата (Япония) было зарегистрировано массовое отравление, жертвами которого стали десятки тысяч человек, употреблявших в пищу зараженную рыбу. Причиной заражения было предприятие, сбрасывающее ртуть в воду залива.

В Мировой океан в год поступает до 2 млн т свинца, до 20 тыс. т кадмия и до 10 тыс. т ртути. Наиболее высокие уровни загрязнения имеют прибрежные воды и внутренние моря.

Все морские пространства подразделяются в зависимости от пределов распространения государственного суверенитета на 2 группы: находящиеся под суверенитетом государства (национальная территория), где государство осуществляет свою юрисдикцию; расположенные за пределами государственной территории районы открытого моря. Для последних устанавливаются международно-правовые экологические нормы, эффективность которых во многом обусловлена соблюдением государствами обязательств, взятых ими по международным договорам по защите морских экосистем от загрязнений в процессе любой их деятельности в Мировом океане. Указанные нормы можно сгруппировать в следующие 4 пакета:

– регулирующие общие вопросы сотрудничества государств по защите морских экосистем от загрязнения, например Конвенция ООН по морскому праву 1982 г. (ч. 12);

– содержащие категорическую формулу о запрете загрязнения морских систем конкретными токсичными веществами, представляющими особую опасность для Мирового океана, например Конвенция по предотвращению загрязнения моря сбросами отходов и других материалов 1972 г., Международная конвенция по предотвращению загрязнения с судов 1973–78 гг. и др.;

– устанавливающие запрет на загрязнение морских экосистем определенных районов Мирового океана, например Соглашение о сотрудничестве в борьбе с загрязнением Северного, Балтийского, Средиземного и других морей;

– включенные в многосторонние международные договоры универсального и регионального характера, которыми регламентирована противоправность радиоактивного загрязнения морских экосистем непосредственно в связи с деятельностью вооруженных сил государств в Мировом океане, например ст. 5 Договора об Антарктике (1959 г.), которая устанавливает запрет на сброс с военных кораблей радиоактивных отходов любой степени активности в районе южнее 60° с.ш.

Материковые воды суши обычно подразделяют на поверхностные, почвенные, подземные. Пресные воды распределены на поверхности Земли крайне неравномерно. Так, в Европе и Азии, где проживает 70 % населения мира, сосредоточено лишь 39 % мировых речных вод. На территории России 82 % речного стока приходится на северные районы страны, которые по климатическим условиям малопригодны для развития земледелия и существенно менее заселены, чем южные районы, экономически более развитые, но испытывающие дефицит пресной воды.

Число загрязнителей пресной воды достигает 2500. По данным Всемирной организации здравоохранения, до 80 % всех заболеваний, связанных с качеством среды обитания, – результат употребления населением грязной воды. Почти 2,5 млрд жителей планеты страдает дизентерией, гепатитом, диареей и другими заболеваниями, связанными с загрязнением воды.

Использование пресных вод. В зависимости от того, каким образом используют водные ресурсы, все отрасли народного хозяйства подразделяют на 2 следующих категории.

Водопользователи – это отрасли, которые используют водоемы для различных целей, но безвозвратный водозабор не ведут. К ним относятся гидроэнергетика, водный транспорт, рыбное хозяйство, местные органы, использующие воду для целей и нужд населения, т. е. службы хозяйственно-питьевого потребления.

Водопотребители – это отрасли, которые берут воду из водоемов, причем часть ее используется безвозвратно. Крупнейшими водопотребителями являются теплоэнергетика (особенно АЭС), сельское хозяйство, а из промышленности – химическая и металлургическая.

Современный город с населением 1 млн человек потребляет в сутки 300 тыс. м³ воды, из которых 75–80 % превращаются в сточные воды.

Пресная вода (с минерализацией менее 1 г/л) используется для различных целей в промышленности и в жилищно-коммунальном хозяйстве.

Вода питьевая – вода, в которой бактериологические, органолептические показатели и показатели токсических химических веществ находятся в пределах норм питьевого водоснабжения.

Вода минеральная – вода, компонентный состав которой отвечает лечебным требованиям.

Вода промышленная – вода, компонентного состава и ресурсов которой достаточно для извлечения этих компонентов в промышленных масштабах.

Вода теплоэнергетическая – термальная вода, теплоэнергетические ресурсы которой могут быть использованы в любой отрасли народного хозяйства.

Вода техническая – любая вода, кроме питьевой, минеральной и промышленной, пригодная для использования в народном хозяйстве. При этом различают:

– хозяйственно-бытовые воды – воды, используемые для бытовых и санитарно-гигиенических целей населением, а также прачечными, банями, столовыми, больницами и т.д.;

– поливную воду, используемую для орошения земель и полива сельскохозяйственных растений;

– энергетическую воду, используемую для получения пара и нагрева помещений, оборудования и сред, а также для охлаждения жидких и газообразных продуктов в теплообменных аппаратах, а твердых тел – непосредственно; может быть оборотной и подпиточной (добавочной).

В случае использования воды в теплообменных аппаратах она не соприкасается с материальными потоками и не загрязняется, а лишь нагревается. В промышленности 65–80 % расхода воды потребляется для охлаждения.

Технологическую воду подразделяют на:

– средообразующую, которую используют для растворения и образования пульп, при обогащении и переработке руд, гидротранспорте продуктов и отходов производства;

– промывочную – для промывки газообразных (абсорбция), жидких (экстракция) и твердых продуктов и изделий;

– реакционную – в составе реагентов, при отгонке и аналогичных процессах.

Таким образом, технологическая вода непосредственно контактирует с продуктами и изделиями. Наиболее перспективный путь уменьшения потребления свежей воды – это создание оборотных и замкнутых систем водоснабжения, что позволяет в 10–50 раз уменьшить потребление природной воды.

Основные пути решения проблемы обеспечения чистой водой: очистка сточной воды от загрязнений; очистка пресной воды, поступающей к потребителю; обеспечение режима и регулирования качества воды в водных объектах.

9.3.4. Загрязнение почвы

В результате воздействия естественных и антропогенных причин происходит деградация почвенного покрова, т. е. постепенное ухудшение свойств почв, вызываемое изменением условий почвообразования в результате естественных причин (например, наступления лесов или сухой степи на черноземы) или хозяйственной деятельности человека (неправильная агротехника, загрязнение и т.п.) и сопровождаемое уменьшением содержания гумуса, разрушением почвенной структуры и снижением плодородия.

Изменение естественных условий почвообразования. Наиболее интенсивно изменяются естественные условия почвообразования из-за опустынивания. Под опустыниванием понимают уменьшение или уничтожение биологического потенциала земель, которое в итоге может привести к возникновению условий, аналогичных условиям пустыни. Различают 2 формы опустынивания: *дезертификацию*, т. е. расширение ареала пустыни, и *дезертизацию*, т. е. углубление процесса опустынивания в конкретном регионе.

Наиболее типичным примером десертификации является изменение площади, занимаемой пустыней Сахара. С 1980 по 1984 г., по данным НАСА, пустыня Сахара расширила свои размеры с 8,80 до 10,01 млн км², далее наступил процесс отступления, и в 1990 г. она занимала пространство в 9,63 млн км².

Уменьшение содержания гумуса. Гумус – органическое вещество почвы, образуемое в результате разложения растительных и животных остатков и продуктов жизнедеятельности организмов. Гумус содержит основные элементы питания растений, в связи с чем почвы, богатые гумусом, обладают высоким плодородием. Уменьшение содержания гумуса в почве ведет к снижению их плодородия и в итоге к опустыниванию.

Основная причина уменьшения содержания гумуса в почве – приемы искусственного повышения плодородия почв (внесение минеральных и др. удобрений, мелиорация и т.п.). По данным агрохимического обследования, 16,5 млн га российских пашен имеют очень низкое содержание гумуса, а 21 млн га – низкое.

Пестицид – химическое соединение, используемое:

- для регуляции роста и развития растений (ауксины, гиббериллины, ретарданты),
- для удаления листьев растений (дефолианты);

- для уничтожения растений на корню (десиканты);
- для удаления цветов и завязей (дефлоранты);
- для отпугивания животных (репелленты) или их привлечения (аттрактанты) и стерилизации (хемостерилизаторы);
- для уничтожения эктопаразитов животных и борьбы с переносчиками опасных заболеваний.

В качестве пестицидов в настоящее время разрешено использование 280 биологически активных компонентов различных химических классов, на базе которых разработано более 600 препаратов. При обработке земельных участков путем их опрыскивания пестицидами снос последних за пределы обрабатываемых площадей составляет 50–60 % от их вносимого количества, а при использовании авиации – 75 %.

Пестициды разлагаются очень медленно и наиболее интенсивно накапливаются в овощах, затем в растительных маслах, фруктах и ягодах, меньше – в мясе, яйцах и молоке.

Пестициды отрицательно влияют на экосистемы любого уровня и на здоровье человека. Поэтому их следует использовать строго по назначению в минимально необходимом количестве и лишь там, где химические средства защиты нельзя пока заменить биологическими.

Удобрение – вещество (или агент), создающее при внесении в почву условия для ускоренного роста и развития растений и микроорганизмов. Различают минеральные и органические удобрения.

Минеральное удобрение – добытое из недр или промышленно полученное химическое соединение, содержащее в большом количестве один или несколько основных элементов питания растений (азот, фосфор, калий), важные для жизни растений микроэлементы (медь, бор, марганец и др.), а также естественные продукты типа извести, гипса, золы и т.п., способные улучшить химические или структурные характеристики почвы.

Органическое удобрение – перегной, торф, навоз, птичий помет, фекалии животных, компосты и т.п., используемые для повышения плодородия почвы или способствующие развитию полезной микрофлоры почв.

В связи с интенсификацией сельскохозяйственного производства и увеличением количества вносимых азотных удобрений проблема нитратов (соли азотной кислоты HNO_3) и нитритов (соли азотистой кислоты HNO_2) приобрела серьезное значение, поскольку они не только отрицательно воздействуют на организм людей, но и приводят к заболеваниям и даже гибели сельскохозяйственных животных.

9.4. Нормирование качества окружающей среды

Согласно Федеральному закону от № 7-ФЗ от 10.01.2020 (в редакции от 27.12.2019) «Об охране окружающей среды» под *качеством окружающей природной среды* понимается ее состояние, которое характеризуется физическими, химическими, биологическими и иными показателями и (или) их совокупностью.

Благоприятная окружающая среда – окружающая среда, качество которой обеспечивает устойчивое функционирование естественных экологических систем, природных и природно-антропогенных объектов. Загрязнение окружающей среды – поступление в окружающую среду вещества и (или) энергии, свойства, местоположение или количество которых оказывают негативное воздействие на окружающую среду.

Загрязняющее вещество – вещество или смесь веществ и микроорганизмов, которые в количестве и (или) концентрациях, превышающих установленные для химических веществ, в том числе радиоактивных, иных веществ и микроорганизмов нормативы, оказывают негативное воздействие на окружающую среду, жизнь, здоровье человека.

Таким образом, *загрязняющим агентом может быть любой экологический фактор*, в частности, любое вещество, находящееся в составе воздуха, воды, почвы. По этому определению загрязнением могут быть также различного рода излучения, акустические,

электрические и электромагнитные поля и т.д. Необходимо понимать, что загрязнение может быть не только антропогенным, но и природным. Примеры природного загрязнения – помутнение воды в реке после дождя, извержение вулкана и т.п. *По масштабам воздействия* различают загрязнение биосферы:

- *локальное* – характерно для городов, крупных промышленных и транспортных предприятий, районов добычи полезных ископаемых, крупных животноводческих комплексов и т.п.;

- *региональное* – охватывает значительные территории и акватории как результат влияния крупных промышленных районов;

- *глобальное* – распространяется на большие расстояния от места возникновения и оказывает неблагоприятное воздействие на крупные регионы, вплоть до общепланетарного влияния (чаще всего связано с выбросами в атмосферу).

Нормативы качества окружающей среды – нормативы, которые установлены в соответствии с физическими, химическими, биологическими и иными показателями для оценки состояния окружающей среды и при соблюдении которых обеспечивается благоприятная окружающая среда.

Нормативы допустимого воздействия на окружающую среду – нормативы, которые установлены в соответствии с показателями воздействия хозяйственной и иной деятельности на окружающую среду и при которых соблюдаются нормативы качества окружающей среды.

Нормативы допустимой антропогенной нагрузки на окружающую среду – нормативы, которые установлены в соответствии с величиной допустимого совокупного воздействия всех источников на окружающую среду и (или) отдельные компоненты природной среды в пределах конкретных территорий и (или) акваторий и при соблюдении которых обеспечивается устойчивое функционирование естественных экологических систем и сохраняется биологическое разнообразие.

Нормативы допустимых выбросов – нормативы выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух, которые определяются как объем или масса химических веществ либо смеси химических веществ, микроорганизмов, иных веществ, как показатели активности радиоактивных веществ, допустимые для выброса в атмосферный воздух стационарными источниками (согласно Федеральному закону от 26.07.2019 № 195-ФЗ).

Нормативы допустимых сбросов – нормативы сбросов загрязняющих веществ в составе сточных вод в водные объекты, которые определяются как объем или масса химических веществ либо смеси химических веществ, микроорганизмов, иных веществ, как показатели активности радиоактивных веществ, допустимые для сброса в водные объекты стационарными источниками (согласно Федеральному закону от 21.07.2014 № 219-ФЗ).

Нормативы предельно допустимых концентраций химических веществ, в том числе радиоактивных, иных веществ и микроорганизмов (далее также – нормативы предельно допустимых концентраций) – нормативы, которые установлены в соответствии с показателями предельно допустимого содержания химических веществ, в том числе радиоактивных, иных веществ и микроорганизмов в окружающей среде и несоблюдение которых может привести к загрязнению окружающей среды, деградации естественных экологических систем.

Нормативы допустимых физических воздействий – нормативы, которые установлены в соответствии с уровнями допустимого воздействия физических факторов на окружающую среду и при соблюдении которых обеспечиваются нормативы качества окружающей среды.

Временно разрешенные выбросы – объем или масса химических веществ либо смеси химических веществ, микроорганизмов, иных веществ, разрешенные для выброса в атмосферный воздух и устанавливаемые для действующих стационарных источников в целях достижения нормативов допустимых выбросов на период выполнения плана мероприятий по охране окружающей среды или достижения технологических нормативов на период реализации программы повышения экологической эффективности (согласно Федеральному закону от 21.07.2014 № 219-ФЗ).

Вред окружающей среде – негативное изменение окружающей среды в результате ее загрязнения, повлекшее за собой деградацию естественных экологических систем и истощение природных ресурсов. Источником вреда могут являться как антропогенные, так и природные процессы.

Экологический риск – вероятность наступления события, имеющего неблагоприятные последствия для природной среды и вызванного негативным воздействием хозяйственной и иной деятельности, чрезвычайными ситуациями природного и техногенного характера. Для расчета риска определяют статистическими методами не только вероятность нежелательного события, но и ущерб, который может быть нанесен при реализации этого события.

Экологическая безопасность – состояние защищенности природной среды и жизненно важных интересов человека от возможного негативного воздействия хозяйственной и иной деятельности, чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера, их последствий.

Чем меньше пороговая величина экологических нормативов, тем выше качество окружающей природной среды. Нормативы качества окружающей природной среды, по мере повышения уровня развития общества, имеют тенденцию к ужесточению, т. е. к снижению порога. Основные экологические нормативы качества и воздействия на окружающую природную среду: санитарно-гигиенические, производственно-хозяйственные, комплексные.

Санитарно-гигиенические нормативы устанавливаются в интересах охраны здоровья и генофонда человека. Гигиеническое нормирование охватывает воздушную среду, воду, почву, производственную и жилищно-бытовую сторону жизни. Главные гигиенические нормативы: ПДК и ПДУ. Величины ПДК и ПДУ устанавливаются медиками в ходе длительных экспериментов на лабораторных животных и добровольцах.

Предельно-допустимая концентрация загрязняющего вещества (ПДК з.в.) – такие концентрации вредных веществ, которые при поступлении в организм в течение всей жизни не оказывают влияние на здоровье человека и не вызывают неблагоприятных последствий у его потомства.

ПДК з.в. в атмосфере – максимальная концентрация примеси в атмосфере, которая при периодическом воздействии или на протяжении всей жизни человека не оказывает на него вредного воздействия, включая отдаленные последствия, и на окружающую среду в целом. При нормировании загрязняющих веществ в воздухе устанавливается не менее 4 нормативных значений ПДК: 2 для рабочей зоны максимальная разовая, рассчитанная на действие в течение 20 мин при залповых выбросах (ПДК м.р.) и среднесуточная для атмосферного воздуха (ПДК с.с.), 2 для атмосферного воздуха (ПДК м.р. и ПДК с.с.). В табл. 9.1 представлены предельно допустимые концентрации загрязняющих веществ в атмосферном воздухе жилых помещений, на основе Постановления Главного санитарного врача Российской Федерации от 22.12.2017 г. № 165.

Табл. 9.1. Предельно допустимые концентрации загрязняющих веществ в атмосферном воздухе жилых помещений

Название вещества	Формула	ПДК (мг/м ³)	
		Максимальная разовая	Среднесуточная
Оксид углерода	CO	5,0	3,0
Оксид азота	NO	0,4	0,06
Диоксид азота	NO ₂	0,2	0,04
Оксид серы	SO	0,03	0,005
Диоксид серы	SO ₂	0,5	0,05
Аммиак	NH ₃	0,2	0,04
Хлор	Cl ₂	0,1	0,03
Бензол	C ₆ H ₆	0,3	0,1
Бенз/а/пирен	C ₂₀ H ₁₂	–	1×10 ⁻⁶
Ртуть (пары)		–	0,0003
Свинец и его неорганические соединения / в пересчете на свинец/	Pb	0,001	0,000,

Название вещества	Формула	ПДК (мг/м³)	
		Максимальная разовая	Среднесуточная
Тетраэтилсвинец	$C_8H_{20}Pb$	0,0001	0,00004
Формальдегид	CH_2O	0,05	0,01
Диоксины / в пересчете на 2,3,7,8-тетрахлордибензо- 1,4-диоксин/	$C_{12}H_{14}Cl_4O_2$	—	0,5 пг/м³
Метанол	CH_4O	1	0,5
Озон	O_3	0,16	0,03
Синтетические моющие средства «Ариель», «Миф-Универсал», «Тайд»	—	0,15	0,05
Пыль каменного угля	—	0,3	0,1
Пыль неорганическая, содержащая двуокись кремния, 20–70 % (шамот, цемент, пыль цементного производства)	—	0,3	0,1
Пыль неорганическая, содержащая двуокись кремния, более 70 % (шамот, цемент, пыль цементного производства)	—	0,15	0,05
Пыль полиметаллическая свинцово-цинкового производства (с содержанием свинца до 1 %)	—	—	0,0001
Пыль хлопковая	—	0,2	0,05
Пыль зерновая по массе	—	0,5	0,15

В части II Постановления Главного санитарно врача Российской Федерации от 22.12.2017 № 165 приводится также перечень веществ в количестве 59, выброс которых в атмосферный воздух запрещен. Среди них – диоксидин-1,4-ди-N-окись²⁷, алкалоиды красавки (атропин, скополамин, белладонин, апоатропин и др.), карминомицин, оприли-вомицин, араноза, апилак, эметина гидрохлорид, метилпропанамид и др.

ПДК з.в. в воде – концентрация загрязняющего вещества в воде выше которой вода не пригодна для одного или нескольких видов водопользования. Для водной среды ПДК з.в. определяются в соответствии с видом водопользования: хозяйственно-питьевая, культурно-бытовые, рыбохозяйственное. Обычно самые низкие ПДК устанавливаются для рыбохозяйственных водоемов. Если водоем используется комплексно, то в качестве норматива берется наименьшее значение ПДК. В табл. 9.2 представлены предельно допустимые концентрации загрязняющих веществ в природной воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования, на основе Гигиенических нормативов Минздрава России ГН 2.1.5.1315-03 (с изменениями от 28.09.2007).

Табл. 9.2. Предельно допустимые концентрации загрязняющих веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования

Показатель	Лимитирующий показатель вредности	ПДК мг/л
Растворенный в воде кислород	Общие требования	не менее 6
Биохимическое потребление кислорода – БПК ₅ (O ₂)	Общие требования	2
Аммоний-ион (NH ₄ ⁺)	Токсикологический	0,5; N(NH ₄ ⁺) = 0,40
Нитрат-ионы (NO ₃ ⁻)	Токсикологический	40; N(NO ₃ ⁻) = 9
Нитрит-ионы (NO ₂ ⁻)	Токсикологический	0,08; N(NO ₂ ⁻) = 0,02
Нефть и нефтепродукты	Рыбохозяйственный	0,05
Фенолы	Рыбохозяйственный	0,001
АСПАВ	Токсикологический	0,1[3]
Железо общее (Fe)	Токсикологический	0,1
Медь (Cu ²⁺)	Токсикологический	0,001
Цинк (Zn ²⁺)	Токсикологический	0,01
Хром VI (Cr ⁶⁺)	Токсикологический	0,02
Хром III (Cr ³⁺)	Санитарно-токсикологический	0,07
Никель (Ni ²⁺)	Токсикологический	0,01

Показатель	Лимитирующий показатель вредности	ПДК мг/л
Кобальт (Co ²⁺)	Токсикологический	0,01
Марганец (Mn ²⁺)	Токсикологический	0,01
Свинец (Pb)	Токсикологический	0,006
Мышьяк (As)	Санитарно-токсикологический	0,01
Ртуть (Hg)	Токсикологический	0,00001
Кадмий (Cd)	Токсикологический	0,001
Алюминий (Al)	Токсикологический	0,04
Олово (Sn)	Токсикологический	0,112
Ванадий (V)	Токсикологический	0,001
Молибден (Mo)	Токсикологический	0,001
Бор (B)	Санитарно-токсикологический	0,5[4]
Фторид анион (F ⁻)	Токсикологический	0,75
Роданиды	Санитарно-токсикологический	0,1
Цианид ион	Токсикологический	0,05
Метилмеркаптан	Органолептический	0,0002
Бензол	Токсикологический	0,001
Фурфурол	Токсикологический	0,01
Метанол	Санитарно-токсикологический	0,1
Формальдегид	Рыбохозяйственный	0,05
Полиакриламид	Токсикологический	0,04
Капролактамы	Токсикологический	0,01
Лигносульфонаты	Токсикологический	2
Лигнин сульфатный	Токсикологический	2
Ксантогенат бутиловый	Органолептический	0,001
Дитиофосфат крезиловый	Органолептический	0,001
Анилин	Токсикологический	0,0001
Химическое потребление кислорода – ХПК	Общие требования	15
Сульфиды и сероводород	Санитарно-токсикологический	0,005
ДДТ	Токсикологический	отсутствие (0,00001)
ГХЦГ	Токсикологический	отсутствие (0,00001)
ТЦА-трихлорацетат натрия	Токсикологический	0,04
2,4 Д-аммонийная соль, дикамин	Токсикологический	0,1
Гексахлорбензол	Токсикологический	0,001
Трифлуралин	Токсикологический	0,0003
Атразин	Токсикологический	0,005
Пропазин	Токсикологический	0,002
Симазин	Токсикологический	0,002
Диметоат	Токсикологический	0,001
Паратион-метил	Токсикологический	отсутствие (0,00003)
Водородный показатель, рН	Общие требования	6,5–8,5
Взвешенные вещества	Общие требования	не более 0,75 мг/л сверх природного содержания
Калий (K ⁺)	Санитарно-токсикологический	50
Кальций (Ca ²⁺)	Санитарно-токсикологический	180
Магний (Mg ²⁺)	Санитарно-токсикологический	40
Натрий (Na ⁺)	Санитарно-токсикологический	120
Сульфаты	Санитарно-токсикологический	100
Хлориды (Cl ⁻)	Санитарно-токсикологический	300
Минерализация	Общие требования	1000
Фосфаты (по Р)	Санитарно-токсикологический	0,2
Фосфор элементарный	Санитарные	отсутствие (0,00001)

ПДК з.в. в почве – максимальная массовая доля загрязняющего почву химического вещества, не вызывающего загрязнения продуктов питания, воды и воздуха. В почве

нормируются в основном ядохимикаты и тяжелые металлы. В табл. 9.3 представлены ПДК по некоторым загрязняющим веществам в почве, на основе действующих Гигиенических нормативов ГН 2.1.7.2041–06, разработанных Федеральным центром гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора.

Табл. 9.3. Предельно допустимые концентрации загрязняющих веществ в почве

Название вещества	Формула	Лимитирующий показатель вредности	ПДК (мг/кг)
Валовое содержание			
Бензин	–	Воздушно-миграционный	0,1
Сероводород (по S)	H ₂ S	Воздушно-миграционный	0,4
Этилбензол	C ₈ H ₈	Воздушно-миграционный	0,1
Бенз/а/пирен	C ₂₀ H ₁₂	Общесанитарный	0,02
Серная кислота (по S)	H ₂ SO ₂	Общесанитарный	160
Свинец	Pb	Общесанитарный	6,0
Медь	Cu	Общесанитарный	3,0
Хром шестивалентный	Cr ⁺⁶	Общесанитарный	0,05
Кобальт	Co	Общесанитарный	5,0
Никель	Ni	Общесанитарный	4,0
Цинк	Zn	Транслокационный	23,0
Ртуть	Hg	Транслокационный	2,1
Мышьяк	As	Транслокационный	2,0

Предельно допустимый уровень радиационного и иного воздействия физического фактора (ПДУ) на окружающую среду – это уровень, который не представляет опасности для здоровья человека, состояния животных, растений, их генетического фонда. Допустимый уровень радиационного воздействия определяется на основании действующих норм радиационной безопасности НРБ-99/2009. Согласно Федеральному закону «О радиационной безопасности населения» от 09 января 1996 г. № 3-ФЗ (в ред. Федерального закона от 22.06.2004 № 122-ФЗ), *радиационная безопасность населения* – состояние защищенности настоящего и будущего поколений людей от вредного для их здоровья воздействия ионизирующего излучения» (статья Г). Граждане Российской Федерации, иностранные граждане и лица без гражданства, проживающие на территории Российской Федерации, имеют право на радиационную безопасность. Это право обеспечивается за счет проведения комплекса мероприятий по предотвращению радиационного воздействия на организм человека ионизирующего излучения выше установленных, норм, правил и нормативов.

Установлены также допустимые уровни воздействия шума, вибрации, магнитных полей и др.

Производственно-хозяйственные нормативы – это расчетные научно-технические нормативы, которые устанавливаются для каждого вещества-загрязнителя и для каждого предприятия в отдельности. Основой для расчета производственно-хозяйственных нормативов служит величина ПДК з.в. Основные производственно-хозяйственные нормативы – это ПДВ и ПДС.

ПДВ – норматив предельно допустимого выброса вредного вещества в атмосферу в единицу времени (г/сек или кг/год), который с учетом работ расположенных рядом предприятий и рассеивания вещества в атмосфере создает приземную концентрацию, не превышающую его ПДК для населения, животного и растительного мира.

ПДС – норматив предельно допустимого сброса загрязняющего вещества в поверхностный водоем. Это максимально допустимая масса вещества в воде, возвращаемой в водный объект в данном пункте в единицу времени, при котором не происходит нарушения норм качества воды.

В случае, когда на уже действующем предприятии невозможно снизить выбросы или сбросы загрязняющих веществ, а предприятие не может быть ни остановлено, ни переквалифицировано, используется метод поэтапного снижения загрязнения. Для этого на время изменения технологии производства или строительства очистных сооружений (но не более чем на 3 года) устанавливают лимит на выброс или сброс загрязняющего

вещества. При этом используются экономические санкции в виде значительно большей платы за выбросы и сбросы (в 5 раз).

Для промышленных предприятий, ведущих эксплуатацию природных ресурсов, устанавливаются допустимое изъятие компонентов природной среды.

Для промышленных отходов обычно устанавливают нормативы: предельное содержание токсичных соединений в промышленных отходах и ЛРО.

ЛРО – лимит на размещение отходов – предельно допустимое количество отходов конкретного вида, которые размещаются определенным способом на определенный срок в объектах размещения отходов с учетом экологической обстановки на данной территории.

К комплексным показателям относятся допустимые нормы антропогенной нагрузки и емкость природной среды.

Допустимые нормы антропогенной нагрузки на окружающую среду – это максимально возможные антропогенные воздействия на природные ресурсы или комплексы, не приводящие к нарушению устойчивости экологических систем.

Потенциальная способность природной среды перенести ту или иную антропогенную нагрузку без нарушения основных функций экосистем определяется термином «*емкость природной среды*», или экологическая емкость территории.

9.5. Мониторинг и контроль состояния окружающей среды

В Международной программе Организации Объединённых Наций по вопросам образования, науки и культуры «Человек и биосфера» дано следующее определение мониторинга: «мониторинг рассматривается как система регулярных длительных наблюдений в пространстве и во времени, дающих информацию о состоянии окружающей среды, с целью оценки прошлого, настоящего и прогноза изменения в будущем параметров окружающей среды, имеющих значение для человека».

С другой стороны, согласно ГОСТ 22.1.02-95, «мониторинг – это система наблюдений и контроля, проводимых регулярно по определенной программе для оценки состояния окружающей среды, анализа происходящих в ней изменений и своевременного выявления тенденций ее изменения».

Согласно Федеральному закону № 7-ФЗ «Об охране окружающей среда» от 10.01.2002 (в редакции 27.12.2019), «мониторинг окружающей среды (экологический мониторинг) – комплексная система наблюдений за состоянием окружающей среды, оценки и прогноза изменений состояния окружающей среды под воздействием природных и антропогенных факторов».

Также весьма интересно мнение в отношении понятия «мониторинг» российских академиков И.П. Герасимова (1905–1985) и Ю.А. Израэля (1930–2014).

И.П. Герасимов – основатель нового научного направления – конструктивной географии, ориентированного на преобразование природы и рациональное использование природных ресурсов. Согласно ему, мониторинг состоит из двух блоков. Первый, исходный блок – биоэкологический мониторинг, в задачу которого входит наблюдение за влиянием среды на состояние здоровья людей. Второй блок – геоэкологический мониторинг, его содержание – наблюдение за изменением природных экосистем и преобразование их в природно-технические. И.П. Герасимов полагал, что мониторинг это не только средство долговременных наблюдений, но, прежде всего, источник информации для оперативного контроля состояния окружающей среды и управления.

Ю.А. Израэль в 1974–1991 гг. возглавлял Государственный комитет по гидрометеорологии и контролю природной среды СССР. В 1990–2011 гг. первый директор Института глобального климата и экологии Росгидромета и РАН. По мнению Ю.А. Израэля, мониторинг – информационная система для обнаружения антропогенных изменений окружающей среды на фоне естественных колебаний. В задачи такой системы входят,

во-первых, слежение за факторами воздействия на среду, ее состоянием и изменениями, во-вторых, прогноз состояния биосферы и, в-третьих, оценка изменений этого состояния и его тенденций. Состояние среды можно оценивать по отдельным аналитическим или интегральным синтетическим показателям, используя в качестве критериев предельно-допустимые концентрации (ПДК) или экологически допустимые концентрации.

В целом, мониторинг охватывает наблюдения за источниками и факторами антропогенных воздействий – химическими (соединения, газы, взаимодействия и превращения веществ и др.), физическими (и их воздействия на окружающую среду), геологическими, и за эффектами, вызываемыми этими воздействиями в окружающей среде, а также – биологическими – прежде всего, за реакцией биологических систем на эти воздействия. Наблюдения могут осуществляться по отдельным физическим, химическим и биологическим показателям; но особенно ценными для систем принятия решений являются интегральные и комплексные показатели состояния природных и социальных систем.

Видов мониторинга много. Среди них: экологический (ЭМ), биосферный, социально-гигиенический и санитарно-токсикологический, геоэкологический, космический, экономический, финансовый, социальный, политический, военный и т.д.

Формы представления информации зачастую задаются теми приборно-аппаратными средствами, которые применяются при измерениях и традиционно сложились в результате многолетней практики. Но эти формы понятны и доступны лишь специалистам, заданы в специальных научных терминах и форматах и потому не представляют практически никакого интереса для систем принятия решений. Обусловлено это целым рядом причин, в числе которых:

- давлений традиций, инерционность в восприятии новых идей;
- приверженность «загрязняюще-ресурсной» парадигме;
- применение устаревших методик, в некоторых случаях, времен 1960–70 гг.;
- относительно слабое применение рекомендаций и разработок Международных организаций, Комиссии по устойчивому развитию при Организации Объединенных Наций, Комиссии по глобальной экологии при ООН и др.

В соответствии с рекомендациями Всемирного Банка и других международных экологических организаций, ЭМ соотносят с так называемыми *вертикальной и горизонтальной шкалами*. В первой из них различают следующие уровни: *глобальный, региональный, национальный, местный (или локальный)*.

В так называемой *горизонтальной шкале* выделяют предметные направления, в области которых ведется мониторинг. Всемирный Банк рекомендует 14 предметных направлений. В России принята другая шкала. Она называется «классификация» видов мониторинга. Принципиальных различий тут нет.

1. *Комплексный агроэкологический мониторинг* отслеживает негативные воздействия на почвы сельскохозяйственных угодий. Его ведут 32 центра, 71 станция агрохимической службы и 75 станций защиты растений Министерства сельского хозяйства РФ.

2. *Мониторинг земель РФ* охватывает всю территорию России и проводится Комитетом по земельной реформе и земельным ресурсам, а также подразделениями МПР.

3. *Импактный мониторинг* – это изучение сильных воздействий на окружающую среду и человека в локальном масштабе. Программа импактного мониторинга может быть направлена, например, на изучение сбросов или выбросов конкретного предприятия.

4. *Фоновый мониторинг* реализуется, как правило, на базе биосферных заповедников особо охраняемых территориях), где исключена всякая хозяйственная деятельность.

Фоновый мониторинг, осуществляется в основном, в рамках международной программы «Человек и биосфера», имеет целью зафиксировать фоновое состояние окружающей среды, что необходимо для дальнейших оценок уровней антропогенного воздействия.

5. *Социально-гигиенический мониторинг*. Наиболее распространенный вид мониторинга, проводимый в России повсюду на основании Правительственных решений.

В целях организации выявления, оценки и прогнозирования изменений в обеспечении санитарно-эпидемиологического благополучия населения, установления и устранения вредного влияния среды обитания человека на его здоровье Правительство Российской Федерации еще в 1994 г. утвердило Положение о социально-гигиеническом мониторинге.

Социально-гигиенический мониторинг является системой организационных, социальных, медицинских, санитарно-эпидемиологических, научно-технических, методических и иных мероприятий, направленных на организацию наблюдения за состоянием санитарно-эпидемиологического благополучия населения, его оценку и прогнозирование изменений, установление, предупреждение, устранение или уменьшение факторов вредного влияния среды обитания на здоровье человека.

6. *Санитарно-токсикологический мониторинг* – наблюдение за состоянием качества окружающей среды, главным образом за степенью загрязнения природных ресурсов вредными веществами и влиянием этого процесса на человека, животный и растительный мир, а также определение наличия шумов, радионуклидов, магнитных и электромагнитных излучений, аллергенов, пыли, патогенных микроорганизмов, неприятных запахов, сажи, контроль за содержанием в атмосфере окислов серы и азота, оксида углерода, соединений тяжелых металлов, качеством водных объектов, степенью загрязнения их различными органическими веществами, нефтепродуктами и др.

7. *Медико-биологический мониторинг* проводится в соответствии с приказом Минздрава РФ от 14.03.96, № 90 при проведении периодических медицинских осмотров лиц, работающих в контакте с опасными веществами, что позволяет на ранней стадии выявлять признаки неблагоприятного воздействия на организм человека.

8. *Космический мониторинг*. Во всем мире исследования Земли из космоса приобретают всеобъемлющий характер. Наиболее информативным методом для решения задач дистанционного исследования поверхности Земли из космоса является использование и тематический анализ изображений, полученных приборными комплексами различных частотных диапазонов, установленных на космических аппаратах.

Целый ряд спутников, оснащенных приборами дистанционного зондирования (радиолокаторами, скаттерометрами, радиометрами и оптической техникой), выведены на орбиту специально для получения разносторонней геофизической информации, необходимой для оценки состояния окружающей среды и для природно-ресурсных исследований.

Материалы дистанционных съемок разного вида, масштаба и времени позволяют с высокой степенью детальности и точности получать характеристики состояния ландшафтов, изучать их динамику под воздействием естественных и антропогенных факторов.

Изображения и различные формы информации, получаемые с помощью аппаратуры, установленной на орбитальных носителях, могут быть подразделены на следующие категории:

- 1) фотографические изображения;
- 2) инфракрасные (ИК) изображения, получаемые с помощью сканирующих ИК-радиометров, и карты температуры, построенные по спутниковым данным;
- 3) изображения в видимой части спектра, получаемые с помощью оптических сканеров, а также синтезированные изображения, полученные с помощью многоканальной аппаратуры и представленные с искусственным усилением контрастов или в псевдоцвете;
- 4) радиояркостные изображения, получаемые с помощью микроволновых (СВЧ) сканеров, и карты радиояркостной температуры;
- 5) радиолокационные изображения;
- 6) топографическая информация, полученная с помощью радиовысотомеров, и карты уровня поверхности океана и глубин в пределах мелководий;
- 7) схемы или карты различного рода, являющиеся результатом обработки (дешифрирования) и комбинирования разнородной спутниковой информации.

Для космического экологического мониторинга целесообразно ориентироваться, прежде всего, на полярно-орбитальные метеорологические спутники, как на отечественные аппараты (спутники типа «Метеор», «Океан» и «Ресурс»), так и на американские спутники серии NOAA. Американские метеорологические спутники серии NOAA снабжены многозональной оптической и ИК аппаратурой, в частности радиометром высокого разрешения AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer). Космические аппараты NOAA запускаются на полярные орбиты высотой порядка 700 км над поверхностью Земли с наклоном 98,89°. Радиометр высокого разрешения ведет съемки поверхности

Земли в пяти спектральных диапазонах: 580–680, 725–1100, 3550–3930, 10300–11300 и 11400–12400 нм. Космические съемки проводятся с пространственным разрешением 1100 м и обеспечивают полосу обзора шириной 2700 км.

Российские спутники серии «Ресурс-01» принадлежат Федеральной службе России по гидрометеорологии и мониторингу природной среды (Росгидромет). Океанографический спутник «Ресурс-01» обеспечивает получение многозональной космической информации высокого и среднего разрешения. Параметры орбиты спутника «Ресурс-01»: круговая солнечно-синхронная орбита высотой 678 км, период обращения 98 мин с наклоном 98,04°.

В состав бортового информационного комплекса входят два сканера видимого и ближнего инфракрасного диапазонов со следующими характеристиками:

1) многоканальное сканирующее устройство высокого разрешения МСУ-Э с пространственным разрешением 35×45 м. Полоса обзора составляет 45 км, съемка осуществляется в 3 спектральных каналах 500–600, 600–700 и 800–900 нм;

2) многоканальное сканирующее устройство среднего разрешения МСУ-СК с пространственным разрешением 150×250 м. Полоса обзора достигает 600 км. Съемка проводится в 5 спектральных каналах: 500–600, 600–700, 700–800, 800–1100 и 10400–12600 нм;

3) размеры видеоизображения составляют 1000 элементов на 1100 строк для МСУ-Э и 1800 элементов на 1500 строк для МСУ-СК.

Космическая гидрометеорологическая система «Метеор-3», также принадлежащая Росгидромету, обеспечивает глобальный экологический мониторинг территории России. Параметры орбиты спутника «Метеор»: приполярная круговая орбита высотой около 1200 км, наклонение – 82,5°. Комплекс научной аппаратуры позволяет оперативно получать изображения облачности и подстилающей поверхности в видимом и инфракрасном диапазонах, данные о температуре и влажности воздуха, температуре морской поверхности и облаков. Осуществляются также мониторинг озоносферы и геофизический мониторинг.

В состав бортового комплекса спутника входят сканирующий десятиканальный ИК радиометр с пространственным разрешением 35×35 км (спектральный диапазон – 9,65–18,7 мкм, полоса обзора – 400 км), а также ИК радиометр для глобального обзора и передачи данных на автономные пункты приема информации (АППИ) с пространственным разрешением 3×3 км (спектральный диапазон – 10,512,5 мкм, полоса обзора – 3100 км). В составе бортового комплекса имеется также сканирующая ТВ аппаратура с системой запоминания данных на борту для глобального обзора и сканирующая ТВ аппаратура для передачи данных на АППИ.

Российская космическая система «Океан-0» обеспечивает получение радиолокационных, микроволновых и оптических изображений земной поверхности в интересах морского судоходства, рыболовства и освоения шельфовых зон Мирового океана.

Одной из основных задач спутника является освещение ледовой обстановки в Арктике и Антарктике, обеспечение проводки судов в сложных ледовых условиях. Параметры орбиты спутника: приполярная круговая орбита высотой 600–650 км, наклонение – 82–83°. Поток информации в условиях облачности и в любое время суток обеспечивается радиолокатором РЛС БО и системой сбора информации от автономных морских и ледовых станций «Кондор». В состав комплекса бортовой аппаратуры спутника «Океан-01» входят СВЧ-радиометры Р-600 и Р-255, сканирующий СВЧ-радиометр «Дельта-2», трассовый поляризационный спектрометрический «Трассер», а также комплекс оптической сканирующей аппаратуры, включающий в себя многоканальное сканирующее устройство среднего разрешения МСУ-С (пространственное разрешение – 370 км, полоса обзора – 1100 км, спектральные диапазоны – 0,6–0,7 и 0,8–1,1 мкм) и многоканальное сканирующее устройство малого разрешения МСУ-М (пространственное разрешение – 2 км, полоса обзора – 1900 км, спектральные диапазоны – 0,5–0,6; 0,6–0,7; 0,7–0,8; 0,8–1,1 мкм).

В целом, спутниковые данные дистанционного зондирования позволяют решать следующие задачи контроля состояния окружающей среды:

– определение метеорологических характеристик: вертикальные профили температуры, интегральные характеристики влажности, характер облачности и т.д.);

- контроль динамики атмосферных фронтов, ураганов, получение карт крупных стихийных бедствий;
- определение температуры подстилающей поверхности, оперативный контроль и классификация загрязнений почвы и водной поверхности;
- обнаружения крупных или постоянных выбросов промышленных предприятий;
- контроль техногенного влияния на состояние лесопарковых зон;
- обнаружение крупных пожаров и выделение пожароопасных зон в лесах;
- выявление тепловых аномалий и тепловых выбросов крупных производств и ТЭЦ в мегаполисах;
- регистрация дымных шлейфов от труб;
- мониторинг и прогноз сезонных паводков и разливов рек;
- обнаружение и оценка масштабов зон крупных наводнений;
- контроль динамики снежных покровов и загрязнений снежного покрова в зонах влияния промышленных предприятий.

На рис. 9.3–9.6 представлены примеры спутниковых снимков и возможности их использования в экологических исследованиях, прежде всего для выявления зон загрязнения.

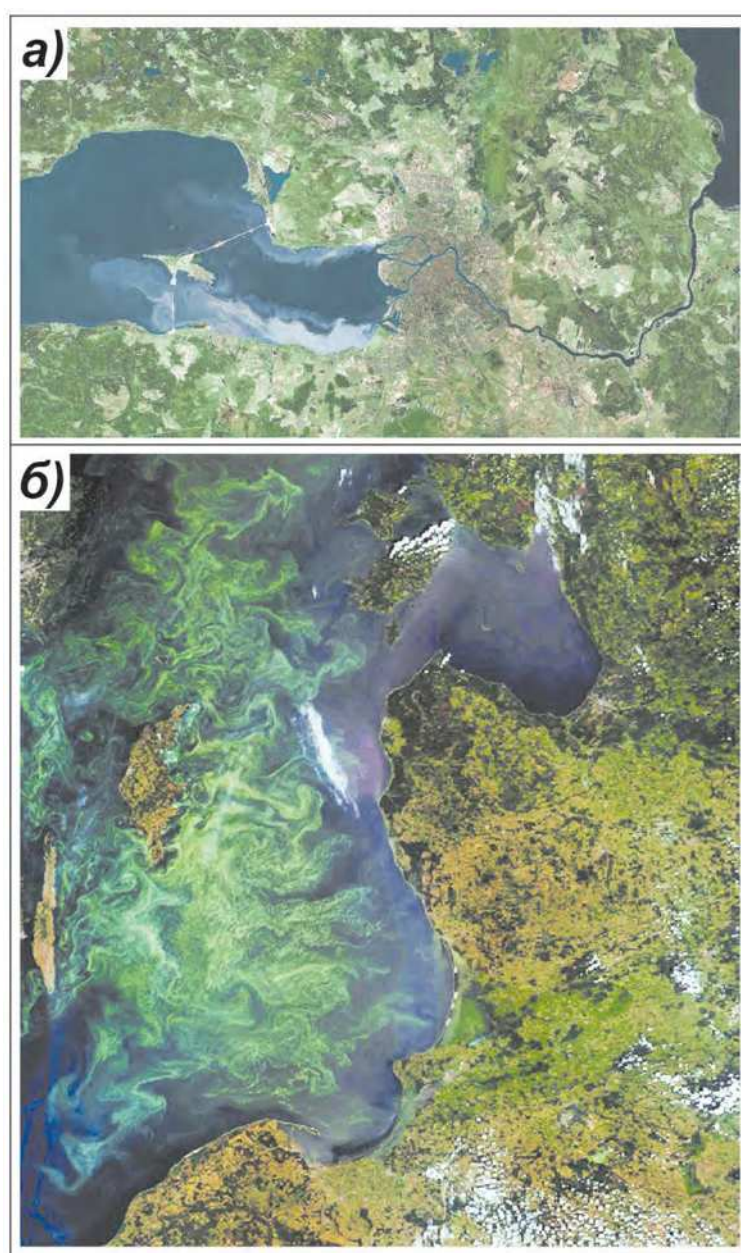


Рис. 9.3. Спутниковые изображения акваторий Балтийского моря: а) водная система восточная часть Финского залива, Невская губа и река Нева; б) центральные и юго-восточные районы Балтики

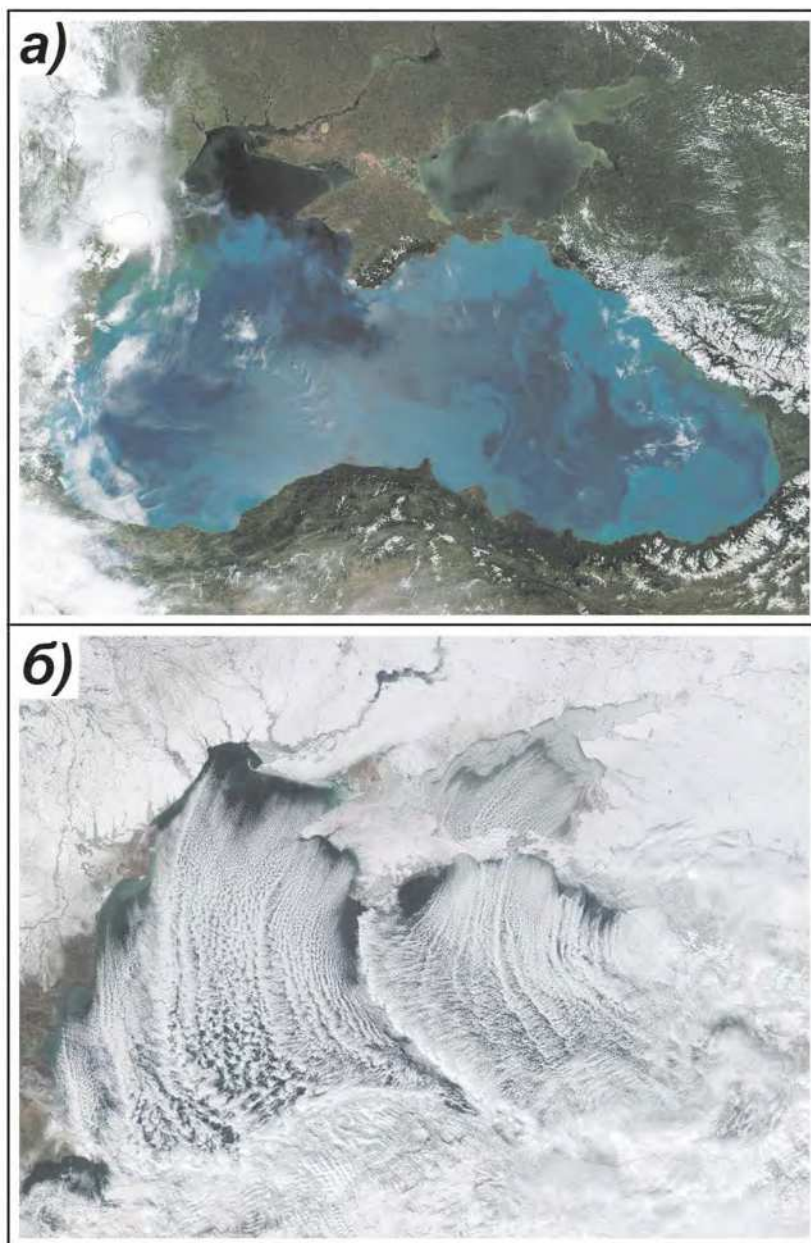


Рис. 9.4. Спутниковые изображения акваторий Черного моря:
 а) поверхность Черного моря в летний период; б) в зимний период

На рис. 9.3.а заметны шлейфы повышенной мутности воды (светлого оттенка), распространяющиеся вдоль северного и, в особенности, южного побережья Невской губы в западном направлении. Это, прежде всего, следствие проведения дноуглубительных и гидростроительных работ в акватории торгового порта Санкт-Петербурга. На рис. 9.3.б мы видим достаточно подробно поверхностные вихри сложной формы светло-зеленого цвета. Это районы массового развития (цветения) сине-зеленых водорослей, некоторые из них могут быть весьма токсичными. Столь масштабное цветение водорослей, которое наблюдается почти ежегодно в летний период (июль), является следствием как природных процессов, так и антропогенных, связанных с поступлением в акватории Балтики значительного количества биогенных веществ, прежде всего содержащих азот и фосфор. На рис. 9.4.а представлено спутниковое изображение Черного моря в летний период. Так же, как и на поверхности Балтийского моря, здесь обнаруживаются зоны массового развития планктонных водорослей, особенно вдоль Кавказского, восточно-Крымского побережий, а также в северо-западном районе моря около устья крупнейшей реки – Дуная. В зимний период, как видно из рис. 9.4.б, Черное море не замерзает, но заметен лед на акваториях Азовского моря, в частности полностью замерз самый опресненный Таганрогский залив,

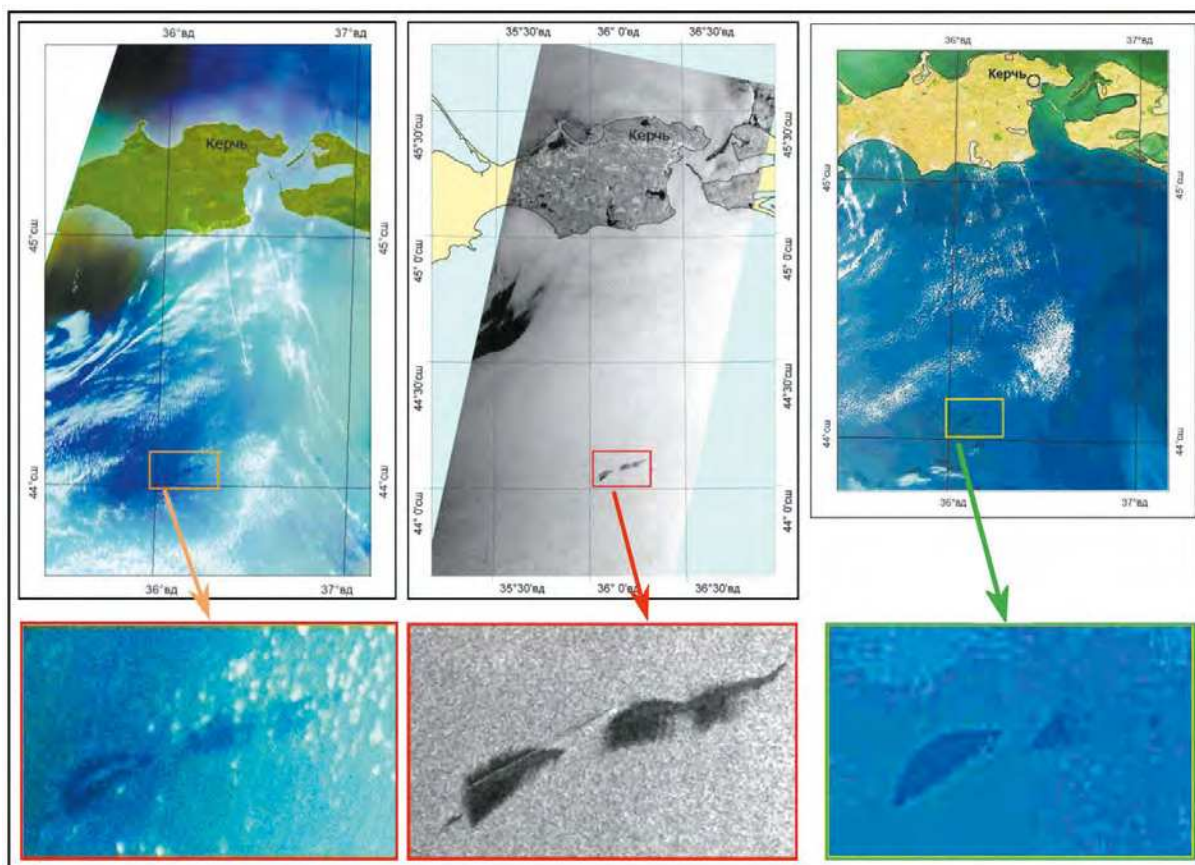


Рис. 9.5. Спутниковый мониторинг разливов нефти и нефтепродуктов в Керченском проливе 12.06.2010:
 а) данные спутника «Метеор-М», разрешение изображения 50 м; б) данные спутника «ENVISAT», разрешение изображения 150 м; в) данные спутника «AQUA», разрешение изображения 250 м

через который проходит судоходный путь в порты Таганрога и Ростова-на-Дону. Льдом покрыто также все северо-западное побережье Азовского моря. Заметна мощная облачность. Спутниковые наблюдения за ледовой обстановкой и погодными условиями позволяют получить в оперативном режиме ценнейшую информацию, которая может быть оперативно использована, в том числе для обеспечения безаварийного судоходства, спасательных мероприятий.

На рис. 9.5 представлены спутниковые фотографии акватории Черного моря вблизи Керченского пролива – весьма интенсивного района судоходства. С использованием снимков, полученных разными спутниками и с различным пространственным разрешением, были определены несколько достаточно крупных пятен нефтепродуктов на поверхности моря южнее Керченского пролива.

Недалеко от Норильска 29.05.2020 на территории ТЭЦ-3 АО «Норильско-Таймырская энергетическая компания» из-за просадки бетонного фундамента произошла разгерметизация резервуара, где хранилось дизельное топливо. В результате разлилось около 21 т нефтепродуктов. Топливо попало в грунт и в реки Далдыкан и Амбарная. Данной аварии был присвоен статус чрезвычайной ситуации федерального масштаба. Площадь разлива составила более 180 тыс. км². Для оперативного наблюдения и контроля за происходящим были использованы спутниковые изображения, примеры которых представлены на рис. 9.6. Как видно из этого рисунка, установленные боновые заграждения достаточно эффективно сдерживали продвижение нефтепродуктов далее вниз по течению реки.

Изображения со спутников передаются на Землю в реальном масштабе времени в диапазоне 1700 МГц в режиме HRPT (High Resolution Picture Transmission). Возможность свободного приема спутниковой информации наземными станциями обеспечивается Всемирной Метеорологической Организацией согласно концепции «Открытого неба».

На территории России в последнее десятилетие активно развивается сеть станций приема спутниковых данных, образующая наземную инфраструктуру регионального

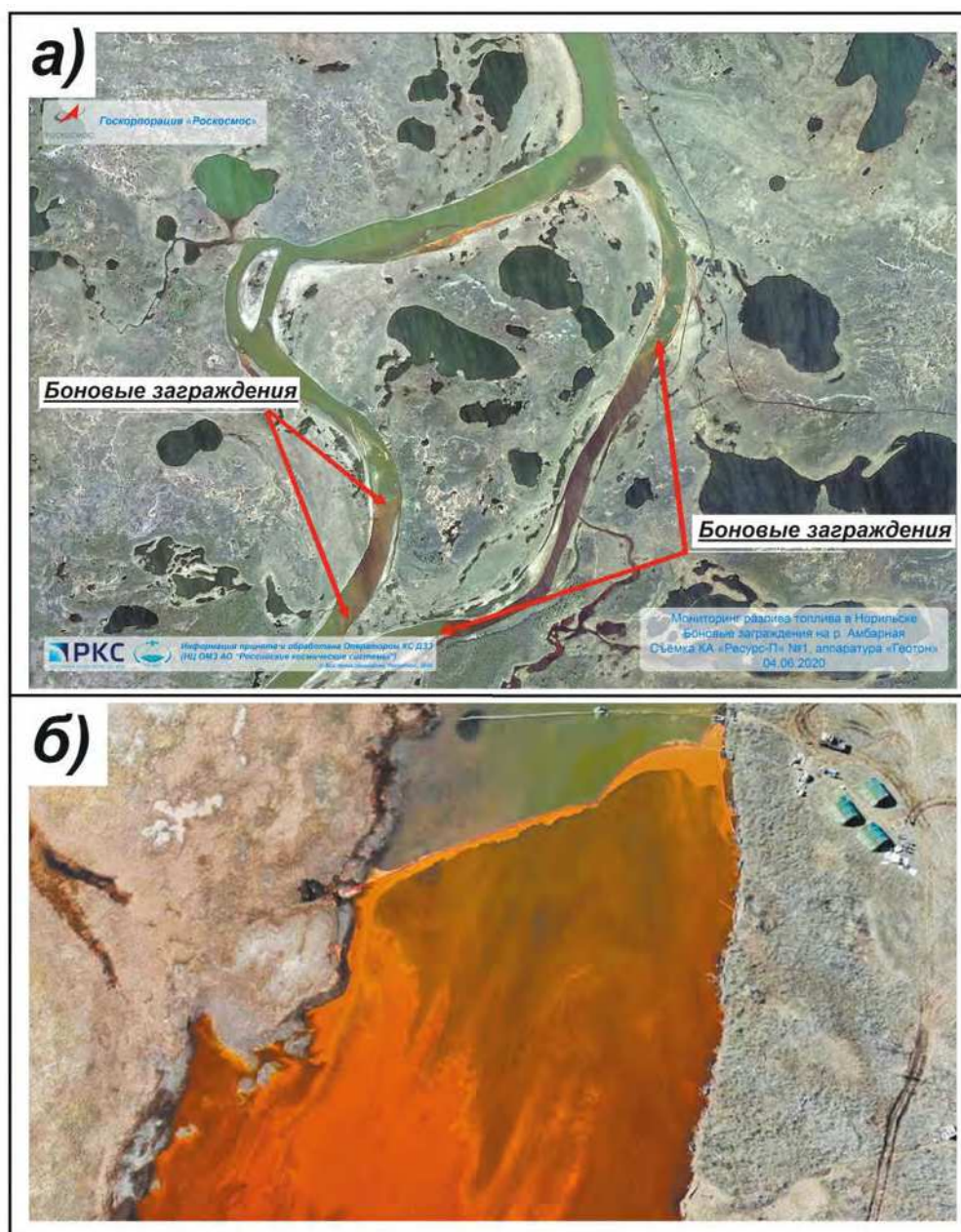


Рис. 9.6. Использование спутниковых снимков для контроля ситуации в период ликвидации крупного разлива дизельного топлива на территории ТЭЦ-3 АО «Норильско-Таймырская энергетическая компания»: а) зоны загрязнения рек и расположение боновых заграждений; б) крупномасштабный снимок бонового заграждения

экологического мониторинга. В оперативном режиме непрерывных наблюдений работают наземные станции приема данных от спутников NOAA в Москве (Институт космических исследований РАН, ВНИИГОЧС МЧС), Красноярске (Институт леса Сибирского отделения РАН), Иркутске (Институт солнечно-земной физики Сибирского отделения РАН), Салехарде (Госкомитет по охране окружающей среды Ямало-Ненецкого автономного округа), Владивостоке (Институт автоматики и процессов управления Дальневосточного отделения РАН).

Кроме спутниковых технологий для экологического мониторинга, в настоящее время все чаще применяются автономные беспилотные летательные и подводные аппараты. Например, достаточно широко происходит внедрение беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) отечественного производства (Санкт-Петербург) семейства «Орлан». На рис. 9.7 представлен модельный ряд БПЛА типа «Орлан». Данные аппараты предназначены для решения различных мониторинговых задач и могут быть оснащены, в зависимости от

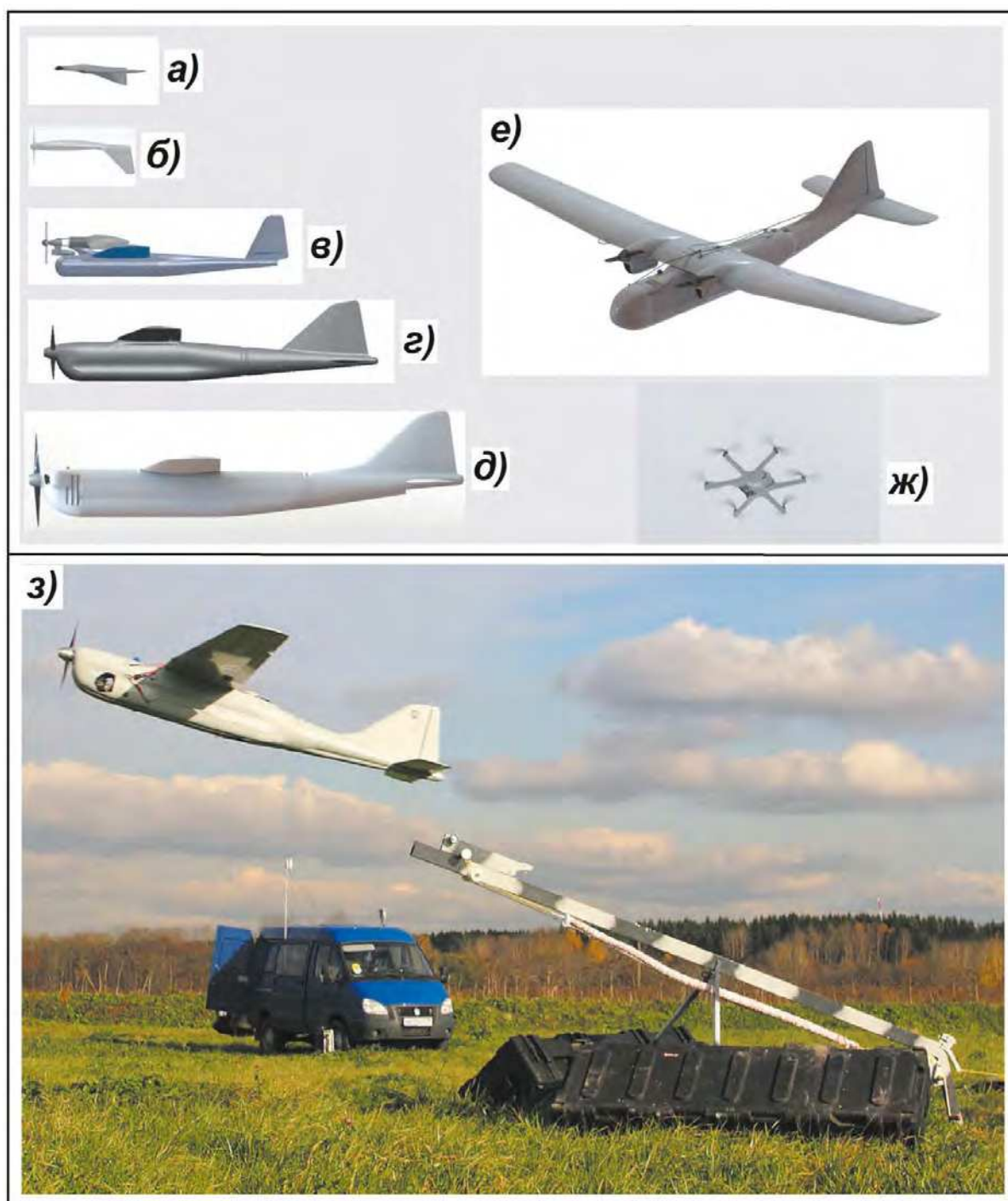


Рис. 9.7. Модельный ряд беспилотных автономных летательных аппаратов типа «Орлан»:
а) «Орлан-1»; б) «Орлан-2»; в) «Орлан-3»; г) «Орлан-10»; д) «Орлан-30»; е) «Орлан-30»;
ж) гексакоптер; з) процесс запуска с катапульты

модели и ее грузоподъемности фото-видеокамерами и другим оборудованием. Модель «Орлан-1» имеет взлетную массу 2,5 кг, массу полезной нагрузки – 600 г. Скорость достигает 100 км/час, максимальная дальность от наземного пункта управления – 30 км. Автономность составляет около 2,5 ч. Двигатель электрический. Запуск производится с рук, посадка на парашюте. Модель «Орлан-10» имеет взлетную массу 18 кг, массу полезной нагрузки – до 3 кг. Скорость – до 140 км/ч. Автономность полета может достигать 14 ч, что позволяет обследовать значительную площадь, в том числе в горной местности на высотах до нескольких км. Взлет осуществляется с быстровозводимой катапульты, приземление – на парашюте. БПЛА типа «Орлан» имеют модульную разборную конструкцию. Отдельные блоки упаковываются в специальные ящики для простоты транспортировки

автомобильным или железнодорожным транспортом, например автомобилями типа «Газель», или катерами. Таким образом, они могут быть оперативно доставлены почти в любой район, где требуется оперативный сбор информации и данных о происходящих на поверхности земли или воды процессах, в том числе в период лесных пожаров, разливов нефти и нефтепродуктов и т.п. Отмечается особая эффективность данных средств при поисковых работах, в том числе в сложных метеоусловиях и в горной местности. Кроме технических средств осуществляющих фото-видео регистрацию и трансляцию изображений в наземный центр управления, некоторые БПЛА могут в качестве полезной нагрузки нести газоанализаторы, анализаторы радиоактивности и другие аналитические приборы, что значительно расширяет круг решаемых ими мониторинговых задач.

В целом, возможности современных БПЛА в решении задач экологического мониторинга состоят в следующем: мониторинг состояния важнейших промышленных объектов, городской среды, аварийных ситуаций, мониторинг лесных пожаров, мониторинг состояния сельскохозяйственных полей и растительности, мониторинг разливов нефти и нефтепродуктов, сбор данных о наличии различных загрязняющих веществ в воздухе.

Кроме понятия «экологический мониторинг», на практике также часто используется, применительно к наблюдениям за окружающей средой понятие «контроль».

Контроль (экологический контроль), согласно Федеральному закону № 7-ФЗ «Об охране окружающей среда» от 10.01.2002 (в редакции 27.12.2019), – это система мер, направленная на предотвращение, выявление и пресечение нарушения законодательства в области охраны окружающей среды, обеспечение соблюдения субъектами хозяйственной и иной деятельности требований, в том числе нормативов и нормативных документов, в области охраны окружающей среды.

Экологический мониторинг подводных объектов, предполагающий регулярные измерения различных параметров среды – важная часть государственной системы обеспечения безопасности государства. Ведь в случае выхода из строя различных технических систем включая газо- и нефтепроводы, полупогружных и гравитационных буровых платформ – соответствующий экологический ущерб будет весьма значительным, а загрязнение во многих случаях будет иметь трансграничный характер. Особую сложность представляют соответствующие мониторинговые работы в замерзающих морях, в сложных навигационных условиях, подо льдом. В таких случаях значительно возрастает актуальность использования специализированной подводной мониторинговой техники, в том числе автономных необитаемых подводных аппаратов (АНПА), обладающих значительным временем автономной работы.

АНПА первоначально находили свое применение в военной сфере, однако на сегодняшний день можно констатировать их использование для широкого круга научных, исследовательских и прикладных задач, связанных с освоением и мониторингом Мирового океана. В том числе – для решения экологических задач, задач оценки океанологических и климатических условий, контроля биологических ресурсов, оценки подводных месторождений полезных ископаемых, использованием в качестве средств контроля и оповещения в чрезвычайных ситуациях. Таким образом, АНПА являются морскими техническими средствами двойного назначения.

Особенное значение такие исследования имеют при создании баз данных по экосистемам, включающим информацию о гидрохимическом состоянии морской среды, о характере донных ландшафтов, распределении сообществ и массовых видов бентоса, плотности его поселения и биомассе на изучаемых акваториях с возможностью картографирования данных. Наиболее эффективно подводные аппараты могут быть использованы для экологического мониторинга водной среды в придонных слоях, включая оценку гидрохимического состояния воды по параметрам, определяемым с помощью датчиков. Причем количество датчиков (сенсоров) может быть различным и зависит как от типа АНПА, так и от решаемых основных задач с его использованием. Достаточно стандартными задачами является подводная фото- и видеосъемка, а также измерение заданного ряда гидрохимических, гидрофизических и гидробиологических параметров.

Таким образом, АНПА при их дальнейшем развитии, в том числе в России, представляются универсальным инструментом для решения различных дистанционно

выполняемых задач в области экологического мониторинга и экологической безопасности. Одним из ведущих предприятий в России в данной области является Дальневосточный институт проблем морских технологий Дальневосточного отделения РАН. Ряд работ успешно реализуется в Санкт-Петербурге и в других регионах.

Отдельным классом стоят телеуправляемые подводные аппараты (ТПА), имеющие проводную связь и управление с судном-носителем или с береговым центром. Радиус их действия относительно не велик, однако время непрерывной работы многократно превосходит АНПА.

Например, в 2017 и 2018 гг. в северо-западной части Татарского пролива ТПА «Rovbuilder-150» российского производства в течение около 20 рабочих часов осуществлял мониторинговые работы. Управление данным ТПА осуществлялось по кабелю длиной до 500 м, на глубинах до 150 м. Для выявления особенностей проведения гидробиологических съемок с использованием аппарата результаты, полученные с его помощью, сравнивали с результатами гидробиологических водолазных съемок в северо-западных частях Охотского моря и Татарского пролива в период 1999–2016 гг., которые были проведены специалистами Хабаровского филиала ТИНРО-Центра (в настоящее время – Хабаровский филиал ВНИРО). Испытания ТПА «Rovbuilder-150» закончились успешно. Кроме того, следует упомянуть о первом в России соревновании подводных роботов различной конструкции и назначения, которое проходило в амурском заливе «Аквароботех-2018», в котором приняли 22 команды со всей нашей страны. Это свидетельствует о росте популярности данных систем и расширении их возможностей.

Кроме данных типов подводных мониторинговых систем, работающих без непосредственного погружения человека под воду, созданы т.н. глайдеры – аппараты, использующие для своего движения волновую и другие природные энергии водной среды. Дальность действия этих аппаратов может достигать нескольких тысяч километров, и они способны на весьма обширной траектории заданного маршрута собирать необходимую информацию. В целом, исследование и мониторинг экологических систем с помощью подводных аппаратов является наиболее экологически безопасным методом и соответствует самым современным мировым стандартам.

Таким образом, различные технологии и оборудование с использованием подводных мониторинговых систем, как подвижных роботизированных телеуправляемых, так и размещаемых стационарно в наиболее уязвимых районах, обладают по сравнению с традиционным методом водолазной съемки рядом преимуществ. Среди связанных – большая производительность, высокая степень достоверности и информативности, оперативность, почти неограниченные возможности исследований по площади и глубине, возможность применения в условиях сложной ледовой обстановки. Кроме того, применение АНПА и ТПА и глайдеров (по открытой воде) позволяет до минимума уменьшить риск для жизни персонала, связанный с выполнением подводных исследовательских работ.

В России традиционно разработкой подводных роботизированных систем различного назначения занимались и занимаются две крупные организации Академии наук – Институт океанологии им. П.П. Ширшова и Дальневосточный институт проблем морских технологий, подключая в кооперации другие Научно-исследовательские институты. В последние годы данные разработки ведутся также в ряде российских фирм и университетов.

Оценка возможностей использования новых технологий специалистами Института океанологии им. П.П. Ширшова показала, что можно создавать достаточно компактные телеуправляемые аппараты, но имеющие достаточно широкие возможности. Разработаны аппараты семейства ГНОМ (рис. 9.8).

Система ГНОМ состоит из основного аппарата, кабеля, надводного блока и ручного пульта управления. Подводный модуль выполнен в виде герметичного алюминиевого цилиндра с иллюминатором для видеокамеры. К цилиндру прикреплены четыре мини-электродвигателя с пропеллерами (два горизонтальных – по бокам аппарата, два вертикальных – вдоль корпуса) и поплавков из пенопласта для придания аппарату нейтральной плавучести. Внутри цилиндра размещены цветная видеокамера, осветители на светодиодах и блок электроники, а также электронный компас и датчик глубины, мембрана которого

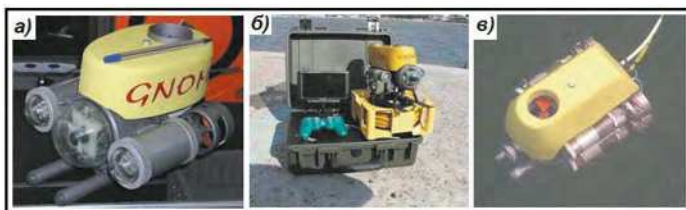


Рис. 9.8. Телеуправляемые подводные аппараты серии ГНОМ:
а) модель ГНОМ-3-50; б) комплект системы ГНОМ-4-150; в) модель ГНОМ-300

выходит наружу. Надводный блок включает источник питания, электронику передачи команд, данных и видео, пульт управления (джойстик). Электропитание автономное – 12 В (встроенный или внешний аккумулятор), либо внешнее – 220 В. Вся система с пультом управления размещена в двух переносных ударопрочных чемоданах: в одном – аппарат с катушкой кабеля, в другом – блок питания/управления и пульт, там же предусмотрено место для мини-аккумулятора 12 В / 12 АЧ и зарядного устройства.

ГНОМ оснащен цветной видеокамерой высокого разрешения (450 твл) с сервоприводом наклона и режимом цифрового zoom. В качестве кабеля связи использован одножильный коаксиальный кабель диаметром 3 мм и длиной до 250 м, по которому на ГНОМ передается электропитание (180VDC) и команды управления, а с ГНОМа транслируется видеосигнал с камеры и данные с датчиков аппарата. Кабель имеет две оболочки, между которыми протянуты кевларовые нити, выдерживает усилие до 80 кг на разрыв, не теряет гибкости при низкой температуре. Намотан на пластмассовую катушку размером 30×30×12 см, в которой установлен разъем со скользящим контактом. Такой кабель значительно меньше сдерживает движение аппарата под водой, чем многожильные кабели и позволяет ГНОМу легко маневрировать даже на предельных глубинах и удаляться на расстояния 150–200 м.

Основные технические характеристики аппаратов серии ГНОМ-4-150: число двигателей – 4; скорость: горизонтального движения – до 1 м/с, вертикального движения – до 0,5 м/с; рабочая глубина – 100 м, предельно допустимая – 120 м; длина кабеля – до 200 м; видеокамера – цветная PAL CCD.

Еще одним предприятием производящим ТНПА, которые применяются в России, является компания Rovbuilder. Фирма производит малогабаритные подводные осмотровые роботы. Сотрудниками команды Rovbuilder являются инженеры, стоящие у истоков создания *ROV-аппаратов* в нашей стране.

Подводный аппарат РБ-50 (рис. 9.9) – это полупрофессиональная модель для работ на небольших глубинах с небольшим течением. Модель комплектуется износостойким кабелем итальянского производства 30 или 50 м. Основное отличие от профессиональных моделей – низкое (безопасное) напряжение в кабеле и урезанная комплектация.

Широкий модельный ряд роботов компании Rovbuilder обеспечивает проведение подводных работ на глубинах до 300 м и удалением до 1200 м от базовой станции.

Обеспечивается видеосъемка с разрешением высокого качества (Full-HD), возможность использования дополнительного оборудования (сонары, толщиномеры, манипуляторы и т.д.), небольшие размеры и удобство использования, гарантируют высокий уровень выполнения проводимых подводных работ.

В целом, телеуправляемые аппараты различных конструкций способны решить ряд важных задач при проведении подводных осмотровых работ, а также в процессе экологического мониторинга. Однако их общим недостатком является относительно небольшой радиус действия, ограниченный длиной кабеля от пункта управления.

Другим типом современных подводных роботизированных систем являются автономные необитаемые подводные аппараты (АНПА), дальность действия которых зависит в основном только от эффективности источника энергоснабжения. АНПА могут применяться подо льдами и на глубинах до нескольких тысяч метров. Погружение в Марианскую впадину в мае 2020 г. российского АНПА типа «Витязь-Д» с прохождением вдоль дна на глубине более 10 км маршрута протяженностью в 3 км, проведение фото



Рис. 9.9. Подводный телеуправляемый аппарат «Rovbuilder РБ-50»

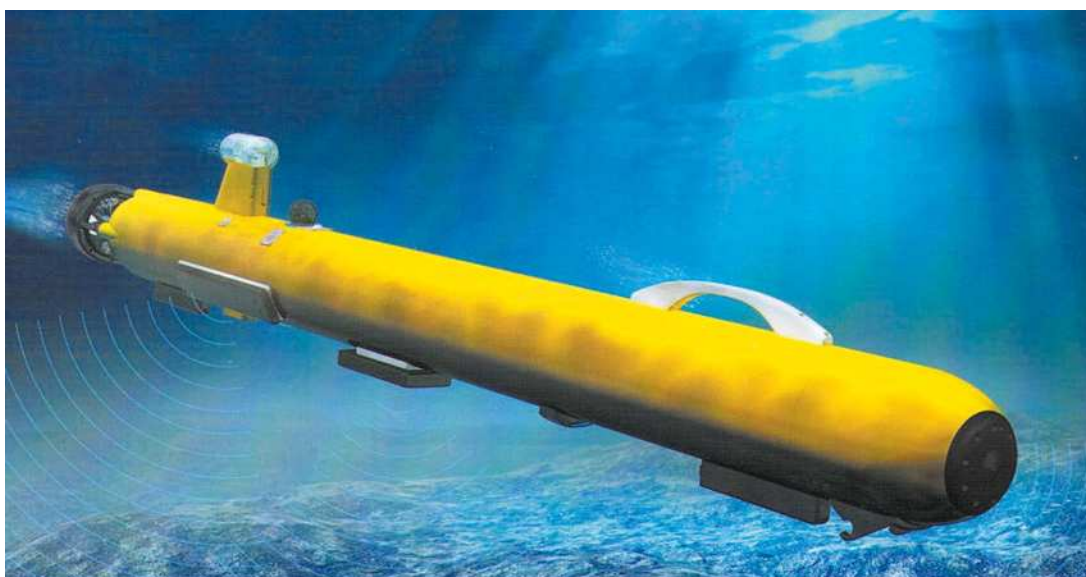


Рис. 9.10. АНПА среднего класса типа «Юнона»

и видеосъемки, установление на дне вымпела с символикой 75-летия Победы – является яркой иллюстрацией возможностей подобной техники. Благодаря использованию в системе управления аппарата элементов искусственного интеллекта, может самостоятельно обходить препятствия по курсу, находить выход из ограниченного пространства и решать другие интеллектуальные задачи. Разработчиком АНПА типа «Витязь» является Санкт-Петербургское Центральное конструкторское бюро морской техники «Рубин».

Подводные аппараты, принадлежащие к портативному классу типа «Дельфин», с наличием традиционного движителя, обладают небольшой автономностью в несколько часов и дистанцией хода в 5–10 км. Рабочая глубина таких аппаратов, как правило, не превышает 150 м, а их основная зона применения – прибрежная шельфовая зона, портовые комплексы и устья рек. Легкие аппараты типа «Гавиа» предназначены для более широкого круга задач. Они могут производить комплексный анализ акваторий и базироваться на катерах и судах, без необходимости их переоборудования. Средний АНПА типа «Юнона» (рис. 9.10) обладает достаточным полезным объемом для размещения значительного набора аналитической аппаратуры.

Их автономность может достигать нескольких суток. Тяжелые и большие АНПА типа «Клавесин-Р» предназначены для решения сложных задач на значительном удалении от исходного пункта базирования. Повышенный энергозапас позволяет применять их в течение более недели для изучения батимальной и абиссальной зон океана.

В состав АНПА входит специальная группа аппаратов, использующих для своего перемещения принцип изменения остаточной плавучести – подводных глайдеров, у которых отсутствуют традиционные движители. Данные системы обладают наибольшей автономностью и дальностью действия. Однако следует заметить, что полученные рекордные результаты по автономности плавания, исчисляемые месяцами, и дальности перемещения в тысячи километров достигнуты с минимальным набором исследовательской аппаратуры (температура, давление и электропроводность морской воды), измерительные возможности которой не в полной мере соответствуют современным задачам осуществления комплексного экологического мониторинга.

Существуют также донные стационарные автоматизированные системы наблюдений. В отличие от АНПА и глайдеров, заякоренные автономные подводные профилирующие аппараты (АППА) предназначены в основном для получения временных рядов вертикальных профилей гидрофизических, акустических и биологических характеристик в фиксированных географических точках. Особую ценность представляют регулярные однородные измерения вертикальных профилей характеристик морской среды, которые наряду с разрезами и площадными съемками позволяют изучить временную изменчивость в целях четырехмерной океанографии. При этом важную роль играет гидроакустическое оборудование.

В целях реализации Федеральной целевой программы «Развитие гражданской морской техники» на 2009–2016 гг. по заказу МЧС РФ в Институте Океанологии РАН им. П.П. Ширшова РАН в 2011 г. был разработан концептуальный проект комплексной системы экологического мониторинга акваторий, в котором профилограф «Аквалог» составляет ядро системы внутриводного мониторинга морской среды. Заякоренный профилограф «Аквалог» (рис. 9.11) предназначен для измерений гидрофизических, гидрохимических и биоокеанологических характеристик в фиксированной географической точке акватории. Измерения выполняются одним набором датчиков от приповерхностного слоя до придонного слоя с вертикальным разрешением не хуже 1 м, что позволяет получить однородные данные с одинаковой точностью. Аппарат регулярно по установленной программе перемещает полезную нагрузку с заданной скоростью с помощью электромеханического привода по тросу буйковой станции между подповерхностной плавучестью и донным якорем.

Перемещение осуществляется за счет вращения приводного ролика, взаимодействующего с буйрепом. Аппарат имеет удобообтекаемую форму, чтобы поддерживать стабильную ориентацию относительно течения, что немаловажно для измерения его скорости и направления.

Станция «Аквалог», как правило, ставится в море на долгий срок (до 1 года). В результате исследователь получает длительные временные ряды вертикальных тонкоструктурных профилей параметров морской среды. Аппарат изготавливается в 3-х модификациях, в зависимости от глубины постановки и продолжительности автономной работы с учетом требований к составу океанологических измерительных датчиков. В стандартном исполнении аппарат имеет максимальную рабочую глубину 1000 м, при этом габариты и масса носителя в воздухе составляют соответственно 1,45×0,35×0,65 м и 68 кг. Аппарат для работы в области шельфа и верхней части континентального склона на глубинах до 500 м имеет меньшую длину – 1,15 м и массу около 48 кг. Аппарат для долговременных постановок имеет те же габариты, что и стандартный, при большей массе на 4 кг и при увеличенной емкости батарейного блока на 30 %, но может использоваться только с определенными океанологическими датчиками.

Кроме зонда-профилографа «Аквалог» в состав морской части комплекса также входит оборудование системы связи для передачи данных и команд управления, включая:

- подсистему подводной связи посредством бесконтактной индуктивной врезки в ходовой трос для незамерзающих акваторий или подсистему цифровой гидроакустической связи;

– подсистему связи с береговым / судовым центром приема и обработки данных – поверхностный телеметрический буй с модемами спутниковой, УКВ и мобильной связи и передачи данных и телеметрической информации для незамерзающих акваторий или донный оптоволоконный кабель для акваторий, покрываемых льдом. Береговые технические средства комплекса включают модуль приема и обработки данных и управления мониторингом.

В целом, гидроакустическое оборудование применяется в профилографе «Аквалог» для решения следующих задач:

- контроля местоположения аппарата;
- передачи данных измерений и получения команд;
- акустического доплеровского измерения скорости течения;
- измерения обратного рассеяния звука на внутриводной взвеси.

Местоположение аппарата контролируется с помощью пеленгатора на судне и источника звука (пингера) на самом аппарате. Пеленг определяется в системе координат, связанной с обеспечивающим судном, на котором установлен пеленгатор.

В период с 2010–2013 г., в шельфово-склоновой зоне моря в районе г. Геленджик на базе Южного отделения Института океанологии РАН был развернут постоянно действующий полигон (далее – Полигон), предназначенный для судового комплексного мониторинга состояния черноморской прибрежной экосистемы и отработки методов и средств



Рис. 9.11. Заякоренный профилограф «Аквалог»

оперативной океанографии. Комплексный мониторинг состояния прибрежной морской экосистемы осуществляется на повторяемом (стандартном) судовом разрезе и является важным элементом программы черноморских исследований Института океанологии им П.П. Ширшова РАН. Судовой разрез имеет общую протяженность в 9 миль и включает в себя 7 станций, выполняемых с борта малого научно-исследовательского судна (МНИС) БПМ-74 «Ашамба».

На всех станциях разреза выполняются CTD-зондирования зондом SBE 19 plus от поверхности и до дна, или до глубины 350 м в области континентального склона, с измерением профилей температуры, солёности и плотности морской воды. На четырех станциях (с глубинами 25, 50, 100 и 500 м) производится отбор проб воды на химический анализ и определение содержания хлорофилла, на трех станциях (с глубинами 25, 50 и 500 м) выполняются сетные ловы зоопланктона. С 2012 г. к списку измеряемых параметров добавились флуоресценция хлорофилла и мутность. Судовой разрез обычно выполняется раз в две недели, но не реже, чем один раз в месяц на протяжении всего года.

Данные, получаемые на станциях судового разреза, позволяют изучить внутрисезонную, сезонную и межгодовую изменчивость ключевых параметров прибрежной черноморской экосистемы, а также выявить закономерности изменения значений этих параметров в поперечном берегу направлении. Иллюстрацией некоторых полученных результатов является рис. 9.12.

Основу Полигона вблизи Геленджика составляют размещенные на нем автономные измерительные системы в составе зондов-профилографов «Аквалог» на заякоренных буйковых станциях, донных станций с акустическими доплеровскими профилографами скорости течения. Эти системы обеспечивают регулярное получение гидрофизических, данных с высоким пространственно-временным разрешением. На рис. 9.13 представлена схема данного полигона с обозначением применяемого мониторингового оборудования. На рис. 9.14 – схема функционирования мобильного зонда-профилографа «Аквалог» на заякоренной буйковой станции.

На Полигоне отрабатываются средства оперативного сбора и передачи данных океанографических измерений. Проводится тестирование морских вариантов GSM и радиосвязи, средств подводной акустической связи. На ближайшей станции к Голубой бухте организована он-лайн связь измерительного комплекса с береговым сервером. Автономные измерительные системы подключены к береговому питанию посредством подводного оптоволоконного кабеля и 8-ми канального подводного модема станции, с помощью

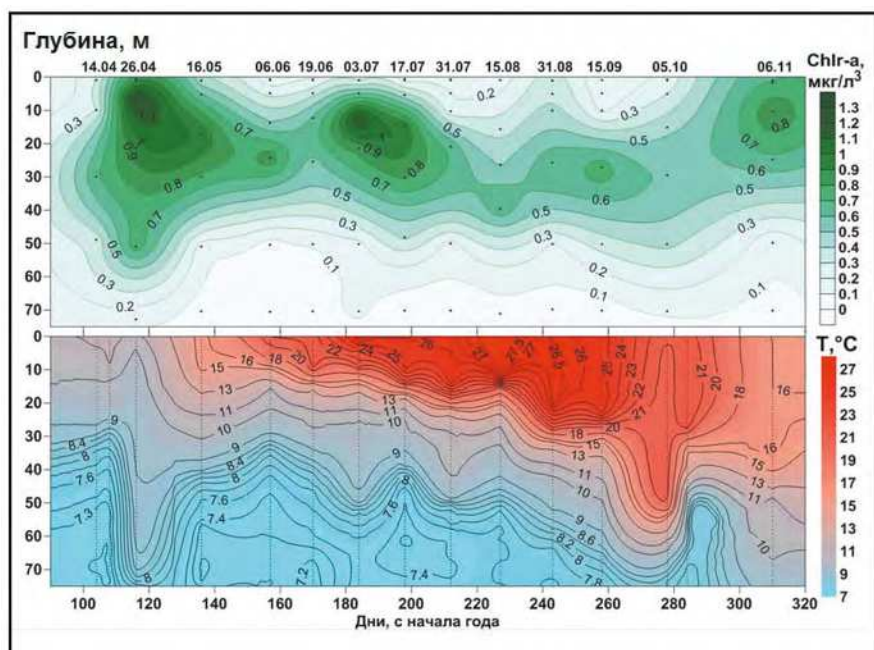


Рис. 9.12. Вертикальное распределение хлорофилла (вверху) и температуры воды (внизу) в районе континентального склона в 2017 г. по данным комплексного судового мониторинга

которых осуществляется оперативная передача данных в береговой центр.

В целом, донные базовые станции могут являться основными элементами глобальных информационных сетевых структур для исследования и наблюдения за Мировым океаном в различных целях. Эти станции могут выступать как платформы-носители приборных систем и комплексов, обеспечивая проведение исследований и мониторинг окружающей среды в режиме реального времени. Кроме того, на донных базовых станциях могут располагать силовые и информационные узлы для подводной техники различных типов, в т.ч. автономных необитаемых аппаратов, подводных глайдеров и т.д. Работа осуществляется в режиме реального времени, что особенно ценно при проведении биологических исследований с привязкой к изменениям факторов внешней среды; возможность создания разветвленной долговременной исследовательской сети на базе донных станций.

Контроль за окружающей средой – это сопоставление полученных данных о состоянии и качестве окружающей среды с установленными критериями и нормами техногенного воздействия или фоновыми параметрами на предмет их соответствия.

Экологический контроль можно рассматривать с двух позиций.

Во-первых, как функцию управления охраной окружающей природной среды. В этом смысле он представляет собой самостоятельный вид деятельности, в содержание которой входят сбор информации о подконтрольных объектах, ее обработка, оценка и передача для принятия управленческих решений в заранее определенных целях.

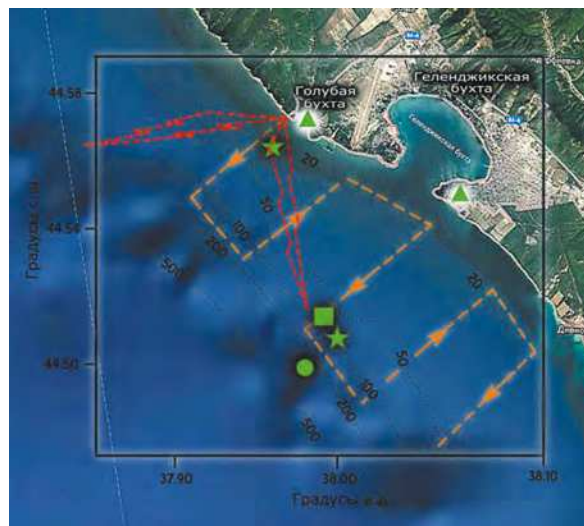


Рис. 9.13. Схема мониторингового Полигона по состоянию на 2018 г. Условные обозначения: зеленые звездочки – донные станции в составе ADCP и термоксы (ближайшая к берегу станция обеспечена подводной оптоволоконной линией связи); зеленый круг – станция профилографа «Аквалог»; зеленый квадрат – морская метеостанция; красный пунктир – радиолокационные измерения; оранжевый пунктир – галсы судна для измерения пространственной структуры течений

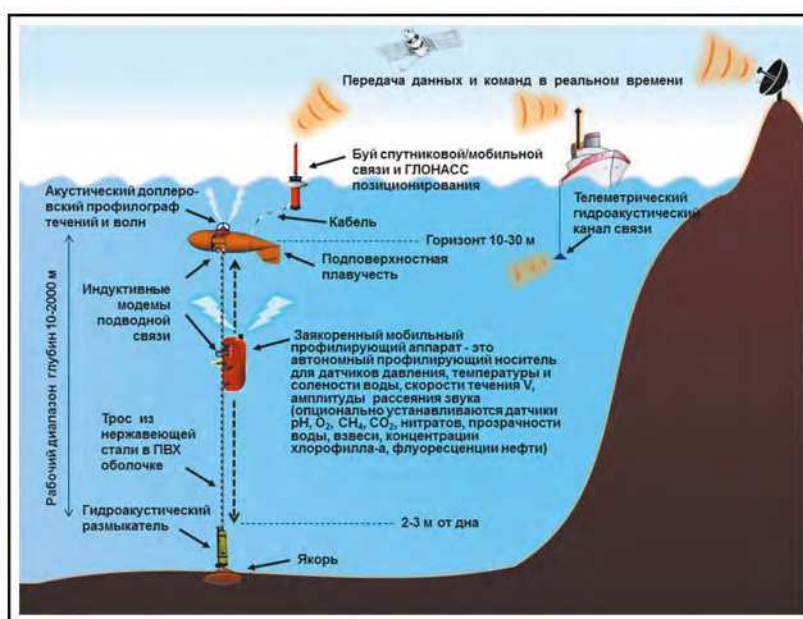


Рис. 9.14. Схема функционирования мобильного зонда-профилографа «Аквалог» на заякоренной буйковой станции

Во-вторых, в качестве гарантии выполнения экологических мероприятий и реализации регулирующих их правовых норм, способа обеспечения законности в экологическом управлении.

Задачи экологического контроля делятся на две группы.

Первая – наблюдение за состоянием окружающей природной среды и ее изменением под влиянием хозяйственной и иной деятельности.

Вторая состоит в проверке выполнения планов и мероприятий по охране природы, рациональному использованию природных ресурсов, оздоровлению окружающей природной среды, соблюдению требований природоохранительного законодательства и нормативов качества окружающей природной среды. Они должны уточняться применительно к конкретному виду контроля.

Различают государственный, муниципальный, производственный и общественный экологический контроль.

В природоохранительном законодательстве РФ государственная служба мониторинга определена фактически как часть общей системы экологического контроля.

Общественный экологический контроль осуществляется профессиональными союзами Российской Федерации и иными общественными объединениями, трудовыми коллективами, гражданами и ставит своей задачей проверку выполнения требований Закона «Об охране окружающей природной среды» министерствами и ведомствами, предприятиями, учреждениями, организациями, независимо от их форм собственности и подчиненности, должностными лицами и гражданами.

Порядок проведения общественного экологического контроля регулируется Федеральным законом № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды» от 10.01.2002 (в редакции 27.12.2019), законодательством о профессиональных союзах Российской Федерации, трудовых коллективах, общественных объединениях.

9.6. Оценка состояния окружающей среды

Мероприятия экологического мониторинга и контроля предоставляют нам сведения, отражающие физическое, химическое или биологические характеристики среды. Далее – необходимо проанализировать эти данные и оценить степень благоприятности среды для жизни человека и других организмов, оценить ее качество. Истоки термина «оценка» можно найти в греческом языке (*kainos* – новый, *koinos* – общий) или латинском (*censeo* – делаю опись, перепись; *census* – перепись граждан). Термин «оценка» (*estimation*) чаще встречается в эконометрике, метрологии, квалиметрии и других дисциплинах и по-разному определяется в каждой из них. Например, в метрологии оценка – это приближенное значение величины или параметра, найденного по экспериментальным данным. С помощью экономических оценок характеризуется и соизмеряется эффективность различных ресурсов. В квалиметрии реализуются методы количественной оценки качества продукции, широко применяются экспертные оценки, под которыми понимаются количественные или порядковые оценки процессов или явлений, не поддающихся непосредственному измерению.

Оценки применяются для нахождения количественных значений свойств при анализе исследуемого объекта или процесса на основе экспериментальных данных, а также на этапе построения моделей при определении численных значений существенных параметров модели по экспериментальным данным и статистическими методами. В этом случае речь идет об оценке параметров моделей.

По принятому определению ценность – антропоцентрическая категория, включающая объект и субъект оценивания. Тогда оценкой будем называть отношение субъекта к объекту оценивания, установление значимости для субъекта этого объекта (СAB) в целом или отдельных его свойств (оказываемых им ЛВ) на основе их соответствия определенным уровням или нормам (нормам воздействия). При этом исходные характеристики,

определяющие уровень оцениваемого свойства – антропогенного воздействия, могут быть весьма многочисленными (число их зачастую доходит до многих десятков наименований) и образовывать весьма сложные системы, структурированные множеством функциональных и корреляционных взаимосвязей.

Оценка антропогенных воздействий необходима в связи с той ценностью, которую представляет для человека окружающая его природная (и не только) среда, а сама оценка должна проводиться на основе соответствия воздействия определенным нормам воздействия или нагрузки. Далее представлены категории, на которые можно разделить специфику воздействий.

1) Общий характер процессов антропогенного воздействия, предопределяемый формами человеческой деятельности: а) изменение ландшафтов и целостности природных комплексов; б) изъятие природных ресурсов; загрязнение окружающей среды.

2) Материально-энергетические характеристики (природа) воздействий; механические, физические (тепловые, электромагнитные, радиационные, акустические), физико-химические, химические, биологические факторы и агенты и их различные сочетания. В большинстве случаев в качестве таких агентов выступают эмиссии (т. е. испускания – выбросы, стоки, излучения и т.п.) различных технических источников.

3) Количественные характеристики воздействия: сила и степень опасности (интенсивность факторов и эффектов, массы, концентрации, характеристики типа «доза-эффект, пороговость, токсичность, допустимость по экологическим и санитарно-гигиеническим нормам, степень риска); пространственные масштабы и распространенность (локальные, региональные, глобальные); единичность и множественность.

4) Временные параметры и различия воздействий по характеру эффектов (наступающих изменений): кратковременные и длительные, стойкие и нестойкие, прямые и опосредованные, обладающие выраженными и скрытыми следовыми эффектами, вызывающие цепные реакции, обратимые и необратимые, актуальные и потенциальные; пороговость эффектов и т.д. С последним связано еще деление воздействий и их последствий на преднамеренные и непреднамеренные, попутные, побочные.

5) Категории объектов воздействия: различные живые реципиенты (т. е. способные воспринимать и реагировать) – люди, животные, растения; компоненты окружающей среды (среда помещений и поселений, природные ландшафты, земная поверхность и недра, почва, водные объекты, атмосфера, околоземное пространство); изделия и сооружения.

Существуют 2 принципиальных подхода к оценке антропогенных воздействий: оценка интенсивности и степени воздействия базируется на возможном измерении либо мощности самого воздействия, т. е. анализе свойств субъекта воздействия, либо параметров, характеризующих экологическое состояние объекта воздействия – окружающей среды и ее составляющих на геотопологическом (местном, локальном) уровне (экотопов, элементарных ландшафтов). В ряде случаев непосредственная оценка самого воздействия сильно затруднена или просто невозможна, что заставляет использовать второй подход. В процессе оценки воздействия другой подход предполагает исследование в первую очередь более устойчивых элементов действительности, чем процессы и явления, – их результатов, отражающих изменение экологических свойств, а следовательно, и экологического состояния среды обитания, а также населения. Изучение экологического состояния биотических компонентов, а также показателей здоровья и жизни населения при отсутствии возможности изучения всех конкретных экологических воздействий на них со стороны многочисленных источников (например, в условиях крупного промышленного центра) иногда единственно возможный вариант оценки данных воздействий по их результатам.

Данный подход нашел свое отражение в положении об «экодиагностике», когда по аналогии с медициной, обследуя объект воздействия, судят о причинах, породивших те или иные последствия.

Разноплановость антропогенных воздействий и их последствий, сложность измерения и учета некоторых из них затрудняет решение задач, относящихся к обеим группам экологических проблем, – определение интенсивности воздействий, разработку

нормативов предельно допустимого воздействия, а также количественную оценку уровня возможного воздействия конкретного субъекта на окружающую среду как его потенциальной экологической опасности. Для одних видов воздействий, например загрязнений, в настоящее время есть общепринятые показатели, методики их расчета, научно определенные нормативы предельно допустимого воздействия, для других – они, к сожалению, еще не разработаны.

Данные, полученные на основе мониторинга и контроля, являются основой для дальнейших действий органов, ответственных за проведение экологической политики по оценке и управлению природоохранной деятельностью.

Оценка состояния и качества окружающей среды предполагает сравнение ее состояния с определенными нормами. В качестве критериев могут выступать показатели естественного ненарушенного состояния природных комплексов или фоновые параметры среды. Разрабатываются нормативные показатели, характеризующие меру возможного воздействия человека на природу.

Нормативные показатели устанавливаются на основе специальных исследований или в результате экспертных оценок. Поскольку экономически, а нередко и технологически невыполнимо исключить выбросы вредных веществ в атмосферу и водоемы, приходится вводить нормы предельно допустимых концентраций (ПДК) вредных (загрязняющих) веществ. Все существующие нормы ПДК представляют собой компромисс между допустимым и реально существующим уровнем загрязнения окружающей среды. В практике мониторинговых наблюдений используются две основные группы нормативных показателей: санитарно-гигиенические и экологические.

Санитарно-гигиенические показатели устанавливаются исходя из требований экологической безопасности населения. К ним, в первую очередь, относятся ПДК загрязняющих веществ в воздухе, воде, почвах и продуктах питания, а также нормы предельно допустимых выбросов (ПДВ) и сбросов (ПДС) загрязняющих веществ в воздух и водоемы.

Насчитывается большое число нормативов допустимого содержания веществ различного происхождения. Только для ПДК химических веществ установлено в воде водоемов около 1500, в атмосферном воздухе – более 4500, в почве – более 100. При наличии столь внушительного числа показателей ПДК возникает необходимость выделения перечня наиболее важных, подлежащих контролю в процессе мониторинга.

Во-первых, наблюдению должны подлежать вещества, выброс и распространение которых имеет массовый характер. К ним относятся, например, диоксид серы, пыль, оксиды углерода – для атмосферы; нефтепродукты, фенолы, соединения тяжелых металлов – для поверхностных вод; пестициды – для почв.

Во-вторых, наблюдения должны охватывать наиболее токсичные соединения, несмотря на то, что абсолютные значения ПДК для них весьма низкие. В воздухе ПДК таких соединений не превышает 5 мкг/м³ (пятиокись ванадия, сернистый свинец, ацетофенон и др.); в водоемах – 2 мкг/л (соли бериллия и ртути, фенол и др.).

Степень загрязнения окружающей среды оценивают по кратности превышения ПДК и ПДВ, классу опасности (токсичности) веществ, допустимой повторяемости концентраций заданного уровня, количеству химических элементов и соединений. В случае одновременного присутствия нескольких загрязняющих веществ используются суммарные показатели. Так, при наличии веществ с одинаковой степенью вредности суммарный показатель загрязнения C_c может быть определен по следующей формуле:

$$C_{\text{сумм}} = \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{\text{ПДК}}, \quad (9.1)$$

где C_i – фактическая концентрация конкретного загрязнителя.

Санитарно-гигиенические нормы, установленные исходя из влияния на организм человека, не учитывают реакции других организмов. Допустимое для человека загрязнение может привести к нарушению состояния многих видов растений и животных и экосистемы в целом. Поэтому для оценки состояния природной среды, наряду с ПДК, необходимо использовать и экологические критерии.

Экологические критерии рассматриваются как мера антропогенного воздействия на экосистемы и ландшафты, при которой их основные функционально-структурные характеристики (продуктивность, интенсивность биотического круговорота, видовое разнообразие, устойчивость и др.) не выходят за пределы естественных изменений.

Выделяются 2 основные группы экологических показателей: покомпонентные и комплексные. К *первой группе* относятся индикаторы (метки, указатели) состояния воздуха, вод, почв и биогеоценотического покрова в целом. Ко *второй группе* экологических критериев относятся суммарные (интегральные) показатели, характеризующие природные системы в целом. Они могут быть получены на основе интеграции покомпонентных нормативов или путем нахождения интегральных индикаторов. Один из способов получения суммарного показателя (X_s) представляет собой расчет по формуле:

$$X_s = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i k_i, \quad (9.2)$$

где n – число покомпонентных нормативов; x_i – норматив состояния компонента (в относительных величинах); k_i – весовой коэффициент норматива, т. е. его значимость.

Применение рассмотренных критериев дает возможность оценить степень и изменения окружающей среды во времени и в пространстве.

Временные (динамические) показатели характеризуют скорости нарастания неблагоприятных изменений. Выделяется четыре динамических класса природных систем:

- *стабильные* – скорость увеличения площадей нарушенных земель менее 0,5 % в год;
- *умеренно динамичные* – площади увеличиваются до 2 % в год (возможна полная смена ценотического покрова за 50–100 лет);
- *среднединамичные* – до 2–3 % в год (возможна полная смена экосистем в течение 3–50 лет);
- *сильнодинамичные* – более 4 % в год (полная смена экосистем возможна за 25 лет).

Пространственные показатели характеризуют размеры ареалов, в пределах которых проявляются антропогенные нарушения природных комплексов.

9.6.1. Понятие о методах биоиндикации и биотестирования

Биоиндикация – оценка качества природной среды по состоянию населяющих её организмов. Биоиндикация основана на наблюдении за составом и численностью видов-индикаторов. Развитие организма происходит под комплексным, синергетическим воздействием всевозможных комбинаций факторов среды биотической и абиотической природы. Зачастую развитие ограничивают факторы, находящиеся в зоне пессимума или угнетения (так называемое расширенное правило Либиха). В природе происходит лишь частичная реализация физиологических потенциалов – так называемая реализованная экологическая ниша (постконкурентная экологическая ниша, популяционная экологическая ниша, экологический диапазон присутствия, экологический потенциал). Экологический потенциал отражает реакцию организма на воздействие факторов. Физиологическая толерантность и экологическая потенция определяют его индикаторную ценность.

В результате состояние организма, его численность, структура популяции в природной среде отражает благоприятность ее состояния. Такие организмы, жизненные функции которых тесно связаны с отдельными факторами среды, называются биоиндикаторами.

Существует две формы биоиндикации: когда одинаковые реакции организма могут быть вызваны различными факторами среды (в том числе и антропогенного происхождения) – тогда речь идёт о неспецифической биоиндикации; когда изменения реакции чётко связаны с изменением конкретного фактора – специфическая биоиндикация.

В процессе биоиндикации происходит обнаружение и определение степени и характера антропогенного загрязнения на основе реакций на него живых организмов и их сообществ в естественной природной или городской среде. В данном случае выполняются наблюдения на физиологическом состоянии, развитием, встречаемостью, плодовитостью

и другими показателями специально выбранных индикаторных организмов. Ими могут быть как высшие и низшие растения, так и различные водные и наземные животные.

Исследования содержания промышленных токсикантов в почве, поверхностных водах не позволяют полностью оценить уровень загрязнения окружающей среды, опасной для здоровья человека. Во-первых, потому, что валовое содержание того или иного токсиканта в воде или в почве не равно тому количеству, которое затем попадает в организм человека в силу различной миграционной способности, биологической активности, усвояемости соединения и различия в формах его нахождения в организме и в различных средах. Во-вторых, анализ таких «инертных» объектов, как почвы, дает в руки исследователей данные, интегрированные за ряд лет или даже десятилетий, а анализ речных вод – данные, осредненные по водосборному бассейну.

Преимущество живых индикаторов состоит в том, что они:

- суммируют все без исключения биологически важные данные об окружающей среде и отражают ее состояние в целом, ибо воздействие токсических веществ является толчком к разнообразным изменениям внутри экосистемы, компоненты которой тесно связаны между собой;

- во многих случаях делают необязательным применение дорогостоящих трудоемких физических и химических методов для измерения биологических параметров; живые организмы постоянно присутствуют в окружающей человека среде и реагируют на кратковременные и залповые выбросы токсикантов, которые может не зарегистрировать автоматизированная система контроля с периодическим отбором проб на анализы;

- отражают скорость происходящих в природной среде изменений;

- указывают пути и места скопления различного рода загрязнений в экологических системах и возможные пути попадания этих агентов в пищу человека; позволяют судить о степени вредности тех или иных веществ для живой природы и человека; дают возможность контролировать действие многих синтезируемых человеком соединений; помогают нормировать допустимую нагрузку на экосистемы, различающиеся по своей устойчивости к антропогенному воздействию, так как одинаковый состав и объем загрязнений может привести к различным реакциям природных систем в разных географических зонах.

Индикаторами могут быть любые биологические объекты на всех уровнях организации (от субклеточного до экосистемного), поэтому задачи биоиндикации во многом совпадают с задачами экотоксикологии.

Например, для оценки загрязненности атмосферного воздуха в качестве биоиндикаторов часто используются лишайники, которые способны реагировать на загрязненность воздуха. На этом их свойстве основано особое направление индикационной экологии – *лихеноиндикация*.

При изучении лишайников на территориях крупных промышленных центров были обнаружены следующие закономерности:

- в более индустриализованных городах с интенсивным атмосферным загрязнением видовой состав лишайников обеднен, площадь их покрытия на стволах деревьев сокращается, снижается их жизнеспособность;

- при повышении степени загрязненности воздуха вначале исчезают кустистые лишайники, за ними – листоватые, а затем – накипные.

В районах, подверженных сильному техногенному загрязнению, появляются «лишайниковые пустыни», где лишайники исчезают.

Очень негативное влияние на их рост и развитие оказывает содержащийся в атмосферном воздухе диоксид серы. Экспериментально установлено, что это соединение уже в концентрации 0,08–0,10 мг/м³ вызывает функциональные изменения: в хлоропластах водорослевых клеток появляются бурые пятна, начинается дегградация хлорофилла, плодовые тела лишайников хиреют. Концентрация SO₂, равная 0,5 мг/м³, губительна для всех видов лишайников, произрастающих в естественных ландшафтах.

Оксиды азота, углерода, фтора и др. также оказывают вредное влияние на развитие лишайников. По реакции на присутствие SO₂ в воздухе разработаны математические лихеноиндикационные индексы – индекс атмосферной чистоты (ИАЧ), а также индекс

полеотолерантности (ИП), показывающие, какие виды объединяются в группы с одинаковой реакцией на определенную концентрацию загрязнителя в воздухе. Кроме визуальных наблюдений, в настоящее время в комплексе используются и аналитические методы, позволяющие определить количественно содержание загрязнителей, аккумулированных в лишайниках. На основе данных лишеноиндикации составляются карты, позволяющие районировать исследуемые территории по степени загрязнения, прежде всего атмосферного воздуха. Состояние водных экосистем часто оценивается на основе наблюдений за видовым составом и численностью донных беспозвоночных – макрозообентоса, высшей и низшей водной растительности по специальным методикам.

Использование физиологических индикационных признаков биоиндикаторов позволяет определить изменения в экосистемах на очень ранних стадиях, когда они еще не проявляются морфологическими и структурными изменениями и их нельзя выявить другими методами. Это дает возможность предвидеть нарушения экосистем и вовремя принимать меры.

Изучение состояния биоиндикаторов можно использовать как дополнительную информацию при оценке здоровья населения. Для этого целесообразно использовать именно физиологические индикационные признаки, т. к. существует корреляция между физиологическими реакциями животных и человека.

Некоторые группы животных, особенно млекопитающие, очень близки к человеку по морфологическим показателям, и по реакциям таких животных можно обоснованно судить, каково будет состояние человека в таких же экологических условиях обитания. В настоящее время предпринимаются попытки создания системы зоологических индикаторов для экологического нормирования состояния наземной среды, экологического контроля. Понятно, что создать универсальную систему индикаторов невозможно, поскольку различные животные по-разному реагируют на действие ядохимикатов, промышленных и радиоактивных загрязнений, дефолиантов, на многие другие воздействия. Но создать удобную в практической работе систему биоиндикаторов на действие индивидуальных загрязняющих веществ – задача вполне посильная при современном уровне знаний. При этом существенно, что человек, как и животные, соприкасается с загрязняющими биосферу факторами постоянно, причем контакт диких животных со средой в ряде случаев несравнимо более тесный, чем у человека.

Биотестирование позволяет получить интегральную оценку токсичности объектов окружающей среды для живых организмов на основе различных реакций *биотестов* – живых организмов, выделенных в лабораторную культуру. Это дешевый и универсальный метод в последние годы широко используется во всем мире для оценки качества объектов окружающей среды. В Дании, Германии, Франции, Ирландии, Нидерландах, Великобритании, Норвегии, Бельгии, Швеции, Швейцарии, Канаде, США, Бразилии, Японии, Австралии законодательством предусмотрено проведение токсикологической оценки сточных вод, сбрасываемых в природные водные объекты. В США создано специальное общество по биотестированию вод. Имеется международный стандарт по использованию в качестве биотестов дафний, которым пользуются в 22 странах мира. В настоящее время разработано большое количество методов биотестирования, основанных на исследовании реакций на токсичное воздействие отдельных «индикаторных» тест-объектов – гидробионтов, таких как простейшие (инфузории, жгутиконосцы), кишечнорастворимые (гидры), черви (планарии, пиявки), моллюски (пластинчатожаберные, брюхоногие), ракообразные (дафнии, гаммарусы), рыбы, а также представителей различных групп растений.

Например, при использовании в качестве биотеста люминисцентных бактерий снижение уровня их люминисценции – выделения света на 50 % и более в опыте по сравнению с контролем через 30 минут после воздействия анализируемой пробой оценивается как токсическое воздействие пробы. Также токсичной считается проба, если при использовании в качестве тест-объекта одноклеточных водорослей произошло снижение их численности на 50 % и более в опыте по сравнению с контролем за 72 ч биотестирования и т.д. Предоставляя мало информации о природе токсического агента, биотестирование дает возможность с большой достоверностью определять степень общей токсичности

объекта исследований. Методы биотестирования, реализуемые в основном в лабораторных условиях, отличаются высокой чувствительностью и позволяют определять токсические вещества в концентрации до 10–8 %. Объектом исследований может быть любой объект внешней среды (вода, почва), отходы промышленного производства и т.д. Так, например, в связи с возрастающим антропогенным загрязнением воды на Земле возникает необходимость в экспресс-анализе ее качества. В настоящее время оценку качества воды, включающую содержание физиологически вредных примесей, принято контролировать дифференцированными химическими анализами, а пригодность – сравнением с существующими ГОСТами. Однако число известных токсикантов сейчас уже превысило 40 000. Все это ограничивает возможности применения химических способов исследования и делает систему биологического тестирования все более привлекательной. Для интегральной оценки применяют различные биотесты, известно их более 100. В качестве тест-объектов используют представителей основных трофических звеньев водной экосистемы: бактерии, водоросли, простейшие, ракообразные, рыбы.

Тест-система – это пространственно ограниченная совокупность чувствительных элементов (тест-организмов) и среды, в которой они находятся. Тест-система может состоять из группы организмов одного вида сообщества нескольких биологических видов, целой экосистемы. Тест-объект – организм, используемый при оценке токсичности химических веществ, природных и сточных вод, почв, донных отложений, кормов и др. Тест-объекты, по определению Л.П. Брагинского – «датчики» сигнальной информации о токсичности среды и заменители сложных химических анализов, позволяющие оперативно констатировать факт токсичности (ядовитости, вредности) водной среды («да» или «нет»), независимо от того, обусловлена ли она наличием одного точно определяемого аналитически вещества или целого комплекса аналитически не определяемых веществ, какой обычно представляют собой сточные воды. Тест-объекты с известной степенью приближения дают количественную оценку уровня токсичности загрязнения водной среды – сточных, сбросных, циркуляционных и природных вод.

Для биотестирования используются различные гидробионты – водоросли, микроорганизмы, беспозвоночные, рыбы. Наиболее популярные объекты – ювенальные формы планктонных ракообразных-фильтраторов *Daphnia magna*, *Ceriodaphnia affinis*. Семидневный тест на суточной молоди цериодафнии *Ceriodaphnia affinis* позволяет за более короткий срок (7 суток), чем на *Daphnia magna* (21 сутки) дать заключение о хронической токсичности воды. В результате воздействия токсического вещества тест-объект или вся тест-система претерпевает определенную деформацию, что проявляется в виде ряда реакций тест-системы на различных уровнях ее функционирования. Эти реакции различаются по чувствительности, скорости проявления, легкости наблюдения. Одну из этих реакций выбирают в качестве тест-реакции – закономерно возникающей ответной реакции тест-системы на воздействие комплекса внешних факторов, выбранных для анализа состояния этой системы. Степень проявления тест-реакции оценивается по тест-критерию. Это показатель, на основании которого производится оценка изменения тест-системы. По степени проявления тест-реакции судят о токсичности исследуемого образца. Важное условие правильного проведения биотестирования – использование генетически однородных лабораторных культур, т. к. они проходят проверки чувствительности, содержатся в специальных, оговоренных стандартами лабораторных условиях, обеспечивающих необходимую сходимость и воспроизводимость результатов исследований, а также максимальную чувствительность к токсическим веществам.

Тест-функция – это жизненная функция или критерий токсичности, используемые в биотестировании для характеристики отклика тест-объекта на повреждающее действие среды. Тест-функции, используемые в качестве показателей биотестирования для различных объектов:

- для инфузорий, ракообразных, эмбриональных стадий моллюсков, рыб, насекомых – выживаемость (смертность) тест-организмов;
- для ракообразных, рыб, моллюсков – плодовитость, появление аномальных отклонений в раннем эмбриональном развитии организма, степень синхронности дробления яйцеклеток;

– для культур одноклеточных водорослей и инфузорий – гибель клеток, изменение (прирост или убыль) численности клеток в культуре, коэффициент деления клеток, средняя скорость роста, суточный прирост культуры;

– для растений – энергия прорастания семян, длина первичного корня и др.

Длительность биотестирования зависит от задачи, поставленной исследователем. Острые биотесты, выполняемые на различных тест-объектах по показателям выживаемости, длятся от нескольких минут до 24–96 ч. Краткосрочные хронические тесты длятся в течение 7 суток и заканчиваются, как правило, после получения первого поколения тест-объектов. Хронические тесты на общую плодовитость ракообразных, охватывают 3 поколения.

Токсический эффект – изменение любого показателя жизнедеятельности или функций организма под воздействием токсиканта. Зависит от особенностей яда, специфики метаболизма организма, факторов внешней среды (содержания кислорода, уровня pH , температуры и др.).

Токсичность – свойство химических веществ проявлять повреждающее или летальное действие на живые организмы. Вещество, оказывающее токсическое действие, называется токсикантом, а процесс воздействия токсиканта на организм – токсикацией (на экосистему – токсификацией). Токсичность водной среды – токсичность воды и донных отложений для гидробионтов, возникающая вследствие появления в ней токсических веществ природного или антропогенного происхождения (ксенобиотиков), загрязнения сточными водами, токсическими атмосферными осадками и пр. При возникновении токсичности водной среды вода из среды, поддерживающей жизнь, становится средой, губительной для жизни.

Степень токсичности водной среды оценивается методами биотестирования, а также по превышению ПДК (предельно допустимых концентраций). Острая токсичность выражается в гибели отравленного организма за короткий промежуток времени – от нескольких секунд до 48 ч. Хроническая токсичность среды проявляется через некоторое время в виде нарушений жизненных функций организмов и возникновения патологических состояний (токсикозов). У водных организмов хроническая токсичность выражается в гонадотропном и эмбриотропном действии токсиканта, что приводит к нарушению плодовитости (продуктивности), эмбриогенеза и постэмбрионального развития, возникновению уродств (мутаций) в потомстве, сокращению продолжительности жизни, появлению «карликовых» форм. В России с 1996 г. начат эксперимент по внедрению методов биотестирования сточных вод, сбрасываемых в природные водоемы и подаваемых на сооружения биологической очистки.

Основные методы биотестирования

1. *Биохимический метод*. Стрессовое воздействие среды можно оценивать по эффективности биохимических реакций, уровню ферментативной активности и накоплению определенных продуктов обмена. Изменение содержания в организме определенных биохимических соединений, показателей базовых биохимических процессов и структуры ДНК в результате биохимических реакций могут обеспечить необходимую информацию о реакции организма в ответ на стрессовое воздействие. Каждый физиологический процесс требует определенных затрат энергии, поэтому любое изменение физиологического состояния немедленно сказывается на энергетическом обмене. Биоэнергетические показатели живых систем позволяют выявлять последствия стрессового воздействия среды до наступления необратимых изменений в организме. Количество энергии, необходимое организму в единицу времени для обеспечения всех физиологических процессов, характеризует интенсивность энергетического обмена. На реализацию одного и того же физиологического процесса в неблагоприятных условиях организму требуется больше энергии, чем в оптимальных, из-за необходимости компенсации неблагоприятных воздействий среды. В процессе жизнедеятельности всех аэробных организмов в ходе нормальных реакций кислородного метаболизма образуются свободные радикалы.

В норме уровень свободных радикалов регулируется системой антиоксидантной защиты клетки, так как эти радикалы и продукты их превращения представляют серьезную угрозу: подавляют активность ферментов; разрушают нуклеиновые кислоты; вызывают деградацию биополимеров; изменяют проницаемость мембран. Тем не менее, свободные радикалы играют важную роль в окислительно-восстановительных биохимических реакциях. Таким образом, стрессовая реакция биотестов может быть измерена по изменению в них уровня свободных радикалов по сравнению с контролем. Известно, что быстрые изменения интенсивности реакций с участием свободных радикалов в живых объектах типичны для начальных стадий разных патологических состояний, в том числе для первичных процессов лучевого поражения.

2. Генетический метод. Наличие и степень проявления генетических изменений характеризует мутагенную активность среды, а возможность сохранения генетических изменений в популяциях отражает эффективность функционирования иммунной системы организма. В норме большинство генетических нарушений распознаются клеткой, например путем апоптоза за счет внутриклеточных систем или посредством иммунной системы. Достоверное превышение спонтанного уровня таких нарушений является индикатором стресса. Генетические изменения могут выявляться на геномном, хромосомном и геномном уровнях. Типы мутаций:

- генные (точковые) – замена оснований ДНК или вставка или выпадения нуклеотидов;
- хромосомные – нарушения структурных хромосом;
- геномные – изменение количества хромосом в ядре.

Для выявления канцерогенов и мутагенов применяются краткосрочные генетические тесты, где вместо цельного организма млекопитающего (опыты могут проходить 2–3 года) используют другие биологические системы. Исследование генетических изменений как на геномном, так и на хромосомном уровне можно проводить на растениях без использования сложного лабораторного оборудования, необходимого для постановки других тестов, что при некоторых обстоятельствах может оказаться большим преимуществом. Возможным недостатком этих тестов является существенное различие метаболизма растений и млекопитающих. Следовательно, в настоящее время, еще рано ставить вопрос о возможности достоверной экстраполяции на человека результатов, полученных в экспериментах на растениях.

3. Морфологический метод. В условиях техногенного воздействия на природные экосистемы снижение численности популяций происходит в значительной мере за счет эмбриональной и личиночной смертности. Эмбрионы и личинки – наиболее чувствительны к повреждающим факторам фазы жизненного цикла гидробионтов. Воздействие на организм стрессирующих факторов приводит к отклонениям от нормального строения различных морфологических признаков. В водоемах, в последнее время, катастрофически возрос процент уродливых личинок лягушек и жаб. Отмечено появление рыб с нарушениями эмбрионального морфогенеза, то есть с различными аномалиями (ассиметрия тела и т.д.). Для диагностики воздействия загрязнений на морфологические характеристики применяются методы оценки флуктуирующей ассиметрии. Флуктуирующая ассиметрия является результатом неспособности организмов развиваться по точно определенному плану. Ассиметрия – это один из общих онтогенетических показателей, характеризующих стабильность индивидуального развития, дающий оценку состояния природных популяций и зависящий от состояния среды.

4. Физиологический метод. Одна из наиболее важных характеристик, высокочувствительная к стрессовому воздействию среды, – это энергетика физиологических процессов. Наиболее экономичный энергетический обмен имеет место лишь при строго определенных условиях среды, которые могут быть охарактеризованы как оптимальные. Интенсивность энергетического обмена аэробного организма может быть определена посредством измерения скорости потребления кислорода. При оптимальных условиях организм находится на самом низком энергетическом уровне, при любых негативных изменениях среды обитания потребность в кислороде будет увеличена.

Для характеристик энергетического обмена две величины являются фундаментальными:

- основной обмен – отражает минимальный уровень потребления энергии, необходимый для обеспечения нормального функционирования организма при отсутствии каких-либо внешних воздействий;

- максимальный обмен – соответствует предельному количеству энергии, которое организм способен выработать в случае необходимости.

Разность между этими величинами – это энергетический ресурс адаптации конкретного вида. Другая базовая характеристика, перспективная для оценки стрессовых воздействий – темп и ритмика ростовых процессов. Важной характеристикой физиологических процессов является поведенческая активность живых организмов. В качестве тест-функций применяются физиологические параметры пресноводных беспозвоночных гидробионтов разных уровней филогенеза.

5. *Биофизический метод.* Биофизические методы контроля качества среды всегда основаны на инструментальном определении нарушений биохимических и биофизических процессов тест-организмов. Одни из них регистрируют изменения функций мембранных структур клеток, другие оценивают показатели электропроводности тканей, третьи – способность генерировать электрические потенциалы и т.д. Для контроля состояния важнейших функциональных систем организмов наибольшее распространение получили люминисцентные и флуориметрические методы. Они обладают высокой чувствительностью, позволяют проводить количественные измерения в режиме реального времени, а в ряде случаев и автоматизировать процесс измерения.

6. *Иммунологический метод.* В дополнение к цитогенетическому подходу, характеризующему эффективность иммунной системы организма в отношении элиминации клеток с генетическими нарушениями, возможны развернутая оценка изменений иммунореактивности животного, исследование параметров иммунитета, таких как состав крови и гемолимфы, определение наличия антител в жидкостях организма, концентрации белков плазмы, перивисцеральной жидкости и гемолимфы, оценки динамики клеточного состава. Иммунологический подход при оценке состояния окружающей среды заключается в изучении изменений врожденного и приобретенного иммунитета у беспозвоночных и позвоночных животных. Предлагается использовать параметры иммунитета животных как критерий состояния организмов, их популяций и сообществ экосистем в норме и при техногенном воздействии

Все методы биотестирования основаны на регистрации выживаемости, плодовитости, скорости роста или реакций, связанных с изменением клеточных функций (энергетические показатели, передача возбуждений, био- и хемилюминесценция, движение). Наиболее часто измеряются параметры трех типов реакций – реакций фотосинтеза, реакций био- и хемилюминесценции и поведенческие реакции. В последние годы часто для целей биотестирования применяются биохимические показатели, например, активность ферментов.

Биотесты с применением пиявок (*Hirudo medicinales*, *Hirudo lineata*, *Caspiobdello fa-deievi*, *Protociepsis tessulata*) основаны на регистрации изменения статистических поз молодых животных (нитчатки) после их 15–20-минутного пребывания в тестируемой воде. Известны методы биотестирования, основанные на регистрации закрытия створок раковин двухстворчатых моллюсков, например *Unio tumidas*, при пропускании загрязненной воды через резервуар с моллюсками.

Таким образом, методы биотестирования реализуются в основном в лабораторных условиях. Выявляется степень токсичности среды для жизни. Например, на Водоканале Санкт-Петербурга с 2005 г. для экспресс-оценки качества воды, забираемой из Невы, используют специально отобранных особей речных раков. К панцирю рака, сидящего в аквариуме, приклеивается волоконно-оптический датчик, который позволяет незаметно для животного в течение длительного времени регистрировать его сердцебиение. На экран компьютера диспетчера смены непрерывно выводятся уже обработанные результаты показателей сердечного ритма и стресс-индекса раков в виде системы «светофор»: красный, желтый или зеленый световые сигналы. Нормальный сердечный ритм ничем

не обеспокоенного рака (соответствующий зеленому сигналу), колеблется в зависимости от температуры воды от 30 до 60 ударов в минуту, а стресс-индекс обычно близок к нулю. В случае опасности частота сердечных сокращений резко повышается не менее чем на 50 %, а стресс-индекс возрастает до нескольких тысяч. При попадании в воду токсичных веществ раки реагируют в течение 1,5–2 мин (это время с учетом обработки данных). Их кардиоритм учащается – приборы дают сигнал тревоги (красный сигнал на мониторе диспетчера смены), по которому автоматически отбираются пробы воды для последующего подробного лабораторного анализа воды химическими и биологическими методами, и оповещаются все службы водопроводной станции. Для получения более точной реакции на изменения качества воды наряду с раками работают рыбки. Видеокамера постоянно фиксирует их движение. Если в воде обнаружится токсическое загрязнение, то это сразу отразится на поведении рыбок – они перестанут двигаться, всплывут вверх брюшком или опустятся на дно. А если в это время забеспокоятся и раки, то специалисты начнут предпринимать необходимые действия.

Важно понимать, что биоиндикация, выполняемая в природных полевых условиях, и биотестирование, проводимое в основном в лабораториях, – не отменяют систему аналитических, аппаратных методов контроля природной среды, а лишь дополняет ее новыми биологическими показателями. Используя биологические объекты, мы получаем, причем довольно быстро, знания о самом наличии загрязнения, о степени и характере влияния загрязнения на биоценоз или конкретные популяции. Что именно, какие конкретно вещества оказывают вредоносные действия методами биоиндикации определить сложно. В данном случае мы видим только последствия загрязнения почвы, акваторий или атмосферного воздуха. Поэтому для детализации оценки состояния среды, установления конкретных веществ оказывающих угнетающее влияние и их источников, обязательно необходимо производить отбор проб воздуха или воды с последующим их анализом в полевых или лабораторных условиях.

9.6.2. Метод расчета удельного комбинаторного индекса загрязнения воды

Впервые индекс загрязнения воды (ИЗВ) был установлен в СССР в 1988 г. В настоящее время используют удельный комбинаторный индекс загрязненности воды (УКИЗВ) – относительный комплексный показатель степени загрязненности поверхностных вод на основе руководящего документа РД 52.24.643-2002 «Метод комплексной оценки степени загрязненности поверхностных вод по гидрохимическим показателям». УКИЗВ условно оценивает в виде безразмерного числа долю загрязняющего эффекта, вносимого в общую степень загрязненности воды, обусловленную одновременным присутствием ряда загрязняющих веществ.

Принципиальную основу метода составляет сочетание дифференцированного и комплексного способов оценки качества воды. Целесообразность использования комплексной оценки определяется широтой спектра загрязнения водных объектов и степенью загрязненности воды.

Методической основой комплексного способа является однозначная оценка степени загрязненности воды водного объекта по совокупности загрязняющих веществ:

- для любого водного объекта в точке отбора проб воды;
- за любой определенный промежуток времени;
- по любому набору гидрохимических показателей.

В качестве норматива используют предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ для воды рыбохозяйственных водоемов, а также водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования – наиболее жесткие (минимальные) значения из совмещенных списков, рекомендуемых для подготовки информационных документов по качеству поверхностных вод. Для веществ, на которые нормативными документами предусмотрено их полное отсутствие в воде водных объектов, в качестве ПДК

условно принимается 0,01 мкг/дм. Конструктивной особенностью метода комплексной оценки степени загрязненности поверхностных вод по гидрохимическим показателям является проведение на первом этапе детального покомпонентного анализа химического состава воды и его режима и последующее использование полученных оценочных составляющих на втором этапе для одновременного учета комплекса наблюдаемых ингредиентов и показателей качества воды.

Уровень загрязненности воды данного водного объекта в конкретном пункте наблюдений, определяемый через относительную характеристику, рассчитанную по реальным концентрациям совокупности загрязняющих веществ и соответствующим им нормативам, является первым составным элементом метода комплексной оценки.

Частота обнаружения концентраций, превышающих нормативы, являющаяся косвенной оценкой продолжительности загрязнения воды, также характеризует меру воздействия загрязняющих веществ на качество водной среды и является следующим составным элементом рекомендуемого метода оценки.

Сочетание уровня загрязненности воды определенными загрязняющими веществами и частоты обнаружения случаев нарушения нормативных требований позволяет получить комплексные характеристики, условно соответствующие «долям» загрязненности, вносимым каждым ингредиентом и показателем загрязненности в общее качество воды.

Вклад отдельных загрязняющих веществ в общую загрязненность воды водных объектов в реальных условиях может определяться либо высокими концентрациями, наблюдаемыми в течение короткого промежутка времени, либо низкими концентрациями в течение длительного периода, либо другими возможными комбинациями рассматриваемых факторов оценки, учет которых должен вестись не параллельно по двум самостоятельным характеристикам, а одновременно через обобщенный показатель.

Качество воды водных объектов есть функция не только отдельных показателей химического состава воды, продолжительности, меры воздействия каждого из них и различных комбинаций этих оценочных характеристик, но также перечня и количества учитываемых в комплексной оценке загрязняющих веществ.

Принимая условие аддитивности действия токсических веществ при их одновременном присутствии, окончательный комплексный показатель качества воды определяется суммированием отдельных показателей, оценивающих вклад каждого загрязняющего вещества в отдельности.

Наиболее информативными комплексными оценками, получаемыми по данному методу являются:

- удельный комбинаторный индекс загрязненности воды (УКИЗВ);
- класс качества воды.

Значение УКИЗВ может варьировать в водах различной степени загрязненности от 1 до 16. Большему значению индекса соответствует худшее качество воды в различных створах, пунктах и т.д.

Классификация качества воды, проведенная на основе значений УКИЗВ, позволяет разделять поверхностные воды на 5 классов в зависимости от степени их загрязненности:

- I – условно чистая;
- II – слабо загрязненная;
- III – загрязненная;
- IV – грязная;
- V – экстремально грязная.

В качестве исходной информации используются результаты химического анализа проб воды в точке отбора. Расчет комплексных показателей проводится по результатам наблюдений за загрязненностью рек и водоемов, выполненных по единым методикам в лабораториях оперативно производственных подразделений УГМС Росгидромета. Это позволяет исключить влияние различий в результатах анализа, связанных с использованием разных методов определения отдельных ингредиентов. При необходимости можно использовать данные о химическом составе воды, полученные в других ведомствах, а также результаты каких-либо специальных наблюдений, проведенных научными, производственными и другими организациями.

Однако неперенным условием их использования является единая методологическая основа проведения отбора проб и химического анализа воды. Должна быть обеспечена сопоставимость исходных данных по количеству информации по каждому показателю, числу используемых показателей, их перечню, точности исходной информации и требуемой точности ожидаемых результатов. Перед началом расчетов определяют перечень ингредиентов и показателей, на основании которого рассчитываются комплексные показатели. Обязательный перечень № 1 используется при подготовке информационных материалов, он включает 15 ЗВ, наиболее характерных для большинства поверхностных вод всей территории РФ: кислород растворенный, БПК (биохимическое потребление кислорода), ХПК (химическое потребление кислорода), фенолы, нефтепродукты, нитрит-ионы, нитрат-ионы, Аммоний-ион, железо общее, медь, цинк, никель, марганец, хлориды, сульфаты.

Рекомендуемый перечень № 2 используется при расчете УКИЗВ для тех створов и пунктов, где есть необходимость, помимо веществ, указанных в обязательном списке, учесть специфические загрязняющие вещества. Данный перечень должен включать полностью обязательный перечень № 1, а также те специфические загрязняющие вещества, которые характерны для определенных водных объектов и имеют локальное распространение. К специфическим загрязняющим веществам могут относиться Hg, Cd, Pb, As, B, F, Al, формальдегид, анилин, метилмеркаптан, сульфиды и сероводород, хлор- и фосфорорганические пестициды и др.

Свободный перечень № 3 составляется для конкретных исследований или задач.

Осуществляют предварительную оценку степени загрязненности воды водных объектов с помощью коэффициента комплексности загрязненности воды. С помощью коэффициента комплексности загрязненности воды оценивается комплексность загрязненности воды в пробе, створе, пункте, водотоке и т.д. Расчет значения коэффициента комплексности загрязненности воды K проводится сначала для каждого результата анализа по формуле:

$$K_{fj} = \frac{N'_{fj}}{N_{fj}} 100\%, \quad (9.3)$$

где K_{fj} – коэффициент комплексности загрязненности воды в f -м результате анализа для j -го створа; N'_{fj} – количество нормируемых ингредиентов и показателей качества воды, содержание или значение которых превышает соответствующие им ПДК в f -м результате анализа для j -го створа; N_{fj} – общее количество нормируемых ингредиентов и показателей качества воды, определенных в f -м результате анализа для j -го створа.

Оцениваемый временной интервал характеризуется средним значением коэффициента комплексности K_j (9.4):

$$K_j = \frac{\sum_{f=1}^{n_{kj}} K_{fj}}{n_{kj}}, \quad (9.4)$$

где n_{kj} – число результатов химического анализа воды, для которых рассчитаны значения коэффициента комплексности в j -ном створе за k -й период времени. Для учета распространенности случаев высокого и экстремально высокого уровней загрязнения проводятся аналогичные расчеты коэффициентов комплексности загрязненности воды по значениям концентраций, соответствующих высокому и экстремально высокому уровням загрязнения. Расчет коэффициента комплексности высокого уровня загрязнения воды осуществляется по формуле:

$$K_{\text{ЭВЗ}fj} = \frac{N'_{\text{ЭВЗ}fj}}{N_{fj}} 100\%, \quad (9.5)$$

где $K_{\text{ЭВЗ}fj}$ – коэффициент комплексности высокого уровня загрязнения воды для f -го результата химического анализа в j -ном створе; $N'_{\text{ЭВЗ}fj}$ – количество нормируемых ингредиентов

и показателей качества воды, содержание или значение которых превышает соответствующие им критерии высокого загрязнения.

Коэффициент комплексности загрязненности воды используется непосредственно при интерпретации результатов расчета для характеристики водного объекта. Он является очень простой, но в то же время вполне достоверной характеристикой антропогенного воздействия на качество воды. Чем больше значение АГ, тем большая комплексность загрязненности присуща воде, тем хуже ее качество и тем большее влияние на формирование качества воды оказывает антропогенный фактор.

Увеличение коэффициента комплексности загрязненности свидетельствует о появлении новых загрязняющих веществ в воде анализируемого водного объекта. Рост его значений указывает как на то, что превышение ПДК наблюдается по более широкому перечню ингредиентов, так и на то, что уровень его весьма значителен. Абсолютные значения коэффициента комплексности загрязненности могут применяться для анализа современного состояния загрязненности воды водных объектов, выявления тенденции его изменения в многолетнем плане и для сравнения между собой уровней загрязнения воды различных водных объектов.

С помощью комбинаторного индекса загрязненности воды оценивается степень ее загрязненности по комплексу загрязняющих веществ, устанавливается класс качества воды. Комбинаторный индекс загрязненности воды может рассчитываться для любого створа, либо пункта наблюдений за состоянием поверхностных вод, для участка, либо акватории водного объекта, для водных объектов в целом, речных бассейнов, гидрографических районов и т.д. По мере укрупнения объекта изучения возрастает относительность расчетных характеристик. Это обстоятельство относится не столько к комбинаторному индексу, сколько к любому из показателей, характеризующих однозначно сложные и крупномасштабные природные системы. Однако, несмотря на это, их информативность и репрезентативность при наличии достаточного объема информации высока. До начала расчетов устанавливается период обобщения информации, зависящий от целей оценки и достаточности объема исходных данных. Комбинаторный индекс загрязненности воды может рассчитываться для любого периода времени: суток, декады, месяца, квартала, гидрологического сезона, полугодия, года, любого многолетнего периода при наличии достаточного числа проб.

Расчет значения комбинаторного индекса загрязненности и относительная оценка качества воды проводится в два этапа: сначала по каждому изучаемому ингредиенту и показателю загрязненности воды, затем рассматривается одновременно весь комплекс загрязняющих веществ и выводится результирующая оценка. По каждому ингредиенту за расчетный период времени для выбранного объекта исследований определяются следующие характеристики:

1. Повторяемость случаев загрязненности a_{ij} , т. е. частота обнаружения концентраций, превышающих ПДК (9.6):

$$a_{ij} = \frac{n'_{ij}}{n_{ij}} 100\%, \quad (9.6)$$

где n'_{ij} – число результатов химического анализа по i -му ингредиенту в j -ном створе за рассматриваемый период времени, в которых содержание или значение их превышает соответствующие ПДК; n_{ij} – общее число результатов химического анализа за рассматриваемый период времени по i -му ингредиенту в j -ном створе.

По значению повторяемости определяют характер загрязненности воды по устойчивости загрязнения. По значению повторяемости рассчитывается частный оценочный балл по повторяемости Sa_i . Определение баллов проводится с применением линейной интерполяции.

2. Среднее значение кратности превышения ПДК β_{ij} , рассчитанное только по результатам анализа проб, где такое превышение наблюдается. Результаты анализа проб, в которых концентрация загрязняющего вещества была ниже ПДК, в расчет не включают. Расчет ведется по формуле:

$$\bar{\beta}'_{ij} = \frac{\sum_{f=1}^{n'_{ij}} \beta_{ij}}{n'_{ij}}, \quad (9.7)$$

где $\beta_{ij} = \frac{C_{ijf}}{\text{ПДК}_i}$ – кратность превышения ПДК по i -ному ингредиенту в f -м результате химического анализа для j -створа створа; C_{ijf} – концентрация i -го ингредиента в f -м результате химического анализа для j -створа створа, мг/дм³. По значению кратности превышения ПДК определяют уровень загрязненности воды. По значению средней кратности превышения ПДК и данным специальных таблиц в РД 52.24.643-2002 рассчитывается частный оценочный балл по кратности превышения. Определение баллов проводится с применением линейной интерполяции.

3. Обобщенный оценочный балл S_{ij} по каждому ингредиенту. Он рассчитывается как произведение частных оценочных баллов по повторяемости случаев загрязненности и средней кратности превышения ПДК (9.8):

$$S_{ij} = Sa_{ij} + S\beta_{ij}, \quad (9.8)$$

где Sa_{ij} – частный оценочный балл по повторяемости случаев загрязненности i -м ингредиентом в j -ом створе за рассматриваемый период времени; $S\beta_{ij}$ – частный оценочный балл по кратности превышения ПДК i -го ингредиента в j -ом створе за рассматриваемый период времени.

Обобщенный оценочный балл дает возможность учесть одновременно значения наблюдаемых концентраций и частоту обнаружения случаев превышения ПДК по каждому ингредиенту. Значение обобщенного оценочного балла по каждому ингредиенту в отдельности может колебаться для различных вод от 1 до 16. Большему его значению соответствует более высокая степень загрязненности воды.

Затем определяются комбинаторный индекс и удельный комбинаторный индекс загрязненности воды по следующим формулам (9.9) и (9.10):

$$S_j = \sum_{i=1}^{N_j} S_{ij}, \quad (9.9)$$

где S_j – комбинаторный индекс загрязненности воды в j -ом створе; N_j – число учитываемых в оценке ингредиентов;

$$S'_j = \frac{S_j}{N_j}, \quad (9.10)$$

где S'_j – удельный комбинаторный индекс загрязненности воды в j -ом створе.

Удельный комбинаторный индекс загрязненности воды также используется для оценки уровня загрязненности и является весьма удобной и показательной характеристикой. Его использование обязательно, если расчеты проводили по разному числу ингредиентов.

Целесообразно выделение критических показателей загрязненности воды. Критическим показателем загрязненности считается такой показатель, для которого S_{ij} больше или равно 9, т. е. когда наблюдается устойчивая либо характерная загрязненность высокого или экстремально высокого уровней загрязненности и вода по своему качеству оценивается как «очень загрязненная» и «экстремально грязная». Для анализа состояния загрязненности используется перечень и число критических показателей загрязненности (КПЗ) воды F .

Классификация качества воды по степени загрязненности осуществляется с учетом следующих данных: комбинаторного индекса загрязненности воды, числа КПЗ воды, коэффициента запаса, количества учтенных в оценке ингредиентов и показателей загрязненности.

Коэффициент запаса k рассчитывается по формуле:

$$k = 1 - 0,1 F, \quad (9.11)$$

где F – число критических показателей загрязненности воды. Коэффициент запаса k вводится далее в градации классов качества воды дополнительно к комбинаторному индексу

загрязненности воды для ужесточения оценки в случае обнаружения концентраций, близких или достигающих уровней высокого или экстремально высокого загрязнения. Его значение уменьшается с увеличением числа КПЗ: от единицы при отсутствии КПЗ до 0,9 при 1 КПЗ и т.д. Коэффициент запаса рассчитывается при $F < 5$. Определение классов качества воды проводится на основе произведения указанных величин и последующего подбора соответствующей ему градации класса следующей классификации, как показано в табл. 9.4.

Число учитываемых ингредиентов или показателей загрязненности воды вводится в градации классов с целью достижения независимости установления класса качества воды от этой величины. Для более детальной оценки качества воды 3-й и 4-й классы разбиты соответственно на 2 и 4 разряда. В случае, когда $F > 6$ и $k < 0,4$, воду без расчетов относят к 5-му классу и оценивают как «экстремально грязная».

Табл. 9.4. Определение классов качества воды

1-й класс	— $1 \cdot N_f \cdot k$	— условно чистая;
2-й класс	— $(1 \cdot N_f \cdot k; 2 \cdot N_f \cdot k]$	— слабо загрязненная;
3-й класс	— $(2 \cdot N_f \cdot k; 4 \cdot N_f \cdot k]$	— загрязненная;
разряд „а”	— $(2 \cdot N_f \cdot k; 3 \cdot N_f \cdot k]$	— загрязненная;
разряд „б”	— $(3 \cdot N_f \cdot k; 4 \cdot N_f \cdot k]$	— очень загрязненная;
4-й класс	— $(4 \cdot N_f \cdot k; 11 \cdot N_f \cdot k]$	— грязная;
разряд „а”	— $(4 \cdot N_f \cdot k; 6 \cdot N_f \cdot k]$	— грязная;
разряд „б”	— $(6 \cdot N_f \cdot k; 8 \cdot N_f \cdot k]$	— грязная;
разряд „в”	— $(8 \cdot N_f \cdot k; 10 \cdot N_f \cdot k]$	— очень грязная;
разряд „г”	— $(10 \cdot N_f \cdot k; 11 \cdot N_f \cdot k]$	— очень грязная;
5-й класс	— $(11 \cdot N_f \cdot k; \infty]$	— экстремально грязная.

В практической работе для определения класса качества воды рекомендуется использовать рабочие формы классификации: условное разделение воды на классы по степени загрязненности; условное разделение воды на классы и разряды по степени загрязненности. Примеры расчета показателей комплексной оценки степени загрязненности поверхностных вод по гидрохимическим показателям и вспомогательные таблицы в виде Приложений приведены в руководящем документе РД 52.24.643-2002 «Метод комплексной оценки степени загрязненности поверхностных вод по гидрохимическим показателям», находящемся в свободном доступе.

9.6.3. Современные приборы-анализаторы

В настоящее время в России и за рубежом разработано значительное количество различных приборов-анализаторов, позволяющих оперативно и с высокой точностью определять различные количественные показатели экологических факторов водной и наземно-воздушной среды – концентрации в воде и в воздухе различных веществ, определять уровни атмосферного и подводного шума, радиоактивность, глубину водоемов и др. В последние годы наблюдается тенденция к увеличению скорости работы подобных приборов, их размеры становятся все более компактными, увеличивается количество функций, появляется возможность подключения к компьютеру для сохранения и анализа полученных данных. Многие из них имеют встроенные элементы питания и являются портативными – переносными, что дает возможность использовать их в экспедиционных исследованиях, в составе мобильных лабораторий быстрого реагирования.

Современное приборно-аналитическое оборудование, предназначенное для контроля гидрохимических и гидробиологических параметров, в том числе непосредственно в полевых условиях, должно соответствовать большинству следующих критериев:

- обладать низким энергопотреблением и возможностью работы от встроенных аккумуляторных источников питания;
- быть достаточно простым в применении и обслуживании, не требующем постоянного присутствия на судне или на стенде высококвалифицированных специалистов;

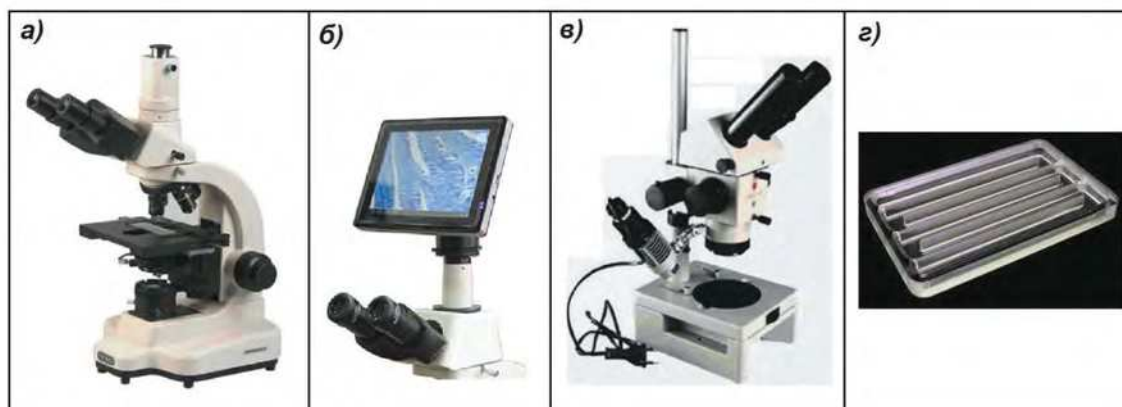


Рис. 9.15. Примеры гидробиологического аналитического оборудования:
а) микроскоп «Микмед-6» (Россия); б) цифровой комплекс визуализации и анализа микроорганизмов «КАИ-М» (Россия); в) бинокуляр «МБС-12» (Россия); з) счетная камера Богорова (Россия)

- обладать высокой степенью влаго- и пылезащищенности корпуса, с учетом возможного применения в судовых помещениях с высокой влажностью;
- иметь возможность оперативного анализа данных и представления результатов в стандартных единицах измерения, позволяющих провести их сравнительный анализ;
- приборно-аналитическое оборудование должно обладать внутренней памятью на несколько десятков измерений и возможностью подключаться для их передачи к персональному компьютеру;
- производители приборно-аналитического оборудования должны иметь сервисные центры в различных регионах России, в том числе в крупных портовых городах;
- с учетом требований импортозамещения, предпочтение отдается приборно-аналитическому оборудованию отечественного производства; возможность применения иностранных образцов допускается в исключительных случаях.

Для получения оценок эффективности обезвреживания воды питьевого или технического водоснабжения (например, балластной воды транспортных судов), целесообразно располагать микроскопом типа «Микмед-6» с цифровым модулем (мобильный цифровой комплекс) типа «КАИ-М», бинокуляр «МБС-12», производства ОАО «ЛОМО», а также счетные камеры и приборы вакуумного фильтрования планктона.

Для анализа гидрохимических характеристик балластной воды желательная располагать многофункциональными иономерами типа «АНИОН 7053», «МАРК-501» отечественного производства или набором портативных анализаторов солености воды, pH , концентрации кислорода – соответственно, таких как «МАРК-603», «МАРК-903», «МАРК-303Э» «МАРК-3010» с комплектующими. Кроме того, для контроля мутности воды также существует ряд портативных приборов – мутномеров, например типа «Turb 355 T/IR». Примеры аналитического гидробиологического и гидрохимического оборудования, которое может быть использовано в экологическом мониторинге, приведены на рис. 9.15 и 9.16.

Если стоит задача определить микробиологическую загрязненность воды, в том числе в процессе испытаний оборудования, предназначенного для ее обезвреживания (уничтожения микроорганизмов), кроме непосредственно анализов на наличие конкретных болезнетворных бактерий, целесообразно провести также экспресс-анализ методом люминесцентной микроскопии.



Рис. 9.16. Примеры гидрохимического аналитического оборудования: а) переносной анализатор солености воды-кондуктометр «МАРК-603» (Россия); б) переносной анализатор растворенного в воде кислорода «МАРК-303Э» (Россия); в) переносной анализатор концентрации ионов водорода (pH) в воде «МАРК-903» (Россия); з) анализатор мутности воды портативный «Turb 355 T/IR» (Германия)

Люминесцентная микроскопия биологических объектов основана на законе Стокса – свет люминесценции имеет большую длину волны, чем возбуждающий свечение. В результате этого при освещении объекта невидимыми ультрафиолетовыми (365 нм) или короткими сине-фиолетовыми лучами получают более длинноволновое свечение образца, обнаруживаемое глазом, т. е. лежащее в зоне видимой части спектра.

Микроскопия в УФ-лучах дает возможность наблюдать люминесценцию любого цвета, в то время как использование сине-фиолетового света позволяет определять без искажения только желтый, зеленый, оранжевый и красный цвета и их оттенки. Белая и голубая люминесценция в последнем случае будет казаться желто-зеленой.

При люминесцентной микроскопии яркость свечения зависит от яркости возбуждающего света. При недостаточной яркости свечения микроскопируемых объектов нередко приходится прибегать к затемнению помещения, что нежелательно при проведении других работ в лаборатории. Если яркость света в помещении составляет 0,7–0,8 % яркости свечения объекта, то затемнение не требуется. Люминесцентная микроскопия позволяет установить свечение веществ, содержание которых не ниже $1 \cdot 10^{-10}$ – $1 \cdot 10^{-12}$ г. С биноклярной насадкой при люминесцентной микроскопии работать легче, но она ослабляет четкость свечения.

Различают несколько типов люминесцентной микроскопии в зависимости от характера освещения. При освещении объекта проходящим светом (обычный путь освещения) имеют дело со светлопольной люминесцентной микроскопией. Замена светлопольного конденсора конденсором темного поля дает возможность осуществить люминесцентную микроскопию в темном поле (люминесцентная ультрамикроскопия). В случае освещения объекта сверху – имеют дело с люминесцентной микроскопией в падающем (отраженном) свете. Для люминесцентной микроскопии используют просветленные и обычные ахроматические объективы, окуляры Гюйгенса и компенсационные окуляры. Из-за люминесценции линз под действием возбуждающего света апохроматы не применяют.

Для люминесцентной микроскопии объектов используют несколько наборов фильтров: для возбуждения сине-фиолетовым, для микроскопии в сине-фиолетовых лучах, для микроскопии в УФ-лучах.

Портативный анализатор-люминометр Ultrasnap (рис. 9.17), разработанный с применением современных технологий и электроники очень прост в эксплуатации, весьма чувствителен и точен в результатах. Прибор используется крупнейшими мировыми производителями пищевых продуктов, а также во многих больницах, и на производствах, где важно быстро выявить микробиологическое загрязнение. Люминометр Celsis CellScan Innovate (Великобритания) позволяет мгновенно определять степень очистки, а также



Рис. 9.17. Люминометр анализатора-люминометра Ultrasnap:
а) общий вид прибора; б) последовательность стадий выполнения анализа

санитарный уровень различных поверхностей, в том числе воды, способствует обеспечению безопасности пищевых продуктов и водных растворов.

Данный прибор обладает следующими техническими характеристиками:

- количество измеряемых образцов – до 164;
- получение результатов через 15 сек;
- высокая чувствительность (10^{-15} степени моля АТФ = 1 RLU);
- диапазон измерений: от 0 до 9999 RLU;
- включает программу компьютерного анализа данных;
- возможность автокалибровки;
- 100 встроенных программ диагностики;
- способность сохранять в памяти до 500 результатов измерений;
- простота в использовании и управлении меню посредством клавиатуры;
- компактность и лёгкость (вес: 260 г);
- питание от 2-х батареек АА.

Для тестирования воды необходимо извлечь тампон из пробирки Ultrasnap, произвести смыв с твердой поверхности, с площади 100 см² или обмакнуть тампон на 5–10 сек в жидкий образец. Поместить тампон в пробирку Ultrasnap, переломить стержень запорного клапана, согнув колпачок тампона. Выдавить жидкий реагент из колпачка на тампон и встряхнуть пробирку Ultrasnap вместе с тампоном в течение 5 сек. Для измерения уровня АТФ необходимо поместить пробирку Ultrasnap вместе с тампоном в гнездо люминометра, закрыть крышку прибора и произвести измерения. Результаты анализа эффекта бактерицидного обезвреживания воды готовы через 15 сек. На заключительном этапе возможна передача данных измерений на компьютер и в дальнейшем направление их через телекоммуникационные каналы связи в пункты принятия управленческих и технологических решений, в том числе на борту судна.

Люминотестер Lumitester PD-20 – простой в использовании, компактный и доступный по цене люминометр для мониторинга микробиологического загрязнения сточных и балластных вод. Прибор совместно с набором реактивов обеспечивает: быструю и простую проверку бактериального загрязнения водной среды; крайне легкую возможность проверки остаточного загрязнения производственной линии благодаря одновременному измерению АТФ и АМФ; тестирование на стерильность для исследуемых растворов.

Основные технические характеристики люминотестер Lumitester PD-20:

- легкий и компактный прибор (65 × 175 × 32 мм, вес 235 г);
- предел чувствительности: 10–15 молекул АТФ / исследование;
- короткое время измерения: – 10 сек / образец;
- возможность сохранения значительного объема данных: 2000 последних исследований в памяти прибора;
- жидко-кристаллический монитор, RS232 интерфейс, с дополнительным кабелем для передачи данных на компьютер;
- автономное электропитание: щелочные батарейки 1.5 × 2 R6, размер АА;
- программное обеспечение, которое переводит данные в формат Excel.

Более подробная характеристика технических особенностей люминотестера Lumitester PD-20 представлена в таблице 1.1, а внешний вид прибора – на рис. 9.18.

На рис. 9.19 изображен стационарный лабораторный анализатор-люминометр Advance Celsis (Нидерланды) в процессе анализа микробиологической загрязненности различных водных растворов. Данный прибор обладает следующими характеристиками:

- эффективен в широком спектре образцов, включая фильтруемые и нефилтруемые;
- не разрушающий тест, позволяющий дальнейшие исследования;
- используется для определения большого количества микроорганизмов; положительные и грамм отрицательные, дрожжей, плесени;
- все реагенты изготовлены согласно стандартам ISO 9001;
- небольшие размеры прибора с большой вместимостью образцов (до 164);
- легко программируемый для выбора требуемого протокола.

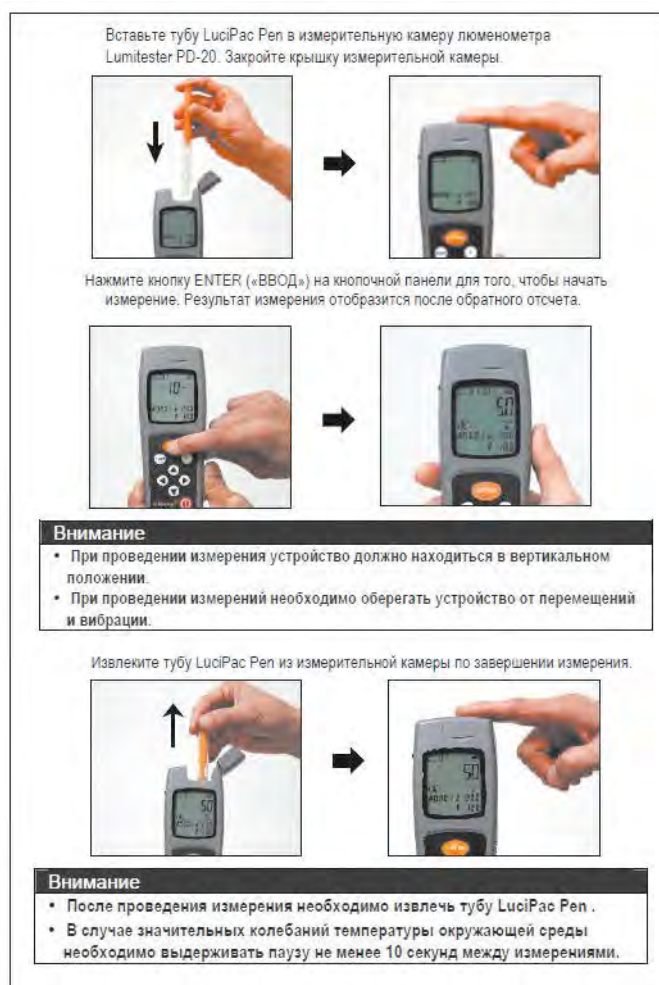


Рис. 9.18. Люминотестер «Lumitester PD-20» и последовательность работы с ним



Рис. 9.19. Анализатор-люминетр Celsis International (Нидерланды) в процессе проведения анализов микробиологического материала

В ходе работы исследуемый препарат водорослей помещают на предметный столик люминесцентного микроскопа и рассматривают в падающем сине-фиолетовом свете (λ_{max} 435 нм). При этом варианте микроскопирования световой пучок от ртутно-кварцевой лампы – источника УФ-лучей – фокусируется на предметном стекле, отражается от препарата и попадает в глаз наблюдателя через окуляр, защищенный специальным светофильтром. Важное значение имеет техника приготовления препарата. Для плотных суспензий водорослей с размерами клеток более 10 μ микроскопируют каплю исследуемого образца. Ее наносят на предметное стекло, прикрывают покровным и микроскопируют. Аналогично готовят препарат из нитчатых форм водорослей (микроскопируют пучок нитей или дерновинку).

Для неплотных суспензий водорослей с размерами клеток в пределах 4–7 μ необходимо провести предварительное сгущение образца. Это делают либо путем центрифугирования – микроскопируют осадок, либо после фильтрования определенного объема суспензии (1–10 мл) через мембранный фильтр № 5, 6. Для колониальных организмов с размерами колоний более 100 μ допустимо применение обычных лабораторных фильтров (плотные фильтры с белой лентой). Фильтр с водорослями помещают на предметное стекло, слегка смачивают водой, если он подсох, накрывают покровным стеклом и микроскопируют. Для просветления препарата поверх покровного стекла наносят каплю анизол, что способствует более четкой видимости объекта [6, 9].

Фильтры в ультрафиолетовых лучах светятся желтовато-зеленым светом (фон). Однако это не мешает микроскопии клеток – они четко различаются на фоне фильтра.

Живые клетки водорослей имеют ярко-красную флуоресценцию. Иного типа свечение характерно для отмирающих и мертвых клеток. Особенно разнообразная гамма световых переходов у отмирающих клеток. Изменение спектра свечения клеток водорослей от живых к мертвым проходит по следующим фазам: 1) ярко-красное; 2) тускло-бордовое или розово-красное; 3) оранжево-розовое; 4) голубовато-зеленое; 5) оливково-зеленое. Последние оттенки световой гаммы характерны для мертвых клеток и детрита. Промежуточные оттенки свечения характерны для различных степеней отмирания клеток.

При микроскопировании препарата подсчитывают количество клеток водорослей с различными оттенками свечения и затем рассчитывают соотношение клеток различного физиологического состояния в исследуемом образце.

По характеру свечения в УФ-лучах можно с достаточной точностью диагностировать степень жизнеспособности клеток водорослей. Однако глазомерные оценки интенсивности свечения требуют выражения их в определенных и достаточно объективных количественных показателях. Например, яркое пурпурно-красное свечение характерно для хлорофиллсодержащих клеток наиболее высокой жизнеспособности. Как правило, это клетки, находящиеся в активном состоянии, интенсивно делящиеся или готовые к делению (логарифмическая или экспоненциальная фаза роста). Красное свечение меньшей яркости характерно для клеток, находящихся на стационарной фазе роста. Тускло-красным цветом светятся старые клетки с ослабленной жизненной активностью. Оранжево-красный оттенок свечения дают клетки отмирающие, угнетенные под влиянием какого-либо фактора. Бледно-оранжевое свечение дают клетки с очень низким уровнем жизненной активности.

Спектрофотометр WETLabs Water Quality Monitor, представленный на рис. 9.20, представляет собой многопараметрический зонд для измерения температуры, солености, концентрации фитопигментов, концентрации взвеси, концентрации растворенного кислорода. Прибор опускается с палубы исследовательского судна на лебедке.

Технические характеристики спектрофотометра WETLabs Water Quality Monitor следующие: размеры 65 × 18 см; материал корпуса – ацеталь; масса – 5,4 кг на воздухе, 1,8 кг в воде; глубина использования – до 200 м; рабочая температура измерения: от –5 до +35 °C (точность 0,002 °C); измерение солености воды в диапазоне от 0 до 90 мСм/см (точность 0,003 мСм/см); измерение концентрации кислорода: до 120 % насыщения (точность 2 % нас.); измерение концентрации фитопигментов: до 250 мкг/л (точность 2 % шкалы); измерение взвеси: до 25 нефелометрических единиц (длина волны 700 нм); интерфейс вывода данных на компьютер: RS-232; датчики защищены от био-обрастания.



Рис. 9.20. Спектрофотометр WETLabs Water Quality Monitor

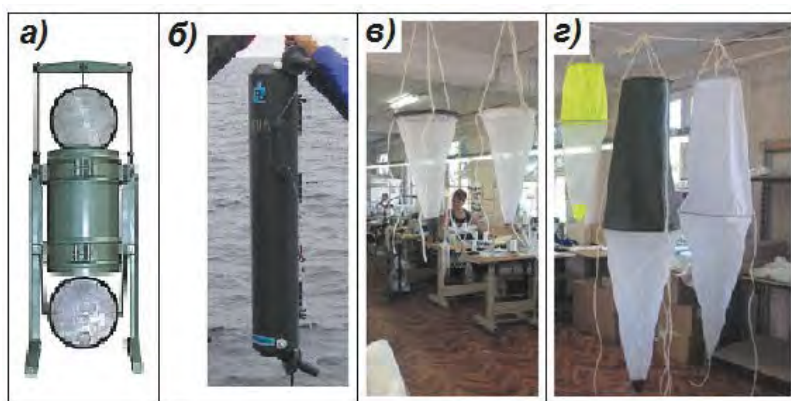


Рис. 9.21. Технические средства для ручного отбора проб воды:
 а) планктобатор типа «ПБ-10» (Россия); б) батометр типа Нискина (Россия);
 в) планктонная сеть типа Апштейна (Россия); г) планктонная сеть типа Джели (Россия)

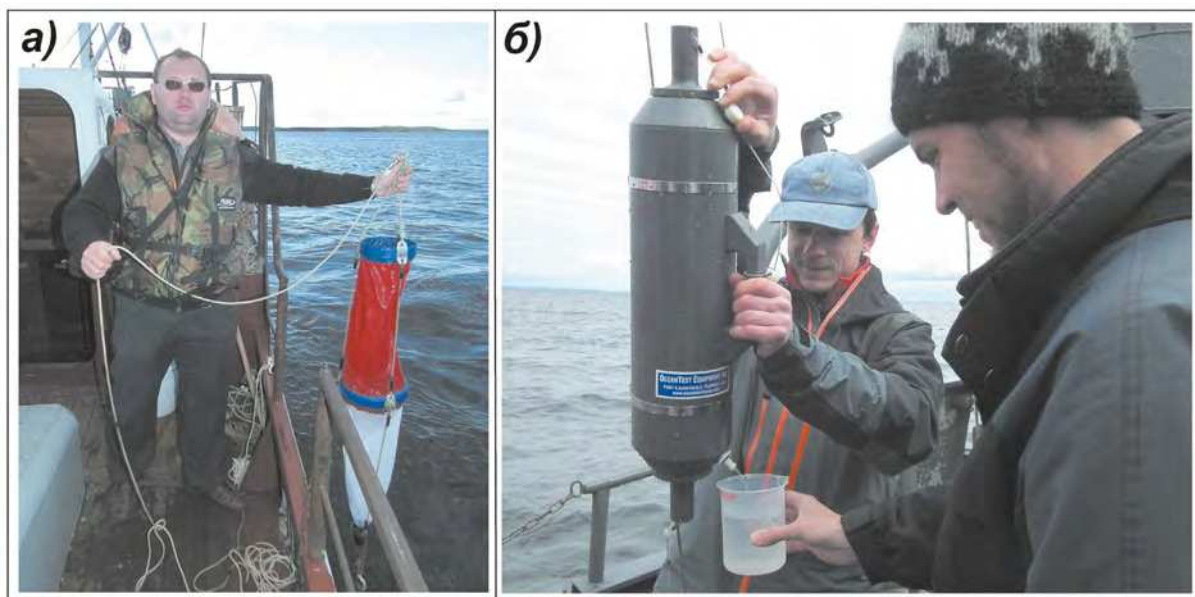


Рис. 9.22. Технические средства для ручного отбора проб воды
 (фото В.Д. Дроздова, Белое море, Кандалакшский залив, 2013 г.): а) количественная сеть системы Джели
 для отбора проб зоопланктона; б) пластиковый батометр, слив пробы воды

Для отбора проб воды и различных микроорганизмов, находящихся в ней, с целью дальнейшего анализа используют средства ручного или механизированного отбора (рис. 9.21–9.23).

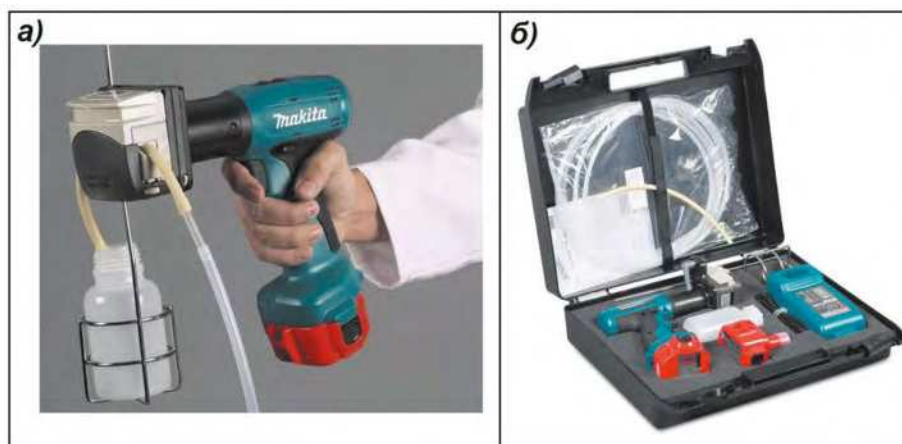


Рис. 9.23. Вакуумный насосный пробоотборник «ПрофиСамплер» с автономным электропитанием для отбора микробиологических проб: а) рабочее функционирование; б) комплект поставки

Пробы воды на микробиологический (бактериальный) анализ возможно отбирать вакуумным насосным пробоотборником «ПрофиСамплер» с автономным электропитанием (рис. 9.23). В данном случае отбор проб осуществляется через погружной шланг или из сливного крана батометра или из специального резервуара для отбора проб.

Таким образом, современный эколог, для эффективного выполнения своих должностных обязанностей, должен владеть методиками работы с различными приборами, в зависимости от поставленных производственных задач и условий. Сбор и анализ данных, получаемых в ходе экологического мониторинга, производственного контроля, необходим для оценки текущего состояния водных и наземных экосистем. Кроме того, полученные результаты и научные выводы являются основой для оценки воздействия на окружающую среду планируемой деятельности.

9.7. Современные способы и методы очистки воды

Системы водочистки являются неотъемлемой частью современной жизни и практически все потребители (от частных лиц до предприятий) нуждаются в качественной и правильно подготовленной воде.

Реализованные в них методы и технологии бывают разными, с особенностями каждого варианта стоит познакомиться заранее.

В зависимости от принципа действия выделяют следующие способы очистки воды:

- физические (грубая механическая чистка);
- химические (смешение воды с реагентами);
- физико-химические (сложные комплексные мероприятия);
- биологические (воздействие живых микроорганизмов).

Физические методы предназначены для очищения воды от твердых крупнофракционных частиц (чаще всего – нерастворимых). Они успешно задействуются на этапах первичной и грубой очистки и в разы реже – при глубоких и тонких воздействиях.

Среди главных физических методов выделяют следующие.

Процеживание – очищение жидкостей от крупнофракционных посторонних включений при проходе через ячеистые прослойки (сетки, решетки, полипропиленовую мешковину). К преимуществам этого метода относят простоту и эффективное улавливание крупного мусора, к минусам – потребность в частой промывке фильтрующих элементов, пропускание патогенных микроорганизмов, солей и любых мелких нежелательных примесей.

Отстаивание – осаждение посторонних фракций под действием собственного веса вниз с последующим отбором более чистой воды. Этот метод используется как на

предварительных, так и на промежуточных этапах водоподготовки, его производительность существенно ограничена временем и объемами отстойников.

Фильтрация – схожий с процеживанием, но более совершенный метод, позволяющий очищать воду от ненужных примесей с разным размером фракций (минимальный порог – до микронов) при прохождении через пористый фильтрующий слой. Метод активно используется в быту и на производстве, из всех физических видов он считается самым эффективным.

УФ-дезинфекция – обработка предварительно очищенной от крупных фракций воды УФ-лучами с длиной волн в пределах 200–300 (чаще всего 253) нм с целью обеззараживания. Состав и физические свойства жидкости этот метод не меняет.

Химические методы ценятся за эффективность и высокую производительность. Разложение, преобразование или выпадение в осадок загрязнителей при их применении происходит в кратчайшие сроки вне зависимости от объема обработки.

Исходя из вида протекающих реакций, выделяют следующие химические методы водоочистки.

1. **Нейтрализация** – выравнивание РН-баланса воды за счет добавления особых реагентов (аммиачной воды, гидроксидов калия или натрия, кальцированной соды) или ее пропускании через кислые газы. Чаще всего к этому методу обращаются при регенерации промышленных стоков, забираемая из скважин или водоемов вода изначально имеет нейтральную среду и корректировке баланса не нуждается.

2. **Окисление** – обезвреживание токсичных водных растворов и хлорирование воды при добавлении активных окислителей. Несмотря на высокую эффективность (микроорганизмы убиваются быстро и надолго), метод считается опасным для здоровья человека.

3. **Очистка восстановлением.** Данный метод выбирается при высокой доле легко восстанавливаемых веществ в исходной воде или стоках. При его выборе из воды удаляются ряд простых и переходных металлов и минералов (хрома, ртути или мышьяка) и их соединений.

Физико-химические методы представлены комплексными методами с широким спектром применения, используемыми на любых этапах очистки и водоподготовки.

Очистка воды при их выборе осуществляется самыми разными способами, включая воздействие растворенных газов, тонкодисперсных сред и изменение ионного состояния молекул. Особенности наиболее востребованных физико-химических методов представлены в табл. 9.5.

Табл. 9.5. Основные физико-химические методы очистки воды

Название	Краткое описание метода	Оптимальное применение / возможные ограничения
Флотация	Отделение и подъем твердых гидрофобных частиц при пропускании сквозь толщу воды пузырьков воздуха или других инертных газов. Формируемая на поверхности пена или прослойка легко удаляется механическими способами.	Очистка жидкостей от нефтепродуктов и масел, удаление твердых примесей при низкой эффективности других методов.
Сорбция	Избирательная фильтрация ненужных примесей при поверхностном или объемном прохождении воды через материалы с пористой структурой (силикагели, уголь и их аналоги). Используемые сорбенты могут быть восстанавливаемыми или утилизируемыми после потери фильтрационных свойств.	Удаление ПАВ, пестицидов, фенолов, процессы доочистки.
Экстракция	Заливка в очищаемую воду мало- или несмешиваемых веществ, растворяющих грязь, с последующим активным перемешиванием, отстаиванием и разделением разнофазных сред.	Удаление органических соединений, включая фенолы, регенерация стоков.
Ионообмен	Обмен ионами между очищаемой водой и природными (цеолиты, сульфогли) или искусственными (синтетические смолы) ионитами.	Умягчение воды / метод не предназначен для бытовой очистки больших объемов сильнозагрязненной воды.
Электролиз	Очищаемая вода последовательно проходит камеры с ионоселективными мембранами и электродами постоянного тока. В первых камерах вода избирательно обессоливается, в крайних – накапливает концентрат солей с последующим разделением.	Обессоливание и удаление нежелательных ионов. Регенерация стоков на химических предприятиях.

Название	Краткое описание метода	Оптимальное применение / возможные ограничения
Обратный осмос	Вода пропускается через мембраны с микроскопическими ячейками под избыточным гидростатическим давлением с последующей утилизацией выделенного загрязненного раствора.	Обессоливание, отделение нежелательных микроорганизмов, растворенных газов и коллоидных веществ.
Термические методы	Суть данных методов состоит в получении дистиллята или максимально очищенной воды после ее выпаривания, вымораживания или термического окисления (распыление и пропускание через высокотемпературные продукты сгорания).	Нейтрализация или удаление токсичных или слабо разлагающихся примесей.

Биологические методы используются преимущественно для очищения сточных вод коммунально-бытового происхождения вод и основываются на использовании живых организмов – прежде всего бактерий (окисляющие и разрушающие токсичные и азотосодержащие соединения, поглощающие фосфаты), простейших грибов и водорослей. Иногда применяются и многоклеточные животные – черви, насекомые. Бактерии используют в виде активного ила и зооглеей.

Очистка вод биологическими методами проводится в:

- 1) естественных или искусственных водоемах, очищающих сравнительно небольшие объемы воды со средней степенью загрязненности при минимуме усилий и затрат;
- 2) биофильтрах – специальных сооружениях с фильтрующей прослойкой из аэробных микроорганизмов с естественным или принудительным воздухообменом;
- 3) аэротенках – сложных автоматизированных комплексах с принудительной аэрацией;
- 4) метатенках – устройствах анаэробного брожения для переработки концентрированных стоковых осадков.

Современные технологии очищения

В современных системах водоподготовки приведенные методы используются в комплексе. Примером служат многоступенчатые бытовые фильтры с механическими предфильтрами, ионообменными или сорбционными картриджами и обратноосмотическими мембранами. Такие установки обеспечивают полноценную подготовку питьевой воды вне зависимости от ее исходных параметров.

К инновационным тенденциям в сфере водоподготовки относят:

- отказ от метода хлорирования в пользу озонирования (окисление жидким кислородом) и/или УФ-обработки;
- использование ультрафильтров и нанофильтрационных мембран с пониженной селективностью;
- вывод взвесей и растворенных органических примесей с помощью электроприборов фотокатализа.

При всех своих преимуществах такие технологии нельзя назвать бюджетными – соответствующие фильтры, мембраны и другие расходные материалы обходятся дорого и в быту не окупаются.

Проверенные новые методы (ионо-обмен, обратный осмос, многоступенчатое исполнение фильтра), наоборот, становятся более доступными для частных лиц.

Фильтрация на предприятиях

Взаимосвязь между областью использования и требуемым типом системы водоподготовки отражена в табл. 9.6.

Табл. 9.6. Отрасли производства и функции основной линии водоподготовки

Отрасль производства	Требуемые функции основной линии водоподготовки
Металлургия	Обессоливание

Отрасль производства	Требуемые функции основной линии водоподготовки
Пищевая промышленность	Обеспечение ионного обмена, обеззараживание, умягчение
Добыча и переработка нефти и газа	Исключение посторонних примесей, обезжелезивание, обратный осмос
Энерго-, тепло- и водоснабжение	Обессоливание, УФ-фильтрация, хлорирование или озонирование
Фармацевтика	Обратный осмос, дистилляция

В целях экономии средств приведенные методы реализуются в комплексе с механическим фильтрованием.

Отдельные требования выдвигаются к системам переработки стоков предприятий химической или металлургической отрасли, отбираемый концентрат может быть ценным или нуждаться в обязательной утилизации.

Полный цикл переработки сточных вод на производстве включает:

- 1) подачу стоков на усреднитель при необходимости разбавления;
- 2) отстаивание механическим способом;
- 3) основную чистку (активное использование живых организмов);
- 4) глубокую чистку (удаление всех посторонних примесей с помощью обратноосмотических мембран или тонких фильтров);
- 5) обеззараживание (УФ-обработка, хлорирование, озонирование).

Выделяемый на 2, 3 и 4 стадиях осадок в обязательном порядке регенерируется или утилизируется. Эти процессы происходят в метатенках, отжимных или сушильных аппаратах.

К дорогостоящим физико-химическим методам прибегают лишь при повышенных требованиях к чистоте состава или при низкой результативности других способов.

Бытовое очищение стоков требует меньше затрат. Владельцы индивидуальных домов, но подключенных к канализационным сетям используют септики (как с днищем, так и без), сорбенты или коагулянты.

Вторичное использование очищенных стоков практикуется редко. При соблюдении ряда условий вода может направляться в системы полива растений.

Особо стоит проблема удаления опасных токсикантов – тяжелых металлов, таких как свинца, хрома, кадмия, никеля и др. Потребность в принятии дополнительных мер возникает при отклонении ПДК тяжелых металлов в воде от санитарно-гигиенических норм. Для удаления этих веществ в быту и промышленности используются основные химические и физико-химические методы представленные в табл. 9.7.

Табл. 9.7. Основные химические и физико-химические методы очистки воды от тяжелых металлов

Тип металла	Допустимая концентрация в воде, не более мг/л	Рекомендуемый метод очистки воды
Марганец и железо	0,1	Ионообмен, аэрация с последующей подачей в засыпной фильтр с каталитическим зарядом, окисление гипохлоритом натрия, дозированная подача сильнодействующих окислителей
Свинец	0,03	Обратный осмос, окисление и восстановление
Ртуть	0,001	Обратный осмос, а также окисление и восстановление
Хром	0,05	Окисление, обратный осмос и восстановление
Никель	0,1	Окисление и восстановление

Системы обратного осмоса при несомненной эффективности редко используются из-за дороговизны и ускоренного использования ресурсов мембран. Рекомендуется выбрать систему обратного осмоса при очищении воды с высоким (от 20 мг/л) содержанием двухвалентного железа или невозможности использования других способов.

Приведенные методы непрерывно совершенствуются и дополняют друг друга, при выборе конкретного варианта стоит ознакомиться с их особенностями и возможными ограничениями заранее. Ни один из методов, который существует, нельзя назвать универсальным, при правильной организации водоподготовки они задействуются в комплексе.

Вне зависимости от выбранного метода к потребителю или на промышленные объекты подается вода с контролируруемыми параметрами.

9.8. Современные способы и методы очистки воздуха

Промышленные предприятия выбрасывают в атмосферу большое количество вредных веществ. Примеси атмосферного воздуха, поступающие в окружающую среду с промышленными выбросами, неблагоприятно действуют на организм человека, растений, животных и биогеоценозы в целом.

В воздух поступают аэрозольные частицы (пыль, дым, туман), газы, пары, а также микроорганизмы и радиоактивные вещества. На современном этапе для большинства промышленных предприятий очистка вентиляционных выбросов от вредных веществ является одним из основных мероприятий по защите воздушного бассейна. Благодаря очистке выбросов перед их поступлением в атмосферу предотвращается загрязнение атмосферного воздуха. Очистка воздуха имеет важнейшее санитарно-гигиеническое, экологическое и экономическое значение. Под атмосферным загрязнением понимают присутствие в воздухе газов, паров, частиц, твердых и жидких веществ, тепла, колебаний, излучений, которые неблагоприятно влияют на растения, животных, человека, климат, материалы, здания и сооружения. Загрязнение атмосферы может происходить как вследствие преобразования ее компонентов, так и переноса загрязняющих веществ из других частей биосферы. Эти процессы могут иметь природный или антропогенный характер. Вещества, попадающие в атмосферу непосредственно из-за человеческой деятельности, обычно относят к антропогенным выбросам и загрязнителям.

Выбросы в атмосферу различают по виду, составу, количеству, агрегатному состоянию, характеру появления и пребывания в атмосфере, влиянию на биосферу и множеству других признаков. Классификации антропогенных выбросов, пригодной для изучения их свойств с целью подбора способов очистки, пока нет. В стандартной классификации загрязнители разделены на 4 класса по агрегатному состоянию: газо- и парообразные, жидкие, твердые и смешанные. По химическому составу они делятся на группы, а в зависимости от размера частиц – на подгруппы. Например, твердые выбросы подразделяются на 4 подгруппы с размерами частиц, мкм: менее 1; 1–10; 10–50 и более 50. В атмосферу Земли ежегодно поступает 150 млн т различных аэрозолей, около 1 куб. км пылевидных частиц искусственного происхождения. Еще большее разнообразие свойственно органической пыли, включающей алифатические и ароматические углеводороды, соли кислот. Она образуется при сжигании остаточных нефтепродуктов, в процессе пиролиза на нефтеперерабатывающих, нефтехимических и других подобных предприятиях.

Итак, существуют 2 основных источника загрязнения атмосферы:

- стационарные источники (промышленные предприятия, топливноэнергетический комплекс, сельское хозяйство, горнодобывающая промышленность;
- передвижные источники (транспорт).

Основными источниками искусственных аэрозольных загрязнений воздуха являются ТЭС, которые потребляют уголь высокой зольности, обогатительные фабрики, металлургические, цементные, магнезитовые и сажевые заводы. Аэрозольные частицы от этих источников отличаются большим разнообразием химического состава. Чаще всего в их составе обнаруживаются соединения кремния, кальция и углерода, реже – оксиды металлов: железа, магния, марганца, цинка, меди, никеля, свинца, сурьмы, висмута, селена, мышьяка, бериллия, кадмия, хрома, кобальта, молибдена. Источником пыли и ядовитых газов служат массовые взрывные работы. Так, в результате одного среднего по массе взрыва (250–300 т взрывчатых веществ) в атмосферу выбрасывается около 2 тыс. куб. м. условного оксида углерода и более 150 т пыли. Производство цемента и других строительных материалов также является источником загрязнения атмосферы

пылью. Основные технологические процессы этих производств – измельчение и химическая обработка шихт, полуфабрикатов и получаемых продуктов в потоках горячих газов всегда сопровождается выбросами пыли и других вредных веществ в атмосферу.

Загрязнение воздуха вызывает значительные экономические потери. Запыленность и загазованность воздуха в производственных помещениях приводит к снижению производительности труда, потере рабочего времени из-за увеличения заболеваемости. Во многих производствах наличие пыли в воздушной среде ухудшает качество продукции, ускоряет износ оборудования. В процессе производства, добычи, транспортирования многих видов материалов, сырья, готовой продукции часть этих веществ переходит в пылевидное состояние и теряется (уголь, руда, цемент и др.), загрязняя в то же время окружающую среду. Потери на ряде производств составляют до 3–5 %. Велики также потери из-за загрязнения окружающей среды. Мероприятия по уменьшению последствий загрязнения обходятся дорого.

Аэрозоль представляет собой дисперсную систему, в которой дисперсной средой является газ, в частности, воздух, а дисперсной фазой – твердые или жидкие частицы. Наиболее мелкие (тонкие) аэрозольные частицы по размерам близки к крупным молекулам, а для наиболее крупных наибольший размер определяется их способностью более или менее длительное время находиться во взвешенном состоянии. В атмосфере аэрозольные загрязнения воспринимаются в вид дыма, тумана, мглы или дымки. Значительная часть аэрозолей образуется в атмосфере при взаимодействии твердых и жидких частиц между собой или с водяным паром. Средний размер аэрозольных частиц составляет 1–5 мкм. К аэрозолям относятся пыли, туманы и дымы. Пылями называют дисперсионные аэрозоли с твердыми частицами, независимо от дисперсности. Пылью обычно также называют совокупность осевших частиц (гель или аэрогель). Под туманами понимают газообразную среду с жидкими частицами как конденсационными, так и дисперсионными, независимо от их дисперсности. Дымами называют конденсационные аэрозоли с твердой дисперсной фазой или включающие частицы и твердые, и жидкие. В процессах пылеулавливания весьма важны физико-химические характеристики пылей и туманов, а именно: дисперсный (фракционный) состав, плотность, адгезионные свойства, смачиваемость, электрическая заряженность частиц, удельное сопротивление слоев частиц и др. Для правильного выбора пылеулавливающего аппарата необходимы, прежде всего, сведения о дисперсном составе пылей и туманов.

Под обезвреживанием воздушно-газовых выбросов понимают отделение от газа аэрозольных примесей или превращение в безвредное состояние загрязняющих примесей. Процесс обеспыливания воздуха в общем виде включает следующие основные этапы: предотвращение распространения «исходной» аэродисперсной системы в воздухе рабочей зоны и увеличения устойчивости этой системы в направлении строго ограниченной заранее выделенной области (процесс пылеулавливания); разрушение пылевого аэрозоля, заключающегося в выделении пыли из воздуха (процесс пылеочистки); дальнейшее снижение устойчивости пылевого аэрозоля, сохранившегося после реализации предыдущих этапов, заключающееся в интенсификации распространения оставшихся в воздухе пылевых частиц и аэрации дисперсной среды в приземном слое атмосферы (процесс рассеивания пыли).

На каждом этапе предусматривается введение искусственных аэродисперсных систем или организация направленных внешних силовых полей. Процесс обеспыливания включает 3 элемента: пылеулавливание (ПУ), пылеочистку (ПО) и рассеивание пыли (РП). Каждый элемент системы можно реализовать различными методами (аэродинамическим, гидродинамическим, электромагнитным, теплофизическим, механическим и др.), которые определяются характером направленных внешних воздействий на пылевой аэрозоль. Любой метод может быть осуществлен различными способами (орошением, пеной, паром, туманом и др.), а способ – техническими средствами. Основным элементом систем пылеочистки является аппарат очистки воздуха от пыли. Среди исходных данных для выбора способов, технических средств и параметров пылеулавливания наиболее важным являются технологические и пылеаэродинамические.

Наиболее полная классификация аппаратов основывается на использовании следующих способов обеспыливания:

– *физические*: механический (аэродинамический, гидродинамический, фильтрационный), электрический, магнитный, акустический, оптический, ионизирующий, термический;

- химический;
- физико-химический;
- биохимический;
- физико-биохимический.

Каждый из указанных способов имеет определенную область применения и широту использования. В своей основе они базируются на одном (или нескольких) из следующих процессов обеспыливания: осаждения, коагуляции, удаления, обеззараживания, сжигания и улавливания. Для обезвреживания аэрозолей (пылей и туманов) используют сухие, мокрые и электрические методы. В основе сухих методов лежат гравитационные, инерционные, центробежные механизмы осаждения или фильтрационные механизмы. При использовании мокрых методов очистка газовых выбросов осуществляется путем тесного взаимодействия между жидкостью и запыленным газом на поверхности газовых пузырей, капель или жидкой пленки. Электрическая очистка газов основана на ионизации молекул газа электрическим разрядом и электризации взвешенных в газе частиц. При обработке выбросов, содержащих твердые аэрозольные загрязнители, низких величин проскока (1–2 % и менее) можно достичь, как правило, только двухступенчатой очисткой. Для предварительной очистки могут быть применены жалюзийные решетки и циклонные аппараты (иногда для небольших выбросов – пылеосадительные камеры), а для окончательной – пористые фильтры, электрофильтры или мокрые пылеосадители. Жидкие аэрозоли (туманы) могут быть скоагулированы посредством изменения параметров состояния (охлаждения и повышения давления) с целью осаждения в последующем с использованием, как правило, мокрых способов улавливания в мокрых скрубберах, пористых и электрических фильтрах, в абсорберах. Мокрые способы очистки твердых и жидких аэрозолей имеют существенный недостаток – необходимость отделения уловленного загрязнителя от улавливающей жидкости. По этой причине мокрые способы следует применять только при отсутствии других методов очистки, отдавая предпочтение способам с минимальным расходом жидкости. В основу действия аппаратов для очистки аэрозольных выбросов положен определенный физический механизм.

В улавливающих устройствах находят применение следующие способы отделения взвешенных частиц от взвешивающей среды, т. е. воздуха (газа): осаждение в гравитационном поле, осаждение под действием сил инерции, осаждение в центробежном поле, фильтрование, осаждение в электрическом поле, мокрая очистка и др. По основному механизму отделения частиц аэрозолей и носит название пылеулавливающий аппарат. В устройстве для очистки аэрозольных выбросов, наряду с основным механизмом улавливания, обычно используются и другие закономерности. Благодаря этому общая и фракционная эффективность аппарата достигает более высокого уровня.

Гравитационное осаждение. Частицы аэрозолей осаждаются из потока загрязненного воздуха под действием силы тяжести. Для этого необходимо создать соответствующий режим движения загрязненного воздуха в аппарате с учетом размера частиц, их плотности и т.д.

Инерционное осаждение основано на том, что частицы аэрозолей и взвешивающая среда ввиду значительной разности плотностей обладают различной инерцией. Аэрозольные частицы, двигаясь по инерции, отделяются от газовой среды. Осаждение под действием центробежной силы. Происходит при криволинейном движении загрязненного воздушно-газового потока. Под действием возникающих центробежных сил аэрозольные частицы отбрасываются на периферию аппарата и осаждаются.

Частицы аэрозолей, взвешенные в воздушной (газовой) среде, задерживаются в узких извилистых каналах и порах при прохождении воздушно-газового потока через фильтровальные материалы. Мокрая очистка. Смачивание поверхности элементов аппаратов

водой или другой жидкостью способствует задержанию аэрозольных частиц на данной поверхности. Осаждение в электрическом поле. Проходя электрическое поле, частицы аэрозолей получают заряд. Двигаясь к электродам противоположного знака, они осаждаются на них. В практике улавливания аэрозольных частиц находят применение и другие методы: укрупнение частиц в акустическом поле, термофорез, фотофорез, воздействие магнитного поля, биологическая очистка. Пылеулавливающее оборудование при всем его многообразии может быть классифицировано по ряду признаков: по назначению, по основному способу действия, по эффективности, по конструктивным особенностям.

Часто в зависимости от коэффициента очистки аппараты делят на две группы: грубой очистки и тонкого обеспыливания. Однако понятие грубой очистки и тонкого обеспыливания являются относительными в зависимости от вида производства и задач обеспыливания. Оборудование для санитарной очистки газов и воздуха от взвешенных дисперсных частиц подразделяется на две категории: аппараты сухой очистки и аппараты мокрой очистки. В свою очередь аппараты, использующие сухие методы очистки, по сущности происходящих в них физических явлений подразделяются на гравитационные, инерционные, фильтрационные и электрические. Пылеулавливающее оборудование в зависимости от способа отделения пыли от воздушного потока применяют следующих исполнений: оборудование для улавливания пыли сухим способом, при котором отделенные от воздуха частицы пыли осаждаются на сухую поверхность; оборудование для улавливания пыли мокрым способом, при котором отделение частиц от воздушного потока осуществляется с использованием жидкостей.

Пылеулавливающее оборудование по принципу действия подразделяется на группы, по конструктивным особенностям на виды и действует по сухому (табл. 9.8) и мокрому (табл. 9.9) способам.

Табл. 9.8. Группы и виды пылеулавливающего оборудования для улавливания пыли сухим способом

Группа оборудования	Вид оборудования	Область применения	
		воздушных фильтров	пылеуловителей
Гравитационное	Полое	—	+
	Полочное	—	+
Инерционное	Камерное	—	+
	Жалюзийное	—	+
	Циклонное	—	+
	Ротационное	—	+
Фильтрационное	Тканевое	—	+
	Волокнистое	+	—
	Зернистое	—	+
	Сетчатое	+	—
	Губчатое	+	—
Электрическое	Однозонное	—	+
	Двухзонное	+	+

Табл. 9.9. Группы и виды пылеулавливающего оборудования для улавливания пыли мокрым способом

Группа оборудования	Вид оборудования	Область применения	
		воздушных фильтров	пылеуловителей
Инерционное	Циклонное	—	+
	Ротационное	—	+
	Скрубберное	—	+
	Ударное	—	+
Фильтрационное	Сетчатое	+	—
	Пенное	—	+
Электрическое	Однозонное	—	+
	Двухзонное	+	+
Биологическое	Биофильтр	—	+

Аппараты мокрой очистки подразделяются на инерционные, фильтрационные и электрические. Наиболее распространенным оборудованием для улавливания дисперсных частиц из воздушно-газовых потоков являются: сухие гравитационные и инерционные вихревые осадители, фильтры различных конструкций, мокрые пылеуловители, электрофильтры. В целом, система очистки воздуха и газов может содержать оборудование нескольких типов, соединенное в последовательную цепочку по мере повышения эффективности пылеулавливания. Пылеулавливающее оборудование, в котором отделение пыли от воздушного потока осуществляется последовательно в несколько ступеней, отличающихся по принципу действия, конструктивным особенностям и способу очистки, относят к комбинированному пылеулавливающему оборудованию.

Простейшим сепаратором твердых взвешенных частиц является пылеосадительная камера, в которой запыленный газовый поток перемещается с малой скоростью, делающей возможным гравитационное осаждение (седиментацию) транспортируемой взвеси. Для достижения приемлемой эффективности очистки газов данными устройствами необходимо, чтобы частицы находились в пылеосадительных аппаратах возможно более продолжительное время, а скорость движения пылевого потока была незначительной. Поэтому данное оборудование относится к категории экстенсивного оборудования, рабочие объемы таких аппаратов весьма значительны, что требует больших производственных площадей. В промышленности пылеосадительные камеры используются в качестве устройств предварительной обработки газов, например, для отделения крупных частиц и разгрузки аппаратов последующих ступеней. В связи с этим данное оборудование используют только на первых ступенях систем газоочистки для осаждения частиц крупных размеров (более 100 мкм). Обычно средняя расходная скорость движения газов в пылеосадительных камерах составляет 0,2–1 м/с, а в пылевых мешках – 1–1,5 м/с. На рис. 9.24 представлены наиболее распространенные конструкции пылеосадительных камер и пылевых «мешков».

Наибольшее распространение в системах пылеочистки получили циклоны. Циклоны широко применяются для очистки от пыли вентиляционных и технологических выбросов во всех отраслях народного хозяйства.

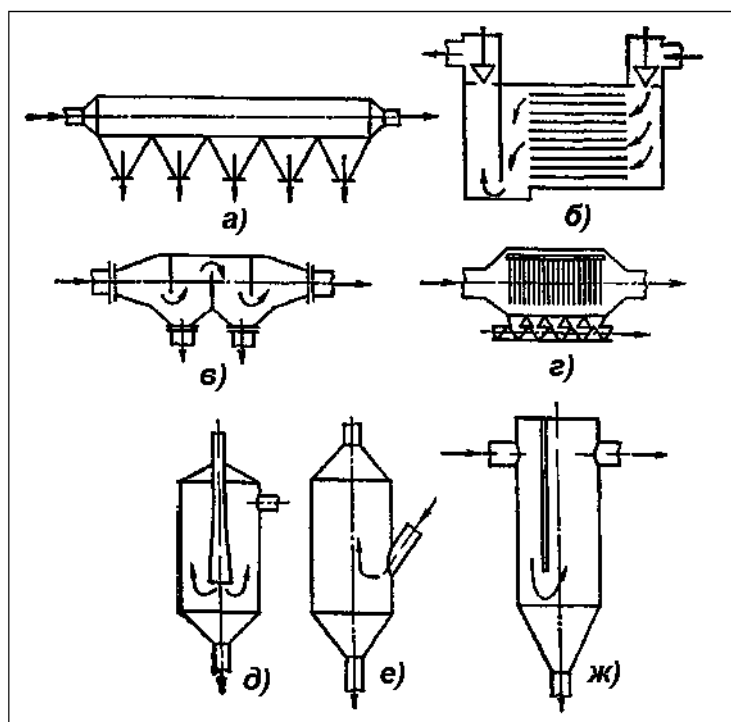


Рис. 9.24. Пылеосадительные камеры и простейшие пылеосадители инерционного действия:
а) простейшая пылеосадительная камера; б) многополочная камера; в) камера с перегородками;
г) камера с цепными или проволочными завесами; д) пылевой «мешок» с центральным подводом газа;
е) пылевой «мешок» с боковым подводом газа; ж) пылеосадитель с отражательной перегородкой

На практике система улавливания частиц создается путем придания запыленному потоку закрученного или вращательного движения, ограниченного цилиндрическими стенками. Циклоны делятся на циклоны большой производительности и циклоны высокой эффективности. Первые имеют обычно большой диаметр и обеспечивают очистку значительных количеств воздуха. Вторые – сравнительно небольшого диаметра (до 500–600 мм). Очень часто применяют групповую установку этих циклонов, соединенных параллельно по воздуху.

Эффективность очистки газа в циклонах в основном определяется дисперсным составом и плотностью частиц улавливаемой пыли, а также вязкостью газа, зависящей от его температуры. При уменьшении диаметра циклона и повышении до определенного предела скорости газа в циклоне эффективность очистки возрастает. Поэтому диаметры серийно выпускаемых циклонов не превышают 5 м. Циклоны, как правило, используют для грубой и средней очистки воздуха от сухой неслипающейся пыли.

Наиболее эффективный путь снижения атмосферных выбросов – создание замкнутых безотходных технологических циклов, включающих оборот газов. Однако такие мероприятия часто связаны с огромными технологическими сложностями и большими затратами, поэтому одним из основных направлений в промышленности является разработка и внедрение систем очистки газов. При этом стоит задача отделения от газа или превращения в безвредное состояние загрязняющего вещества.

Для обезвреживания опасных паро- и газообразных токсичных веществ используют следующие основные группы методов.

1. *Абсорбционный метод* с физической или хемосорбцией. В этом случае в качестве поглощающего вещества используют жидкости (воду, органические растворители – для физической абсорбции; растворы солей, щелочей, органические вещества, суспензии различных веществ, взаимодействующие с извлекаемым компонентом – хемосорбции). Существуют регенеративные и нерегенеративные разновидности метода. В первом случае рабочие жидкости или их компоненты могут быть возвращены вновь в цикл производства.

2. *Адсорбционный метод* с использованием твердых пористых поглотителей. Процессы проводят в периодическом или непрерывном режиме. Применение метода ограничивается невозможностью применения к запыленным газам, хотя достигаемая степень очистки может быть очень высокой. Также существуют регенеративные и нерегенеративные способы реализации. Десорбция поглощенных примесей может быть реализована термическим путем с отдувкой горячим воздухом, паром, инертным газом. Может быть использована вытеснительная десорбция, десорбция снижением давления или вакуумная десорбция.

3. *Термический метод* основан на прямом сжигании в печах или факельных горелках легкоокисляемых (горючих) токсичных веществ. Метод прост в реализации и универсален. Однако при сжигании низкоконцентрированных газов требует дополнительного расхода топлива. Кроме того, в ряде случаев в процессе сжигания могут возникать вторичные загрязнители атмосферы, обезвреживание которых требует дополнительных мер.

4. *Термохимический метод*. Метод высокотемпературного обезвреживания токсичных веществ с использованием вводимых в зону реакции твердых жидких или газообразных реагентов. Требуется создания и поддержания заданной температуры, что делает его энергоемким, необходима организация транспортировки, хранения, организации дозированной подачи в зону очистки реагентов. В процессе очистки могут возникать продукты реакции, твердые отходы, которые необходимо улавливать и утилизировать.

5. *Каталитический метод* основан на химических превращениях токсичных компонентов в нетоксичные на поверхности твердых катализаторов. Требуется поддержания оптимальной температуры в реакторе. Процесс может осуществляться в непрерывном и периодическом режиме, при необходимости регенерации катализатора. Очистке могут быть подвержены газы, освобожденные от пыли и не содержащие каталитических ядов. Путем комбинирования различных катализаторов и варьирования условий может осуществляться комплексная очистка газов. В зону очистки также могут подаваться химические реагенты.

6. *Конденсационный метод и компримирование.* Методы используют, прежде всего, для рекуперации летучих веществ, например, паров растворителей. Газы охлаждаются в теплообменнике и затем конденсируют за счет того, что при понижении температуры снижается равновесное давление насыщенных паров. Аппаратура для реализации метода достаточно проста. Организация процесса требует тщательного соблюдения мер предосторожности, т. к. содержание паров может превышать нижний предел взрываемости. Метод требует высокого расхода хладагента и электроэнергии. Эффективность его обычно не превышает 70–90 %, а рентабелен он при содержании паров растворителей в очищаемых газах не менее 100 мг/м³. Компримирование отличается тем, что конденсация происходит под давлением, для чего требуется специальный агрегат. Это усложняет аппаратное оформление метода.

7. *Электронно-лучевой метод* основан на воздействии на газовую среду потока ускоренных электронов. Используется например для совместной очистки дымовых газов от SO₂ и NO_x, в ходе которой происходит окисление кислородом этих компонентов до SO₃ и NO₂, после чего они взаимодействуют с водой и (или) аммиаком. В зависимости от состава получаемых продуктов они улавливаются в твердом виде (сульфат, нитрат аммония), либо поглощаются щелочными соединениями, если выделяются в виде азотной и серной кислот. Метод является дорогостоящим из-за высокой стоимости оборудования, большого расхода электроэнергии, трудности улавливания возникающих аэрозольных частиц. Требуется защита персонала от рентгеновского излучения, сопровождающего процесс. Использование аммиака связано с необходимостью хранения значительных его количеств, риском утечки в случае аварии. Контрольная и регулирующая аппаратура должна четко отслеживать содержание оксидов серы и азота в газах и подавать стехиометрическое количество аммиака, иначе будет происходить проскок этого реагента или улавливаемых вредных компонентов.

Для снижения количества в воздухе болезнетворных микроорганизмов используется оборудование содержащие излучатели коротковолнового ультрафиолетового (УФ) излучения с длинами волн от 200 до 253 нм. Данные приборы могут иметь также встроенный вентилятор. При этом воздух, принудительно проходя через камеры, где находится бактерицидная УФ лампа, обезвреживается. Производительность таких УФ-рециркуляторов воздуха, широко используемых во всех медицинских учреждениях, и в особенности – в инфекционных больницах, составляет от 10 до 100 и более м³ в час.

9.9. Оценка воздействия на окружающую среду планируемой деятельности

Оценка воздействия на окружающую среду (ОВОС) – процесс учета экологических требований в системе подготовки и принятия решений о планируемом хозяйственном развитии, освоении территорий и акваторий.

Цель проведения ОВОС состоит в подготовке экологически обоснованных хозяйственных и иных решений. Оценка воздействия планируемой и проектируемой деятельности на окружающую среду, в том числе на стадии инвестиционных проектов – важные этапы экологического проектирования объектов (в отличие от экологического аудита, цель которого состоит в оценке воздействия на окружающую среду действующих производств).

Основные принципы оценок воздействия и проведения ОВОС:

– *упреждение или превентивность* (процесс ОВОС должен проводиться с ранних стадий подготовок решений по объекту), суть этого принципа – не допустить неблагоприятного воздействия на окружающую среду планируемого вида хозяйственной деятельности;

– *соучастие общественности* (это одно из главных условий проведения ОВОС с целью выработки решения о хозяйственном развитии, которое может оказать воздействие на окружающую среду);

- *открытость информации* при подготовке решения о реализации хозяйственной деятельности (т.е. информация должна быть доступна для всех заинтересованных сторон);
- *интеграция* (все аспекты планируемой деятельности – социальные, экологические, медико-демографические, технические, природно-климатические, экономические и др. – должны рассматриваться во взаимосвязи);
- *достоверность* (включая степень детализации ОВОС, необходимой для определения экологической значимости воздействия на природу, население и хозяйство);
- *совместимость* (планируемая деятельность не должна приводить к уменьшению экологического разнообразия, снижению биопродуктивности, ухудшению жизненно важных свойств природных комплексов биосферы);
- *последовательность действий* в осуществлении этапов, процедур и операций;
- *гибкость* (процесс ОВОС может варьироваться по масштабам, глубине и системе).

Область применения ОВОС, обязательность и полнота ее этапов и процедур для различных видов деятельности являются предметом договоренности в обществе. Этот вопрос решается в различных странах по-разному, в зависимости от остроты экологической ситуации, отношения общества к этим вопросам, а также *системы принятия решений*.

Согласно Федеральному закону РФ «Об экологической экспертизе от 23.11.1995 № 174-ФЗ, вся документация государственной экологической экспертизы должна содержать материалы оценки воздействия на окружающую среду.

Далее представлен подход, который обычно применяется при проведении ОВОС.

1) Выделение видов обосновывающей документации, в которые закладываются основные решения о развитии хозяйственной деятельности: концепций, программ, в т.ч. инвестиционных) и планов отраслевого и территориального социально-экономического развития, схем комплексного использования и охраны природных ресурсов, градостроительной документации, документации по созданию новой техники, технологии, материалов и т.д., предпроектных обоснований инвестиций в строительство, технико-экономических обоснований и проектов.

2) Составление перечней объектов и видов хозяйственной деятельности, для которых при подготовке обосновывающей документации на строительство ОВОС проводится в обязательном порядке или не проводится совсем (в России – в полном объеме только для 33 объектов и видов деятельности; в других случаях – по решению территориальных органов Минприроды или по настоянию общественности, с учетом наличия территорий с особым правовым статусом и т.д.).

К *участникам* ОВОС относятся представители инициатора намечаемой деятельности, органов власти (местного самоуправления) и общественности. К *исполнителям* – заказчик, разработчик решений по объекту, изыскатели, подрядчики работ по ОВОС.

Инициатор деятельности – юридическое или физическое лицо, заявившее о своем намерении вести хозяйственную деятельность, а также осуществляющее инвестиции в подготовку и реализацию этой деятельности.

Позицию инициатора намечаемой деятельности обеспечивают также заказчик, подрядчик работ по ОВОС, разработчик решений по объекту, изыскатель, подрядчик работ по проведению научных исследований. В процессе ОВОС они выполняют роль исполнителей этапов, процедур и операций

Органы власти – сформированные по закону органы законодательной, представительной или исполнительной власти или местного самоуправления.

Выдавая инициатору разрешение на осуществление хозяйственной деятельности, эти органы берут на себя ответственность за то, что намечаемая инициатором деятельность не повлечет за собой негативных последствий. В связи с этим в рамках ОВОС в соответствии с действующим законодательством РФ и ее субъектов органы власти осуществляют *следующие функции*:

- принимают решения о согласии (или отказе) на подготовку заказчиком предложений по обоснованию намечаемой деятельности;
- определяют границы затрагиваемого района, в котором должны быть проведены исследования в связи с возможным воздействием будущего объекта на окружающую среду;

- принимают решения о предварительном резервировании и изъятии земельного участка для проведения проектно-изыскательских работ по обоснованию намечаемой деятельности;

- устанавливают место и время проведения общественных слушаний, способы информирования общественности и местного населения о намечаемой деятельности;

- информируют население о принятом решении;

- принимают решение о выдаче лицензии на комплексное природопользование.

Общественность – одно или несколько физических или юридических лиц. Общественность и местное население представляют ту позицию в обществе, которая может выявить реальные последствия осуществления намечаемой деятельности в условиях конкретной территории. Для выполнения этой важнейшей функции они должны иметь возможность знакомиться с проектом, требовать представления дополнительной информации, участвовать в проведении общественных слушаний, создавать временное общественное объединение в целях более полной оценки данного хозяйственного проекта, знакомиться с окончательным решением, принятым органом государственной власти или местного самоуправления по проекту.

Заказчик намечаемой деятельности – это ключевая фигура среди исполнителей ОВОС, который по поручению инициатора обеспечивает всю подготовку к реализации намечаемой деятельности, включая подготовку и представление документов в рамках ОВОС, организацию проведения необходимых изысканий и исследований, утверждения проекта (при наличии положительного заключения государственной экологической экспертизы и др.).

Разработчик – проектная, научно-исследовательская или любая другая компетентная организация, осуществляющая разработку решений по объекту и подготовку обосновывающей документации на реализацию намечаемой деятельности.

Изыскатель – научно-исследовательская и/или инженерно-изыскательская организация, осуществляющая по заказу научные, инженерные, исследовательские работы, необходимые для разработки решений по объекту и подготовки экологических условий для реализации планируемой деятельности, а также для разработки обосновывающей документации. Для этого заказчик и разработчик должны своевременно и достаточно полно выставить требования к проведению изысканий и научных исследований.

Подрядчик работ по ОВОС. Эту позицию может занимать как организация, специализирующаяся на проведении ОВОС, так и разработчик обосновывающей документации – достаточно лишь владеть технологией ОВОС.

Подрядчик работ по ОВОС по поручению заказчика обеспечивает: ведение процесса ОВОС в соответствии с установленными нормами и правилами; координацию действий в рамках ОВОС и увязку интересов исполнителей и участников процесса в осуществлении деятельности инициатора; оформление документов, вырабатываемых в процессе ОВОС.

При оценке воздействия технического объекта на окружающую среду используется вся совокупность частных и общих методов географических, инженерно-геологических, экологических исследований, которые дополняются математическими методами, моделирования процессов и т.д.

При этом на первый план выступает прогнозирование. ОВОС включает не только физико-географический, но и инженерно-геологический, экономический, социальный прогнозы. Это составляет предмет специальных дисциплин.

В общем виде следует отметить, что методы прогнозирования подразделяются на интуитивные (экспертные) и формализованные (фактографические). *Экспертные* оценки применяют, когда об объекте оценивания нет достоверных сведений или не известны количественные зависимости между прогнозируемыми процессами и явлениями. Экспертные оценки широко применяются при анализе альтернативных проектов, определении экологического риска, в том числе и по отдаленным последствиям воздействия.

Среди прогнозных методов распространены *экстраполяция* и *прогнозирование по аналогии*. Метод географических аналогий получил наибольшее развитие в 1970–80-е

годы при прогнозировании последствий создания крупных водохранилищ и мелиоративных систем.

Прогнозирование по аналогиям позволяет:

- определить размеры зон и поясов влияния технических сооружений на отдельные компоненты природно-территориального комплекса и на природные компоненты в целом;
- наметить основные тенденции в изменении отдельных компонентов природы по сезонам года и в зависимости от специфики проектируемого объекта;
- выявить временные стадии развития процесса влияния проектируемого объекта.

Различают следующие основные взаимодополняющие *методы проведения ОВОС*: матричный метод, метод сопряженного анализа карт, система потоковых диаграмм, метод имитационного моделирования, метод экспертных групп.

Выделяют следующие 5 последовательных этапов оценки экологических последствий от функционирования проектируемых объектов.

1) *Природная оценка* – соотнесение прогнозируемых изменений в процессах с теми же процессами и свойствами зональных аналогов вне сферы антропогенного воздействия.

2) *Специальная природная оценка* – это оценка изменения природных характеристик по отношению к другим, что дает возможность из всего многообразия процессов и явлений, претерпевающих изменения в зонах влияния, отобрать для последующей технологической оценки наиболее существенные и важные.

3) *Технологическая оценка* – специальные виды оценивания: по отношению к нормативам сырья и материалов, нормативам землеемкости, отходности, ресурсоемкости, санитарно-гигиеническим и т.д. Технологическая оценка чрезвычайно многопланова, она производится на различных стадиях проектирования.

4) *Экономическая оценка* – включает определение прямого ущерба, или эффекта от улучшения, функционированию отраслей хозяйства, состоянию производственных и природных ресурсов, затрат на компенсацию негативных воздействий и т.д.

5) *Социальная оценка* санитарно-гигиенических, эстетических, психологических условий – это, например, нормы химического, шумового, радиационного загрязнения, качество питьевой воды, состояние зеленых насаждений, благоустройство территорий и т.д., которые могут повлиять, прежде всего, на состояние здоровья людей.

При экологических оценках широко используются приемы и методы биотестирования, ландшафтной индикации загрязнения, геохимии техногенеза, экологической геохимии, химии окружающей среды, социально-экологических и медико-биологических исследований.

Исследования по оценке воздействия на окружающую среду намечаемой хозяйственной и иной деятельности включают:

- определение характеристик намечаемой хозяйственной и иной деятельности и возможных альтернатив (в том числе отказ от деятельности);
- анализ состояния территории в рамках географического охвата ОВОС (состояние природной среды, наличие и характер антропогенной нагрузки, экологическая ситуация и т.д.);
- выявление возможных воздействий намечаемой хозяйственной и иной деятельности (вероятности возникновения риска, степени, характера, масштаба, зоны распространения воздействий, а также прогнозирование экологических и связанных с ними социальных и экономических последствий);
- оценка значимости остаточных воздействий на окружающую среду и их последствий;
- определение мероприятий, предотвращающих негативные воздействия;
- сравнение по ожидаемым экологическим и другим последствиям, рассматриваемых альтернативных вариантов;
- разработка предложений по экологическому мониторингу и контролю на всех этапах реализации намечаемой хозяйственной и иной деятельности;
- разработка рекомендаций по проведению после проектного анализа реализации намечаемой хозяйственной и иной деятельности.

Описательный этап в оценке состояния окружающей среды проводится на основании данных экологического мониторинга, фондовых и литературных источников с привлечением экспертов по следующим вопросам.

1. *Описание состояния окружающей среды* в районе реализации намечаемой деятельности, где инициатору предложен земельный участок, включает: земельные ресурсы; климатические факторы; почвенные факторы; геологические и инженерно-геологические факторы; гидрогеологические факторы; геоморфологические факторы; гидрологические факторы; биологические факторы.

При этом выявляются характерные для данной территории природные условия их сочетание и т.п. Детальность исследования определяется на стадии выбора площадки и подразумевает наличие информации о видах и характере предполагаемого воздействия на окружающую среду

2. *Сбор и анализ* нормативных правовых актов в области регулирования природопользования и охраны окружающей среды.

Стандарты качества окружающей среды выступают как критерии ее состояния и определяются предельно допустимыми нормами вредных воздействий, превышение которых создает угрозу для здоровья человека и биоты ландшафта. При этом нормативы качества можно разделить на 3 группы:

1) санитарно-гигиенические нормативы: нормы предельно допустимых концентраций вредных веществ в воздухе, воде, почве (ПДК);

2) нормативы, устанавливающие требования к источнику вредного воздействия: нормативы предельно допустимых выбросов в атмосферу (ПДВ) и предельно допустимых сбросов в водные объекты (ПДС); нормативы допустимых уровней вредных физических воздействий; разрешение на вывоз и захоронение твердых отходов;

3) нормы и правила, регламентирующие различные виды деятельности, включая использование ресурсов и охрану природы (предельно допустимые нагрузки на окружающую среду; регламентирование рационального использования природных ресурсов; разрешение на землепользование и лесопользование; установление квот вылова рыбы и отстрела диких животных; строительные и градостроительные правила; нормативы санитарно-защитных зон (СЗЗ); экологические требования к технике, технологии и т.д.).

Разработка ПДВ и ПДС осуществляется как в рамках процесса проектирования, так и для действующих производств. Порядок разработки и утверждения экологических нормативов выбросов и сбросов, лимитов использования природных ресурсов, размещения отходов обеспечены соответствующими законодательными и нормативными актами.

Нормирование санитарных и защитных зон заключается в определении их размеров, охранных функций и режима природопользования (в СЗЗ запрещается проживание людей, размещение детских, лечебно-оздоровительных учреждений, парков и спортивных комплексов; концентрация вредных выбросов на внешней границе зоны не должна превышать ПДК для атмосферного воздуха населенных мест).

3. *Выявление возможных воздействий* на окружающую среду реализации альтернативных решений по объекту.

Виды воздействия на окружающую среду определяются, исходя из следующих двух классификационных признаков:

– *привнос в окружающую среду* загрязняющих веществ, радиоактивных веществ и излучений, шума и вибрации, тепла, электромагнитных излучений и т.д.;

– *изъятие из окружающей среды* земельных ресурсов, водных ресурсов, полезных ископаемых, ресурсов флоры и фауны, местообитаний популяций ценного вида растительного и животного мира.

4. *Формирование экспертных оценок* изменения окружающей среды в зоне размещения объекта по альтернативным решениям. При этом все данные должны быть максимально возможно выражены в количественных оценках.

В начале проведения ОВОС зачастую невозможно применять точные методы прогноза изменений состояния окружающей среды, в этом случае достаточно экспертных прогнозных оценок

5. *Анализ возможных экологических и других последствий по альтернативным решениям по объекту.*

Полученные экспертные оценки изменений состояния окружающей среды являются основой для предсказания экологических и связанных с ними социальных, экономических и других последствий. Критериями выявления таких последствий могут быть:

- заболеваемость населения в конкретном районе, в том числе бронхо-легочными заболеваниями, что в ряде случаев может являться следствием сильного загрязнения атмосферного воздуха;
- частота возникновения опасных погодных явлений, в том числе способствующих концентрированию загрязняющих веществ в атмосферном воздухе;
- показатели социально-экономического благополучия.

На основе всей выбранной экологической информации заказчик разрабатывает предложения к мероприятиям по предотвращению неблагоприятных воздействий реализации объекта на окружающую среду.

Обязательным этапом заявления о воздействии на окружающую среду является составление документации содержащей результаты прогноза изменений окружающей среды, анализа экологических последствий аварийных ситуаций. При этом учитываются ранее сделанные экспертные оценки, а также инструктивно-методические материалы, утвержденные в установленном порядке.

9.10. Государственная экологическая экспертиза

Порядок проведения государственной экологической экспертизы определяется Федеральным законом «Об экологической экспертизе» от 23.11.1995 № 174-ФЗ. Согласно данному закону, *экологическая экспертиза* – это установление соответствия намечаемой хозяйственной и иной деятельности экологическим требованиям и определение допустимости реализации объекта экологической экспертизы в целях предупреждения возможных неблагоприятных воздействий этой деятельности на окружающую среду и связанных с ними социальных, экономических и иных последствий реализации объекта экологической экспертизы.

Экологическая экспертиза – это самостоятельный вид государственного экологического контроля, она имеет превентивное (упреждающее) значение, так как совершается до начала деятельности объекта, а также выступает гарантом выполнения экологического законодательства.

Виды экологической экспертизы: государственная, общественная. Помимо этих юридически обоснованных экспертиз реально существуют ведомственная, научная и коммерческая экологические экспертизы.

Принципы экологической экспертизы сформулированы в законе «Об экологической экспертизе» и выражают сущность и социальное назначение экспертизы, основы ее правового регулирования и осуществления. Принципы должны соблюдаться всеми участниками экспертного процесса, включая заказчика планируемой деятельности, проектные органы, органы экспертизы и общественные организации.

Принципы государственной экологической экспертизы:

- презумпция потенциальной экологической опасности любой планируемой хозяйственной деятельности;
- обязательность проведения экспертизы;
- комплексность оценки воздействия на окружающую среду хозяйственной или иной деятельности;
- обязательность учета требований экологической безопасности;
- достоверность и полнота информации, представляемой на экспертизу;
- независимость экспертов экологической экспертизы;
- научная обоснованность, объективность и законность экспертных заключений;
- гласность, участие общественных организаций, учет общественного мнения;

– ответственность участников экологической экспертизы и заинтересованных лиц за организацию, проведение и качество экологической экспертизы.

Процедуры проведения экспертизы. Расходы по проведению экспертизы несет проектная организация. Состав экспертной комиссии утверждается приказом Министра природных ресурсов или руководителей отделений Минприроды в субъектах федерации.

В составе экспертной группы работают, как правило, специалисты разных отраслей науки и техники. В состав экспертной комиссии могут включаться штатные работники Минприроды. Общая численность экспертов проектов малой сложности обычно составляет менее 10 человек, средней сложности – до 25–30 человек, а сложных проектов – около 100 человек. Пример самой большой экспертной комиссии: комиссия по рассмотрению территориальной комплексной схемы охраны природы озера Байкал и его бассейна – состояла из 186 человек.

Срок проведения экспертизы: для простых проектов до 30 дней, средней сложности – до 60 дней, для сложных проектов – до 120 дней (как исключение, сроки могут быть продлены до 6 месяцев).

Первый этап работы экспертной комиссии: проведение совместного заседания с обсуждением ключевых вопросов, в том числе и с проектировщиками.

Второй этап: рассмотрение проекта экспертами по рабочим группам. Этот этап завершается составлением индивидуальных заключений экспертов, которые передаются руководителю группы.

Третий, четвертый этапы: составление сводного заключения на базе заключения отдельных групп. Основные положения проекта сводного заключения доводятся до сведения проектной организации.

После заключительной корректировки и редактирования в ряде случаев созывается пленарное заседание экспертной комиссии. Окончательное заключение может быть либо положительное, либо отрицательное. Если мнение экспертов в оценке проектов разошлись, то решает квалифицированное большинство.

Отрицательное заключение может быть двух видов:

а) о недопустимости реализации проекта ввиду несоблюдения требований экологической безопасности;

б) о необходимости доработки представленных материалов проекта по замечаниям и предложениям.

В этом случае заказчик вправе представить материалы на повторную экспертизу при условии их переработки с учетом замечаний, изложенных в Сводном заключении. Заключение государственной экологической экспертизы может быть оспорено в служебном порядке.

Общественная экспертиза стала приобретать в России все большее значение. Имеют место 2 вида общественной экспертизы:

1) общественная экспертиза стихийно организовавшихся групп населения как правило, проживающих в одном районе и испытывающих непосредственно на себе негативное влияния загрязняющих производств (следует иметь ввиду, что иногда решения стихийной общественной экспертизы не учитывают общие региональные или всероссийские интересы);

2) организованная местными властями по инициативе отдельных граждан, общественных организаций – общественная экспертиза с привлечением профессионалов-экспертов. Следует отметить, что решение таких экспертиз обычно носит рекомендательный характер.

9.11. Современные методы управления природоохранной деятельностью

Цель управления в сфере экологических отношений – обеспечение охраны окружающей среды (ОС) от негативного воздействия в процессе хозяйственной и иной деятельности, а также рациональное природопользование и обеспечение экологической безопасности при сохранении баланса с социально-экономическими потребностями общества.

В России в настоящее время существуют следующие виды управления в области охраны ОС: государственное (в том числе на уровне субъектов федерации) и производственное.

Федеральным законом от 10.01.02 № 7-ФЗ «Об охране ОС» (ст. 10) введено также управление в области охраны ОС, осуществляемое органами местного самоуправления, на уровне муниципальных образований.

Системы управления природоохранной деятельностью различных стран развивались под воздействием исторических, политических, этнокультурных и других факторов. Поэтому в разных странах используются различные инструменты управления этой сферой деятельности.

Общим во всех применяемых на сегодняшний день методов управления природоохранной деятельностью является опора на так называемую «загрязняюще-ресурсную» парадигму. Это означает, что все эти методы решают только часть общей проблемы сохранения природы и ее биоразнообразия.

Анализ мирового опыта, а также изучение предложений по развитию механизма управления охраной окружающей среды позволяют систематизировать эти методы и дать краткую характеристику каждому из них.

В сфере природопользования и охраны окружающей среды можно выделить 3 основные группы методов управления: административное регулирование, система экономических стимулов, формирование рыночных отношений в сфере природопользования, комплексные методы управления.

Административное регулирование предполагает введение соответствующих нормативных стандартов и ограничений, а также прямой контроль и лицензирование процессов природопользования, указывающих производителю рамки, которые он должен соблюдать.

Экономические механизмы обеспечивают внедрение системы платежей за загрязнение, экологических налогов, субсидий, а также использование других экономических стимулов, чтобы заинтересовать производителя в рациональном природопользовании.

Создание рынка в этой сфере через распределение прав на загрязнение, компенсационных платежей и т.д. объединяет третью группу методов.

Все 3 группы методов могут применяться на различных стадиях производственного процесса, рассмотренного в контексте его возможного воздействия на окружающую среду, что образует четвертый, комплексный метод управления.

Рассмотрим основные принципы, подходы и положения природоохранных стратегий.

Функции государственного управления:

- создание системы органов управления и координация их деятельности;
- экологическое нормотворчество, в том числе экологическое нормирование и экологическая стандартизация;
- оценка воздействия на окружающую среду (ОВОС);
- экологические экспертиза, лицензирование и сертификация;
- экологический аудит;
- экологический контроль и мониторинг;
- экологическое воспитание и образование;
- контроль за использованием и охраной объектов природы;
- подготовка и распространение ежегодного государственного доклада о состоянии и об охране ОС;
- разрешение в административном порядке споров в сфере охраны ОС.

Методы государственного управления в области охраны ОС: административный (приказ); экономический (создание условий экономической заинтересованности); моральный и материальный (награждение, взыскание, премия и т.п.).

Производственное управление – экологическое управление в масштабах отдельной организации. Наибольшая эффективность природоохранных мероприятий достигается при включении их в стратегический план организации и при решении задач повышения современной конкурентоспособности продукции.

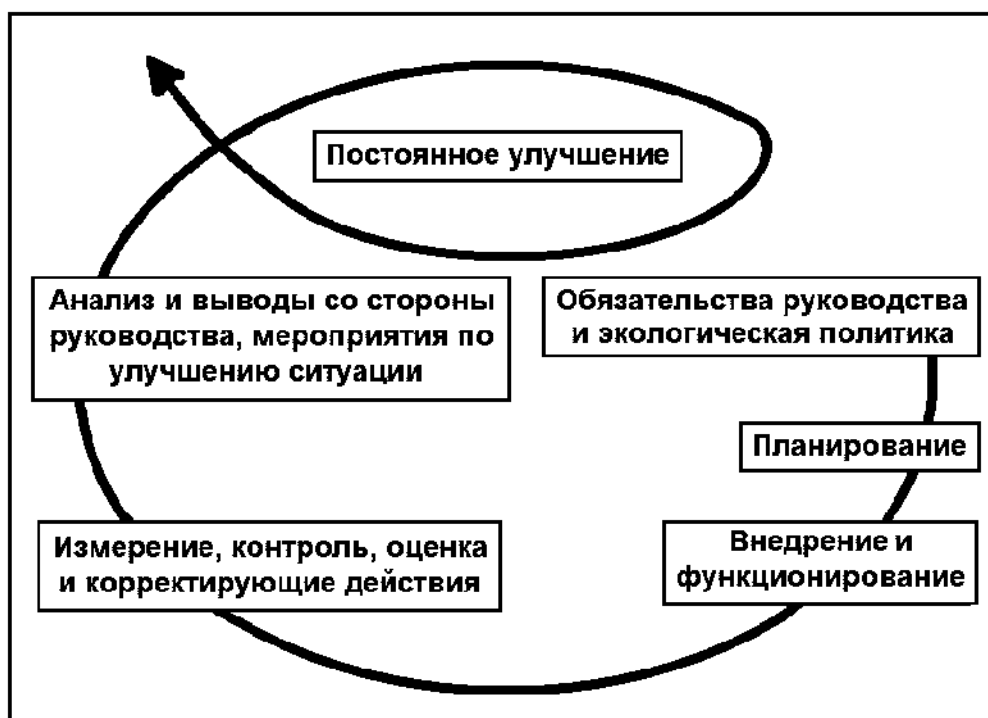


Рис. 9.25. Модель системы управления охраной ОС в организации согласно стандартам ИСО серии 14 000

Модель управления. Международные стандарты ИСО серии 14 000, распространяющиеся на вопросы управления охраной ОС, предназначены для использования любыми организациями с целью достижения как экологических, так и экономических целей. В основе предложенного стандартами подхода лежит концепция, согласно которой организация должна периодически анализировать и оценивать свою систему экологического управления с целью выявления благоприятных возможностей для ее улучшения, а также реализовывать эти возможности, как показано на рис. 9.25.

Экологическая политика – заявление организации о своих намерениях и принципах, связанных с ее общей экологической эффективностью. Она определяет целевой показатель требуемого от организации уровня ответственности за состояние ОС и экологической эффективности, по которому будут оцениваться все последующие действия.

При определении экологической политики исходят из того, что любая деятельность, продукция или услуга могут воздействовать на окружающую среду.

Целевые экологические показатели могут включать в себя обязательства:

- сократить отходы и истощение ресурсов;
- сократить (вплоть до нуля) выброс загрязняющих веществ в ОС;
- проектировать продукцию таким образом, чтобы свести к минимуму ее воздействие на ОС с учетом жизненного цикла и др.

Факт достижения поставленных целевых экологических показателей может быть установлен с помощью следующих характеристик экологической эффективности:

- количества использованного сырья или потребленной энергии;
- эффективности использования материалов и энергии, топливной эффективности грузовых (пассажирских) перевозок;
- количества выбросов и сбросов загрязняющих веществ, а также полученных отходов;
- количества «экологических аварий»;
- капиталовложений в охрану ОС;
- количества (или суммы) штрафов и привлечений к юридической ответственности за экологические правонарушения.

На современном этапе развития систем управления, техники и технологии производства в мире *абсолютные значения экологической эффективности экологическими стандартами не устанавливаются.*

Признано достаточным всего лишь стремление организации соответствовать действующим законодательным актам и регламентам работ при постоянном улучшении системы экологического управления. Поэтому считается допустимым положение дел, когда несколько организаций, занимающихся одинаковой деятельностью, демонстрируют разную экологическую эффективность – они все могут быть признаны выполняющими требования ГОСТ Р ИСО 14001-98 и 14004-98.

В административном регулировании главное место занимают нормативы и/или стандарты.

Стандарты качества окружающей природной среды регламентируют допустимое состояние воздушного и водного бассейнов, почв и других ее составляющих. Обычно для каждого из загрязнителей предусмотрена предельно допустимая концентрация его содержания (ПДК).

Стандарты воздействия на окружающую среду определенного производственного процесса устанавливают уровень сбросов или выбросов из данного точечного источника после применения очистного оборудования. Данный стандарт может базироваться на показателях потока (количество выбросов в единицу времени) или запаса (количество выбросов за определенный период).

Технологические стандарты устанавливают определенные требования для процесса производства или очистной технологии.

Стандарты качества продукции. Наиболее показательный пример – стандарт содержания вредных примесей в продуктах питания, питьевой воде и т.п.

Прямые запреты. Эта мера применяется, если определенные производства или первичные ресурсы оказывают настолько нежелательное воздействие на окружающую среду (пестициды, высокотоксичные материалы), что эффективным становится только их полное запрещение.

Сертификаты. Сертификаты на использование земель и воды даются для ранжирования потенциально конфликтующих пользователей в целях обеспечения максимальной эффективности природопользования.

Оценка воздействия на состояние окружающей среды служит для организации сбора и предоставления информации о потенциальных экономических издержках проектов. В основном, процедура ОВОС позволяет оценить уникальные крупномасштабные проекты развития ресурсного потенциала, строительство химических комбинатов, портов, терминалов и других проектов, сопряженных со значительным воздействием на окружающую среду.

Разрешения и лицензии. Необходимы для фирм, компаний, предприятий, желающих активизироваться в сфере, подлежащей лицензированию, или легально осуществлять выбросы. Чаще всего они привязаны к технологии реализации проекта или стандартам качества окружающей среды.

Среди экономических рычагов и стимулов основное место занимают *платежи и налоги за загрязнение*. Они представляют собой косвенные рычаги воздействия и выражаются в установлении платы на выбросы или сбросы.

Налогам могут быть обложены также первичные ресурсы, конечная продукция или технологии. Хотя чисто внешне по воздействию на предприятие налоги и платежи эквивалентны, необходимо все же провести грань между этими двумя инструментами. Когда мы произносим слово «налог», то подразумеваем, что, во-первых, он направляется в бюджет, а, во-вторых, нет особых причин, кроме пополнения казны, чтобы его вводить. Когда говорится о платеже, то уже сразу подразумевается, что плательщик оплачивает что-то. В данном случае платеж за загрязнение – это плата за право пользования ассимиляционным потенциалом природной среды.

Платежи пользователей на покрытие административных расходов могут включать плату за получение разрешения или лицензии, а также другие номинальные платежи, соответствующие величине выбросов и покрывающие издержки на раздачу разрешений и лицензий.

Субсидии представляют собой специальные выплаты фирмам-загрязнителям за сокращение выбросов.

Системы обязательной ответственности. Если считать, что права собственности на окружающую среду принадлежат всему обществу в целом, то фирмы-загрязнители должны нести ответственность за причиненный ущерб. Этот подход особенно эффективен, если число загрязнителей и их жертв ограничено, а размер загрязнения и его состав легко отследить. Необходимо различать аварийные выбросы и восстановление экосистемы после осуществления определенной деятельности (рекультивация земель).

Система целевого резервирования средств на утилизацию отходов (залогов) используется для создания в этих целях стимула у потребителей на осуществление дополнительных издержек.

Информационные системы в виде обеспечения полноты информации и свободы ознакомления с ней играют роль, подобную экономическим стимулам. Если фирмы предоставляют всю информацию, то потребители или жители близлежащих территорий оповещены о размерах загрязнения или вредных веществах в продукции. Информированность (антиреклама) ведет к изменению спроса на продукцию, обеспечивая сокращение загрязнения, использование соответствующих первичных ресурсов или типа технологии.

Таким образом, система экономических методов отличается от административной тем, что предприятие-загрязнитель не сковывается жесткими стандартами. Предприниматель может выбирать свою стратегию, опираясь на анализ затрат и результатов. Тем не менее, все экономические параметры, являющиеся для него внешними (ставки платы за выбросы, налоги, размеры субсидий), жестко фиксируются. Они являются объектами централизованного регулирования.

Создание рыночных отношений в экологической сфере предполагает формирование рынка для единиц загрязнения, разрешая фирмам покупать, продавать, торговать или перераспределять права на загрязнение.

Принцип «пузыря». Концепция «пузыря» – это трактовка множественных источников загрязнения как единой регулируемой системы. Объем выбросов устанавливается для целого региона, а находящиеся на его территории предприятия могут совместно найти наиболее выгодный для них способ обеспечить этот объем. Принцип «пузыря» создает внешние рамки для торговли правами на загрязнение на уровне региона.

Разрешения на выброс распределяются между отдельными заводами. От фирмы требуется выполнение стандарта либо через инвестиции в очистные технологии, либо приобретение разрешения у тех предприятий, которые достигли большего сокращения выбросов, чем это предусмотрено было после первоначального распределения разрешений.

Банки прав на загрязнение представляют собой развитие предыдущего подхода.

Биржи прав на загрязнение. При расширении рынка прав на загрязнение возникает необходимость в посреднических организациях типа бирж, где бы осуществлялись сделки по купле-продаже прав на выбросы.

Таким образом, по своей сути рыночные методы управления природоохранной деятельностью направлены на обеспечение рационального использования ассимиляционного потенциала природной среды.

Управление динамикой и качеством окружающей среды требует знания ее состояния и способов воздействия на это состояние. Управление при этом надо рассматривать как целенаправленное воздействие на объект, сформированное на основе информации о его фактическом состоянии.

Под экологическим управлением в данном случае будем понимать деятельность соответствующих органов, предприятий, организаций или лиц по планированию, осуществлению, контролю и оценке работы, организованной таким образом, чтобы были решены поставленные задачи и достигнуты сформулированные цели.

Под системой управления будем понимать группу лиц с определенной организационной структурой и распределением обязанностей, ответственных за проведение экологической политики на соответствующем уровне, разрабатывающих и реализующих определенную методологию, включающую общую стратегию, комплекс планов, программ, процедуры и инструкции, измерения и регистрации, которые помогают вести и контролировать выбранное направление развития.

В плане генеральной экологической стратегии могут быть рекомендованы в систему управления 2 принципа: компенсации, синхронизации.

Принцип компенсации можно интерпретировать не только как уменьшение выбросов тепловой энергии и загрязняющих веществ в главные компоненты рассматриваемой экосистемы, но и как перераспределение нагрузок на окружающую среду с целью «дать отдохнуть» и восстановиться отдельным объектам окружающей природной среды (например, озеру, участку леса или парка и т.д.), а также замене либо отдельных технологий, либо производственных циклов с целью уменьшения техногенного давления на окружающую среду.

Принцип синхронизации означает необходимость согласованных, одновременных действий при решении комплекса поставленных экологических задач всеми организациями, предприятиями и лицами, ответственными за обеспечение приемлемого уровня экологической безопасности. В табл. 9.10 дана сравнительная характеристика административно-командного и рыночного управления.

Табл. 9.10. Качественные характеристики административно-командного и рыночного управления

Качественные характеристики управления	Административно-командное управление	Рыночное управление
Собственность	Монополия государственной собственности	Плюрализм собственности, смешанная экономика
Субъект	Номенклатура руководящие работники и ее аппарат	Собственник, предприниматель, менеджер, трудовой коллектив
Цель	Выполнение плановых заданий, повышение эффективности экономики на базе обеспечения приоритета государственных интересов	Повышение эффективности экономики на базе согласования интересов государства, различных социальных групп, частных лиц, территорий
Основной принцип	Подчинение нижестоящих организаций вышестоящим	Равноправные партнерские отношения между звеньями экономической системы
Организация	Иерархическая структура управления на базе вертикальных связей звеньев	Концентрическая структура управления на базе приоритета горизонтальных связей звеньев
Функции	Приоритет распределения ресурсов и разверстка плановых показателей из центра	Самоуправление основного звена и регулирование развития экономики из центра
Методы	Приоритет организационных и распорядительных воздействий (инструкций, регламентов, норм, директив, приказов, распоряжений, указаний)	Приоритет экономических методов управления (коммерческого расчета, экономических рычагов и стимулов)
Стиль	Авторитарный, силовой	Демократический
Техника и технология	Управление, основанное на ручном труде и труде с низкой степенью механизации	Управление, основанное на компьютерной технике и информатике

Как уже отмечалось, экологический риск – это вероятность возникновения отрицательных изменений в окружающей среде или отдалённых неблагоприятных последствий этих изменений, возникающих вследствие негативного воздействия на окружающую среду. При этом также целесообразно оценивать соответствующий возможный ущерб при реализации того или иного неблагоприятного последствия. Можно ли управлять экологическими риском? Определение риска в данном контексте содержит в себе 3 ключевые компоненты. Во-первых, риск связан с событиями – причинами, хотя это обычно опускают. Во-вторых, события наступают или не наступают – т. е. они не достоверны, а лишь возможны (вероятны). В-третьих, сами по себе события ни нежелательны, ни благоприятны – в каждом конкретном случае требуется оценка их последствий для пользователя управляемой системы, т. е. оценка качества состояний, в которые может попасть система в результате реализации риска.

Американский Институт управления проектами (PMI – Project Management Institute), разрабатывающий и публикующий стандарты в области управления проектами, значительно переработал разделы, регламентирующие процедуры управления рисками. Описаны 6 процедур управления рисками.

Согласно подходу PMI, *управление рисками* – это процессы, связанные с идентификацией, анализом рисков и принятием решений, которые включают максимизацию положительных и минимизацию отрицательных последствий наступления рискованных событий. Процесс управления рисками проекта обычно включает выполнение следующих процедур:

- 1) планирование управления рисками – выбор подходов и планирование деятельности по управлению рисками природоохранного проекта;
- 2) идентификация рисков – определение рисков, способных повлиять на проект, и документирование их характеристик;
- 3) качественная оценка рисков – качественный анализ рисков и условий их возникновения с целью определения их влияния на успех проекта;
- 4) количественная оценка – количественный анализ вероятности возникновения и влияния последствий рисков на проект;
- 5) планирование реагирования на риски – определение процедур и методов по ослаблению отрицательных последствий рисковых событий и использованию возможных преимуществ;
- 6) мониторинг и контроль рисков – мониторинг рисков, определение остающихся рисков, выполнение плана управления рисками проекта и оценка эффективности действий по минимизации рисков.

Все эти процедуры взаимодействуют друг с другом, а также с другими процедурами.

9.12. Национальный проект «Экология» и его приоритеты

Национальные проекты – новые проекты федерального масштаба, принятые в России в 2018 г. на период с 2019 по 2024 г. и разработанные по трём направлениям: «Человеческий капитал», «Комфортная среда для жизни» и «Экономический рост». 7 мая 2018 г. президент России В.В. Путин подписал указ «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года», устанавливающий и утверждающий национальные проекты России.

В рамках направления «Комфортная среда для жизни» реализуется национальный проект «Экология». Сроки реализации: с 1 октября 2018 по 31 декабря 2024 г. Работа по данному направлению, направленному на охрану окружающей среды, ведется по пяти направлениям: утилизация и переработка отходов, сохранение водоемов и повышение качества питьевой воды, уменьшение загрязнения воздуха, защита природы и животных, внедрение наилучших природоохранных технологий.

Национальный проект «Экология» включает в себя 11 федеральных проектов, а именно: «Чистая страна», «Комплексная система обращения с твердыми коммунальными отходами», «Инфраструктура для обращения с отходами I–II классов опасности», «Чистый воздух», «Чистая вода», «Оздоровление Волги», «Сохранение озера Байкал», «Сохранение уникальных водных объектов», «Сохранение биологического разнообразия и развитие экологического туризма», «Сохранение лесов», «Внедрение наилучших доступных технологий».

Цель национального проекта «Экология» – кардинально улучшить экологическую обстановку и положительно повлиять на оздоровление россиян, для этого из федерального бюджета выделяются весьма значительные средства. В этой многосторонней работе принимают участие органы власти, исполнители, кураторы федеральных проектов, общественные организации и граждане.

В табл. 9.11 представлены основные задачи и планируемые результаты 11 федеральных проектов и рамках Национального проекта «Экология». Таким образом, государством предусмотрены административные, организационные меры и финансирование для обеспечения значительного улучшения и оздоровления окружающей среды. Наиболее остро по-прежнему стоит вопрос о переработке отходов, в том числе высокотоксичных, а также проблема строительства новых и модернизации имеющихся очистных сооружений в жилищно-коммунальном секторе. Кроме того, важнейшей задачей государства является обеспечение населения чистой питьевой водой, из централизованного

водоснабжения. Данная задача будет во многом решена в процессе реализации федерального проекта «Чистая вода», а также ряда региональных проектов.

Табл. 9.11. Основные задачи и планируемые результаты Федеральных проектов и рамках реализации Национального проекта «Экология»

Наименование федерального проекта	Основные задачи и результаты до 2024 г.
«Чистая страна»	Ликвидация свалок и рекультивация территорий, на которых они размещены. Рекультивированы земельные участки, на которых расположена 191 несанкционированная свалка в границах городов, выявленная на 1 января 2018 г. Ликвидация наиболее опасных объектов накопленного экологического вреда окружающей среде. Ликвидировано 75 наиболее опасных объектов. Создание и эффективное функционирование во всех субъектах Российской Федерации системы общественного контроля, направленной на выявление и ликвидацию несанкционированных свалок.
«Комплексная система обращения с твердыми коммунальными отходами»	Формирование комплексной системы обращения с твердыми коммунальными отходами (ТКО), включая создание условий для вторичной переработки всех запрещенных к захоронению отходов производства и потребления. Введено в промышленную эксплуатацию 23,1 млн т мощностей по утилизации отходов и фракций после обработки ТКО.
«Инфраструктура для обращения с отходами I–II классов опасности»	Создание современной инфраструктуры, обеспечивающей безопасное обращение с отходами I и II классов опасности. Переуплотнение объектов по уничтожению химического оружия («Камбарка», Удмуртская Республика, «Марадыковский», Кировская область, «Щучье», Курганская область, «Горный», Саратовская область) в межрегиональные производственно-технические комплексы по обработке, утилизации и обезвреживанию отходов I и II классов опасности.
«Чистый воздух»	Реализация комплексных планов мероприятий по снижению выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух в крупных промышленных центрах, включая города Братск, Красноярск, Липецк, Магнитогорск, Медногорск, Нижний Тагил, Новокузнецк, Норильск, Омск, Челябинск, Череповец и Читу. Снижение совокупного объема выбросов за отчетный год на 22 % в Нижнем Тагиле, Новокузнецке, Чите, Братске, Красноярске, Челябинске, Магнитогорске, Норильске и других городах.
«Чистая вода»	Повышение качества питьевой воды посредством модернизации систем водоснабжения и водоподготовки с использованием перспективных технологий, включая технологии, разработанные организациями оборонно-промышленного комплекса. Утверждение региональных программ субъектов Российской Федерации по строительству и реконструкции (модернизации) объектов питьевого водоснабжения и водоподготовки с учетом оценки качества и безопасности питьевой воды. Оценка эффективности модернизации систем водоснабжения и водоподготовки, относимых к категориям чрезвычайно высокого и высокого риска причинения вреда здоровью потребителей по критериям безопасности. Реализация мероприятий по строительству и реконструкции (модернизации) объектов питьевого водоснабжения и водоподготовки, предусмотренные региональными программами. Значительное увеличение доли населения Российской Федерации (в том числе городского), обеспеченного качественной питьевой водой из систем централизованного водоснабжения.
«Оздоровление Волги»	Сокращение в 3 раза доли загрязненных сточных вод, отводимых в р. Волгу. В отношении предприятий водопроводно-канализационного хозяйства проведение оценки систем очистки сточных вод, сбрасываемых в р. Волгу, на соответствие нормативам. Утверждение региональные программы по строительству и реконструкции (модернизации) очистных сооружений предприятий водопроводно-канализационного хозяйства. Завершение работы по строительству, реконструкции (модернизации) очистных сооружений, обеспечивающих сокращение отведения в р. Волгу загрязненных сточных вод на 2,12 км ³ в год. Обеспечение устойчивого функционирования водохозяйственного комплекса Нижней Волги. Строительство и реконструирование 18 водопропускных сооружений для улучшения водообмена в низовьях Волги. Проведение работ по расчистке и дноуглублению не менее 281 км каналов-рыбоходов.

Наименование федерального проекта	Основные задачи и результаты до 2024 г.
«Оздоровление Волги»	Восстановление не менее 26,9 тыс. га водных объектов Нижней Волги. Ликвидация объектов накопленного экологического вреда, представляющих угрозу р. Волги. Снижение негативного воздействия затонувших судов. Подъем и утилизация 95 затонувших судов в акватории р. Волги.
«Сохранение озера Байкал»	Сохранение воспроизводство уникальных водных биологических ресурсов оз. Байкал. Модернизация 11-ти и строительство новых очистных сооружений, необходимых для очистки загрязненных сточных вод, поступающих в оз. Байкал и другие водные объекты Байкальской природной территории, общей мощностью не менее 350 тыс. м³ в сутки. Завершение мероприятий по Федеральной целевой программе «Охрана озера Байкал и социально-экономическое развитие Байкальской природной территории на 2012–2020 годы» по совершенствованию и развитию объектов инфраструктуры, необходимых для сохранения уникальной экосистемы оз. Байкал. Территориальное развитие государственного экологического мониторинга до 93 % площади Байкальской природной территории. Снижение общей площади территорий, подвергшихся высокому и экстремально высокому загрязнению и оказывающих воздействие на оз. Байкал. Выращивание и выпуск не менее 750 млн шт. личинок омуля, 1,5 млн шт. молоди омуля и 1,5 млн шт. молоди осетра.
«Сохранение уникальных водных объектов»	Восстановление и экологическая реабилитация водных объектов. Проведение природоохранных мероприятий по расчистке участков рек (водохранилищ) и озер на площади не менее 15 200 га. Улучшение экологического состояния гидрографической сети. Очистка от мусора берегов и прилегающих акваторий озер и рек. Количество населения, улучшившего экологические условия проживания вблизи водных объектов – не менее 4,8 млн человек. Количество населения, вовлеченного в мероприятия по очистке берегов водных объектов, – не менее 4,5 млн человек.
«Сохранение биологического разнообразия и развитие экологического туризма»	Увеличение площади особо охраняемых природных территорий не менее чем на 5 млн гектаров. К концу 2024 г. завершение мероприятий по внесению в Единый государственный реестр недвижимости сведений о границах 24 особо-охраняемых природных территориях (ООПТ) (в том числе ранее созданных). Сохранение биоразнообразия, включая реинтродукцию редких видов животных. Увеличение количества посетителей на ООПТ не менее чем на 4 млн человек. Создание и развитие инфраструктуры для экологического туризма в национальных парках, в том числе с привлечением внебюджетного финансирования. Обеспечение продвижения туристских продуктов в национальных парках.
«Сохранение лесов»	Сохранение лесов, в том числе на основе их воспроизводства на всех участках вырубленных и погибших лесных насаждений. Обновление информации о наличии земель, не занятых лесными насаждениями и требующих лесовосстановления; о возможных способах лесовосстановления. Обследование 100 % земель, не занятых лесными насаждениями и требующих лесовосстановления. Формирование запаса лесных семян для лесовосстановления на всех участках вырубленных и погибших лесных насаждений. Оснащение специализированных учреждений органов государственной власти субъектов Российской Федерации лесопожарной техникой на 100 % от потребности в необходимой специализированной технике и оборудовании для проведения комплекса мероприятий по охране лесов от пожаров. Увеличение площади искусственного лесовосстановления за счет внебюджетных средств учреждений субъектов Российской Федерации не менее чем на 35 тыс. га.
«Внедрение наилучших доступных технологий»	Применение всеми объектами, оказывающими значительное негативное воздействие на окружающую среду, системы экологического регулирования, основанной на использовании наилучших доступных технологий. Актуализация 51 информационно-технического справочника по наилучшим доступным технологиям (НДТ). Разработка новых и актуализация действующих национальных стандартов наилучших доступных технологий. Введение в промышленную эксплуатацию мощности экологического машиностроения и развитие приборостроения в целях производства отечественной продукции, используемой при переходе хозяйствующих субъектов на принципы НДТ

9.13. Экотехнопарки и их функции

Согласно данным, приведенным в «Стратегии экологической безопасности Российской Федерации на период до 2025 года», принятой на основе Указа Президента Российской Федерации от 19.04.2017 г. № 176, свыше 300 млн т отходов накоплено в результате прошлой хозяйственной и иной деятельности. По итогам инвентаризации территорий выявлено 340 объектов накопленного вреда окружающей среде, являющихся источником потенциальной угрозы жизни и здоровью 17 млн человек. Увеличивается количество отходов, которые не вовлекаются во вторичный хозяйственный оборот, а размещаются на полигонах и свалках, что приводит к выводу продуктивных сельскохозяйственных угодий из оборота. Около 15 тыс. санкционированных объектов размещения отходов занимают территорию общей площадью примерно 4 млн га, и эта территория ежегодно увеличивается на 300–400 тыс. га. По данным Федеральной службы государственной статистики, в 2005 г. в Российской Федерации зафиксировано образование порядка 3000 млн т отходов, в 2015 г. – 5060 млн т, то есть за 10 лет показатель вырос на 69 %. Сложившаяся за десятилетия система обращения с отходами на территории нашей страны требует коренной перестройки от повсеместного захоронения в пользу эффективно применяемых в мировой экономике технологий ресурсосбережения, обработки, утилизации и обезвреживания таких отходов.

Согласно «Стратегии развития промышленности по обработке, утилизации и обезвреживанию отходов производства и потребления на период до 2030 года», утвержденной Правительством Российской Федерации Распоряжением от 25.01.2018 г. № 84-р, *экотехнопарк* – объединенный энергетическими и взаимозависимыми материально-сырьевыми балансами и связями комплекс объектов, включающий в себя здания и сооружения, технологическое и лабораторное оборудование, используемые в деятельности по обработке, утилизации и обезвреживанию отходов производства и потребления, обеспечивающий непрерывную переработку отходов производства и потребления и производство на их основе промышленной продукции, а также осуществление научной, исследовательской и (или) образовательной деятельности.

Основной целью данной Стратегии является создание и расширение национальной промышленной индустрии и инфраструктуры обработки, утилизации и обезвреживания отходов, их использования в качестве вторичного сырья для производства новой продукции на основе модернизации и технического перевооружения существующих производств и создания новых инновационных промышленных производств.

Понятие «экотехнопарк» в нормативных актах, принятых на федеральном уровне, пока что упоминается только в рамках данной Стратегии. Согласно Федеральному закону от 31 декабря 2014 г. № 488-ФЗ «О промышленной политике в Российской Федерации» закреплено понятие «промышленный (индустриальный) парк» – это совокупность объектов промышленной инфраструктуры и технологической инфраструктуры, предназначенные для осуществления субъектами деятельности в сфере промышленности, промышленного производства, и (или) научно-технической деятельности, и (или) инновационной деятельности в целях освоения производства промышленной продукции и коммерциализации полученных научно-технических результатов и руководимые управляющей компанией – коммерческой или некоммерческой организацией, созданной в соответствии с законодательством Российской Федерации.

На согласовании в Правительстве Российской Федерации находится Проект Федерального закона «О внесении изменений в Федеральный закон «О промышленной политике в Российской Федерации» в части применения мер стимулирования к субъектам деятельности в сфере промышленности, использующим объекты промышленной инфраструктуры и оборудование, находящиеся в составе экотехнопарка. По сути, «экотехнопарк» является частным случаем «промышленного (индустриального) парка», функционирование которого направлено на переработку отходов, развитие новых технологий, выпуск новых продуктов для обеспечения экологической безопасности. Развитие нормативно-правовой базы, несомненно, позволит ускорить реализацию проектов создания экотехнопарков в России.

Необходимо отметить, что данный вид объектов – экотехнопарки – назван в «Стратегии развития промышленности по обработке, утилизации и обезвреживанию отходов производства и потребления на период до 2030 года» не как единственное, а как одно из возможных решений по организации процесса наиболее эффективного обращения с отходами. При характеристике перехода к инновационному сценарию помимо экотехнопарков указывается на необходимость создания производственно-технических комплексов по обработке, утилизации и обезвреживанию отходов, многофункциональных комплексов по промышленному обезвреживанию отходов и многофункциональных сортировочных комплексов.

Производственно-технический комплекс по обработке, утилизации и обезвреживанию отходов – совокупность технически и организационно взаимосвязанных производственных объектов одной или нескольких отраслей экономики, осуществляющих деятельность по вовлечению отходов в хозяйственный оборот, а также по развитию соответствующих технологий и внедрению специального промышленного оборудования.

Многофункциональный сортировочный комплекс, обычно входящий в состав экотехнопарка, – производственный объект, реализующий обработку поступающих отходов с дальнейшим формированием оптимальных отдельных транспортных потоков обработанных отходов на объекты утилизации, обезвреживания и размещения.

Мусоросортировочный комплекс – производственный объект по обработке твердых коммунальных отходов, позволяющий выделить из поступивших отходов вторичные ресурсы, а также отходы, не подлежащие дальнейшей утилизации.

В экотехнопарк входит комплекс объектов, состоящий из зданий, сооружений, технологического и лабораторного оборудования. Экотехнопарк осуществляет обработку отходов; утилизацию отходов; обезвреживание отходов, обеспечивает переработку и производство на основе отходов промышленной продукции; осуществление научной, исследовательской и (или) образовательной деятельности. В идеале, в экотехнопарке могут быть созданы условия для реализации новых высокоэффективных технологий переработки отходов, рекультивации почв, обезвреживания воды – от идеи до воплощения. Для этого в составе экотехнопарка должны быть не только готовые производственные цеха, но и научные лаборатории, стендовые испытательные установки, научный, инженерный персонал.

Таким образом, отличительными чертами экотехнопарков должны стать совмещение производственной, научной, исследовательской и (или) образовательной деятельности и наличие внутренних энергетических и материально-сырьевых потоков.

Резидент индустриального (промышленного) парка – юридическое лицо или индивидуальный предприниматель, заключивший с управляющей компанией индустриального (промышленного) парка или иными лицами договор аренды и (или) договор купли-продажи объектов промышленной инфраструктуры индустриального (промышленного) парка или их частей и (или) земельного участка, находящихся в границах территории индустриального (промышленного) парка, в целях ведения промышленного производства промышленной продукции.

Меры государственного стимулирования при реализации проектов экотехнопарков включают: упрощенный доступ к госзаказу; ускоренная и/или упущенная процедура получения статуса российского производителя; налоговые меры стимулирования. В настоящее время в 18 регионах Российской Федерации приняты нормативно-правовые акты, предусматривающие создание и регулирующие деятельность экотехнопарков. В 9 регионах утверждены территориальные схемы обращения с отходами и региональные программы обращения с отходами в том числе с твердыми коммунальными, согласно которым предусмотрено создание экотехнопарков.

В большинстве экотехнопарков в России и за рубежом создаются многофункциональные комплексы по промышленному обезвреживанию отходов. Это производственный объект, включающий в себя комплекс специализированного технологического оборудования, машин, механизмов, установок по обработке и обезвреживанию отходов, функционирующих в оптимальном ресурсо- и энергосберегающем, экологически и технически

безопасном режиме в целях уменьшения массы отходов, изменения их состава, физических и химических свойств для обеспечения технологически максимально возможного снижения степени экологической опасности, уровня негативного воздействия отходов на здоровье человека и окружающую среду.

Достигнутый уровень мировой практики показывает, что главный эффект в решении проблемы отходов связан с их вовлечением в повторное использование. В европейских странах – лидерах отрасли утилизации и обезвреживания всех видов отходов – доля отходов, вовлеченных в повторное производство, составляет 80–87 %, что значительно превышает аналогичный показатель в России и может являться ориентиром для создания российской отрасли промышленности по обработке, утилизации и обезвреживанию отходов. Наиболее высокий уровень образования строительных отходов от общего количества их образования фиксируется в Северо-Западном (65 %), Южном (около 14 %) и Центральном (около 8 %) федеральных округах. Доля утилизации и обезвреживания отходов сельского и лесного хозяйства в России составляет порядка 85,4 % общего количества их образования в данной отрасли. При эксплуатации объектов обеспечения электрической энергией, газом и паром утилизируется и обезвреживается только 9 % образованных отходов. В целом, для обрабатывающих производств этот показатель равен примерно 54 %. Существенную угрозу для экологической безопасности России образуют чрезвычайно опасные и высокоопасные отходы. Динамика их образования в Российской Федерации (по данным статистической отчетности) за последние 5 лет практически неизменна. Все существенные изменения показателей образования отходов связаны, в первую очередь, с качественным уровнем организации и осуществления учета и отчетности в области обращения с отходами.

В России к 2030 г. планируется повысить уровень переработки твердых коммунальных отходов до 80 %. Это будет результатом деятельности, как планируется, не менее 70 экотехнопарков. Однако в 2016 г. количество действующих экотехнопарков составляло всего 4, в 2018 г. – 7, в 2019 г. – 12, а в 2020 г. – уже около 20. Региональные экотехнопарки обладают общей мощностью переработки отходов более 2 млн т/год. Ведется проектирование федерального экотехнопарка. Его мощность – до 400 тыс. т вторичного сырья в год. Планируемая к выпуску продукция получит применение в различных сферах (сельскохозяйственной, ЖКХ и строительства, благоустройства территории) и позволит снизить, в том числе, бюджетные расходы при закупке товаров из вторичного сырья. Решение о месте размещения экотехнопарка каждый регион будет принимать на основе заявок от потенциальных инвесторов. Скорее всего, такие кластеры будут располагаться максимально близко к потребителям вторичных ресурсов, т. е. заводам, которые производят тару, упаковку и изделия из резины.

Одним из первых в России является экотехнопарк около г. Энгельс в Саратовской области. Его функционирование началось в марте 2015 г. Экотехнопарк принимает коммунальные отходы из 12 муниципальных районов Саратовской области, включая г. Энгельс. К настоящему времени Энгельсский ЭкоТехноПарк принял на экологически безопасную обработку более 1 млн м³ твердых коммунальных отходов. Внешний вид данного экотехнопарка представлен на рис. 9.25.а.

Качество сортировки, обработки, измельчения и уплотнения мусора, поступающего на Энгельсский мусороперерабатывающий комплекс, позволяет в несколько раз уменьшить объемы отходов, захораниваемых на межмуниципальном полигоне. Сортировочные линии предприятия позволяют извлечь вторсырье, составляющее половину объемов поступающего мусора.

Создание мусоросортировочной линии – главный этап развертывания комплексной системы обращения отходов. На начальном этапе обработки поступающие твердые коммунальные отходы освобождаются от упаковки. При этом их не измельчают, что существенно облегчает дальнейшую обработку. После сортировки на конвейере фракции, не подлежащие утилизации, уплотняются в пресс-компакторе и отправляются на хранение, а остальное сырье проходит дальнейшую переработку.



Рис. 9.26. Экотехнопарки: а) в г. Энгельс в Саратовской области; б) «SRTABAG», г. Любляна, Словения



Рис. 9.27. Схема расположения экотехнопарков в Московской области

В Московской области идея создания экотехнопарков обсуждалась еще в 2013 г. На совместном заседании Высшего совета при губернаторе Московской области и Общественной палаты Московской области была рассмотрена комплексная программа по обращению с отходами производства и потребления, предусматривающая строительство 17-ти экологических технопарков. На рис. 9.27 представлена схема расположения экотехнопарков в Московской области. Нормативной основой создания экотехнопарков является Государственная программа Московской области «Экология и окружающая среда Подмосковья» на 2017–2026 годы (утв. постановлением Правительства Московской области от 25.10.2016 № 795/39).

В ноябре 2017 г. первый экотехнопарк в Южном Федеральном округе начали строить в Волгограде. Свою работу он начал в конце 2019 г.

В конце 2017 г. в Мурманской области построена первая линия экотехнопарка по утилизации отходов. Летом 2017 г. здесь были завершены работы по подключению экотехнопарка к электрическим сетям и начался монтаж котельной на строительной площадке экотехнопарка. В рамках работ было установлено оборудование российского производства, включающее два котла мощностью 600 и 350 кВт, устройство с автоматической подачей топлива в котел, система улавливания загрязняющих веществ и другие вспомогательные устройства. В настоящее время, экотехнопарки функционируют также в республиках Башкортостан и Татарстан, в Орловской области и в других регионах России.

9.14. Экологические кризисы и переход к устойчивому развитию

В законе Российской Федерации «Об охране окружающей природной среды», ст. 59, п. 1, 1992 г., дано определение *зоны экологического бедствия, кризиса* – это участки территории, где в результате хозяйственной либо иной деятельности произошли глубокие изменения окружающей природной среды, повлекшие за собой существенное ухудшение здоровья населения, нарушение природного равновесия, разрушение естественных экологических систем, деградацию флоры и фауны. Выделяют три уровня экологического нарушения.

Зона экологического риска (Р) включает территории с заметным снижением продуктивности и устойчивости экосистем, максимумом нестабильности, ведущим в дальнейшем к спонтанной деградации экосистем, но еще с обратимыми нарушениями экосистем, предполагающими сокращение хозяйственного использования и планирование поверхностного улучшения. Деградация земель наблюдается на 5–20 % площади.

Зона экологического кризиса (К) включает территории с сильным снижением продуктивности и потерей устойчивости, трудно обратимыми нарушениями экосистем, предполагающими лишь выборочное их хозяйственное использование и планирование глубокого улучшения. Деградация земель наблюдается на 20–50 % площади.

Зона экологического бедствия – катастрофы (Б) включает территории с полной потерей продуктивности, практически необратимыми нарушениями экосистем, полностью исключаящими территорию из хозяйственного использования и требующими коренного улучшения. Деградация земель превышает 50 % площади.

Экологический кризис – это нарушение естественных природных процессов в биосфере, в результате которого происходят быстрые изменения окружающей среды. Возникает напряжение во взаимоотношениях между человечеством и природой, связанное с несоответствием объема потребления природных компонентов человеческим обществом и ограниченными ресурсно-экологическими возможностями биосферы. При этом важно обратить внимание на различия в масштабах между глобальным, общим для биосферы экологическим кризисом и локальными или региональными экологическими нарушениями и локальными экологическими катастрофами

С концепцией экологического риска тесно связаны представления об экологическом кризисе. Создание ее вызвано необходимостью вскрыть причины, установить признаки, замедлить или предупредить развитие кризисной экологической ситуации, наметить основные пути ее преодоления. Экологический кризис – это напряженное состояние взаимоотношений между человечеством и природой, характеризующееся несоответствием развития производительных сил и производственных отношений в человеческом обществе ресурсно-экологическим возможностям биосферы.

Основные пути воздействия людей на природу заключаются в расходовании естественных богатств в виде минерального сырья, почв, водных ресурсов, загрязнения среды, истребления видов и разрушения биогеоценозов. Естественные богатства планеты

делятся на невозполняемые и выполняемые. К первым, например, относятся полезные ископаемые, запасы которых ограничены и последствия нерациональной добычи и использования которых очевидны.

Использование так называемых выполняемых ресурсов должно быть также объективно со всех точек зрения обосновано, т. к. хищническое отношение к выполняемым природным ресурсам влечет за собой непоправимые изменения в биосфере. Например, истребление лесов, которое началось еще в доисторические времена, прежде всего, нарушает водный режим планеты. Мелеют реки, их дно покрывается илом, что приводит к уничтожению нерестилищ и сокращению численности рыб. Уменьшаются запасы грунтовых вод, создается недостаток влаги в почве. Талая вода и дождевые стоки смывают, а ветры, не сдерживаемые лесной преградой, выветривают верхний почвенный слой. В результате возникает эрозия почвы. Древесина, ветви, кора, подстилка аккумулируют минеральные элементы питания растений. Уничтожение лесов ведет к вымыванию этих элементов из почвы и падению их плодородия. С вырубкой лесов гибнут населяющие их птицы, звери, насекомые-энтомофаги, в результате беспрепятственно размножаются вредители сельскохозяйственных культур. Лес очищает воздух от ядовитых загрязнений, он задерживает, в частности, радиоактивные осадки и препятствует их дальнейшему распространению, т. е. вырубка лесов устраняет важный компонент самоочищения воздуха. Уничтожение лесов на склонах гор является причиной образования оврагов и селевых потоков.

В результате нерационального землепользования человечество потеряло вследствие эрозии почв обширные территории, ставшие практически непригодными для землепользования. Промышленные отходы, пестициды, применяемые в сельском хозяйстве, радиоактивные вещества, образующиеся при производстве и испытании ядерного оружия, загрязняют природную среду. Выбросы в атмосферу автомобильных газов, количество которых неуклонно возрастает, увеличивают содержание в биосфере угарного газа, свинца и других вредных веществ. Человеком истреблено огромное количество видов животных и растений. Отдельные виды (около 600) в настоящее время находятся на грани полного истребления. Исчезновение вида не всегда обусловлено непосредственным уничтожением. Между естественными и искусственными биоценозами происходит борьба за территорию, но человеческий труд является мощным и устойчивым фактором, поэтому искусственные биоценозы, сами по себе малоустойчивые, тем не менее теснят биоценозы естественные.

Деятельность человека изменяет структуру земной поверхности, отчуждая под сельскохозяйству строительство населенных пунктов, коммуникаций, водохранилищ территории, занимаемую природными биогеоценозами.

К числу отрицательных влияний на биосферу относятся нерегулируемый промысел рыб, млекопитающих, беспозвоночных, водорослей, изменение химического состава вод, воздуха, почвы в результате сброса отходов промышленности, транспорта и сельскохозяйственного производства.

В целом, основными причинами экологических кризисов, являются:

- недостаточная разработка экологического законодательства;
- несовершенство организации государственного управления в данной области;
- приоритет экономических интересов в природопользовании в ущерб экологическим интересам общества;
- недостаточность финансирования некоторых экологических программ и мероприятий;
- нехватка квалифицированных специалистов в области охраны окружающей среды;
- низкий уровень экологического правосознания и эколого-правовой культуры.

Примерами крупных региональных экологических кризисов являются следующие аварии:

- в хранилище радиоактивных отходов в Челябинской области 1949 и 1957 гг.;
- на атомной электростанции (АЭС) Тримайл-Айленд в США в штате Пенсильвания, произошедшая в 1979 г.;
- на Чернобыльской АЭС в 1986 г.;

- на АЭС «Фукусима-1» в 2011 г.;
- чрезвычайная ситуация, возникшая 29 мая 2020 г. при разгерметизации емкости с более чем 20 тыс. т дизельного топлива на ТЭЦ-3 в Кайеркане – районе г. Норильск.

Для улучшения состояния биосферы применяются следующие *методы защиты*:

- применение безотходных и малоотходных технологий;
- разработка и применение норм предельно допустимых концентраций (ПДК) вредных веществ в атмосфере, рабочей зоне, почве, водоемах и продуктах питания;
- разработка и применение норм предельно допустимых выбросов (ПДВ) и сбросов (ПДС), а также мест размещения отходов по каждому экологически опасному предприятию;
- использование способности элементов биосферы самоочищаться: высотные трубы для рассеивания вредных примесей в атмосфере, канализация в морские глубины вдали от берега, разбавление стоков чистой водой и др. Рассматривая вопросы состояния и охраны биосферы, необходимо оценивать качество природной среды, которое зависит, прежде всего, от наличия и концентрации в ней тех или иных загрязнений.

Термин «устойчивое развитие» впервые был применен в 1980 г. в докладе «Всемирная стратегия охраны природы», подготовленном Международным союзом охраны природы и природных ресурсов. Однако всеобщее внимание к идее с таким названием было привлечено только в 1987 г. после публикации доклада, представленного в ООН Комиссией по окружающей среде и развитию.

В 1987 г. Всемирной Комиссией ООН по окружающей среде и развитию под руководством Г.Х. Брундтланд был опубликован отчет «Наше общее будущее». В этом документе впервые вводилось понятие «устойчивое развитие», целью которого провозглашалось «создание условий, обеспечивающих удовлетворение потребностей сегодняшнего дня, не подвергая риску способность окружающей среды поддерживать жизнь в будущем, т. е. не ставя под угрозу возможности будущих поколений в удовлетворении их потребностей». Спустя пять лет, в 1992 г. по инициативе ООН в Рио-де-Жанейро прошел Всемирный форум по окружающей среде, в котором приняли участие 178 правительственных делегаций из различных стран и 103 главы правительств, «также ученые, политики, промышленники, бизнесмены.

На Конференции ООН в Рио-де-Жанейро (Бразилия) теория устойчивого развития составила концептуальную основу принятых решений. В ее документах *устойчивое развитие* определяется как развитие, позволяющее на долговременной основе обеспечить стабильный экономический рост, не приводящий к деградационным изменениям окружающей среды.

На Форуме была принята Декларация по окружающей среде и устойчивому развитию, включающая 27 принципов управления экономической деятельностью, а также управления в области охраны окружающей среды для достижения устойчивого развития всей цивилизации.

Первый глобальный план действий, направленный на реализацию концепции устойчивого развития, был сформулирован в другом важном документе, также подписанном в Рио-де-Жанейро, – «Повестка дня на XXI век». Устойчивое развитие предполагает с одной стороны повышение качества жизни, с другой – обеспечение безопасности жизни, которая, в свою очередь, предполагает сохранение здоровья населения и качества окружающей природной среды.

Сроки, полнота и, главное, «цена» перехода общества к устойчивому развитию в соответствии с современным экологическим императивом (всеобщим обязательным законом) зависит от решения четырех основных задач современности: сохранение уцелевших и восстановление до уровня естественной продуктивности ряда деградировавших экосистем; рационализация потребления; «экологизация» производства; нормализация численности населения.

Спустя 20 лет после Встречи на высшем уровне «Планета Земля», состоявшейся в 1992 г. в Рио-де-Жанейро, где страны приняли «Повестку дня на XXI век» – пересмотренную концепцию экономического развития, достижения социальной справедливости и обеспечения охраны окружающей среды – ООН вновь пригласила правительства,

международные организации сообща выработать ряд действенных мер, способных снизить уровень нищеты и одновременно способствовать созданию достойных рабочих мест, чистой энергетики и более рациональному и справедливому использованию природных ресурсов. Новая Международная Конференция по устойчивому развитию «Рио+20», состоявшаяся в 2012 г. Рио-де-Жанейро, стала одной из важнейших глобальных конференций нашей эпохи по вопросам устойчивого развития. Обсуждены и выработаны основные пути решения следующих важнейших задач:

- переход к более «зелёной» экономике с упором на ликвидацию нищеты;
- защита морских экосистем от деградации при чрезмерном вылове промысловых рыб и других организмов, загрязнении морской среды на фоне негативных последствий изменений климата;
- улучшение условий жизни в городах и повышения эффективности городской инфраструктуры;
- расширение использования возобновляемых источников энергии, что может позволить существенно снизить выбросы углекислого газа, а также уровень загрязнения атмосферного воздуха и воздуха в помещениях и одновременно способствовать экономическому росту;
- улучшение управления лесным хозяйством в целях обеспечения широкого круга преимуществ – например, сокращение вырубки лесов к 2030 г. наполовину, может снизить потери, связанные с изменением климата и выбросами парниковых газов, примерно на 3,7 трлн долл. США, и это без учета выгод от создания рабочих мест и повышения доходов, сохранения биологического разнообразия, источников чистой воды и целебных свойств лесной растительности;
- повышение экономичности и эффективности водопользования для содействия развитию и предотвращения опустынивания.

В дальнейшем, согласно Резолюции Генеральной Ассамблеи ООН от 25.09.2015 г. были сформулированы 17 целей устойчивого развития Мира (рис. 9.28).

Очевидно, что достижение обозначенных целей устойчивого развития Мира должно основываться на комплексе программ действий, с учетом региональной специфики природопользования и остроты экологических проблем.



Рис. 9.28. Цели устойчивого развития Мира, согласно Резолюции Генеральной Ассамблеи ООН от 25.09.2015 г.

В настоящее время во многих странах внедрена система экологического регулирования природопользования. Экономический механизм предусматривает плату за природные ресурсы, выдачу предприятиям лицензий на природопользование, плату за загрязнение, формирование экологических фондов за счет выплаты штрафных санкций и т.п. Однако до сих пор единой методологии оценки стоимости элементарных единиц биосферы не выработано. Дело в том, что биосфера выполняет регуляторные функции, и изъятие (уничтожение) человеком каких-либо компонентов неизбежно ведет к трансформации или деградации экосистемы.

Применяемый в экономических оценках ресурсный подход означает, что в расчет стоимости ущерба окружающей среды включаются лишь те живые компоненты, которые непосредственно вовлечены в процесс общественного производства и являются необходимыми для жизни общества. Их определили как «характеризуемые нерыночной ценностью», которым можно приписать денежную стоимость. (Например, сколько стоит замена очищающей деятельности реки в денежном эквиваленте). Но при ресурсном подходе к оценке за расчет ущерба, как правило, исключается большое количество природных объектов, не имеющих в настоящее время потребительской стоимости (не характеризующиеся нерыночными ценностями), но формирующих данную экосистему, которая, в свою очередь, выполняла отведенную ей роль в системах других уровней. Получается, что фактически рассчитывается ущерб, причиняемый одним видом хозяйственной деятельности (например, освоение природного месторождения) другому (например, охотничьему, лесному и т.п.), но не природной среде в целом.

Ниже приводится краткое изложение одного из предлагаемых подходов к оценке стоимости биотических компонентов (ключевых видов) экосистем.

Согласно этой методике оценивается средообразующая функция биосферы, при этом отдельно рассчитывается ущерб, наносимый биосфере и ущерб, наносимый отраслям хозяйства, которые эксплуатируют возобновимые природные ресурсы, при строительстве и эксплуатации промышленных объектов в других отраслях.

Для эколого-экономической оценки биологических ресурсов предлагается использовать параметры мощности работы, которую выполняют организмы по сохранению упорядоченного состояния в экосистеме.

В свою очередь, мощность связана с количеством солнечной энергии, затрачиваемой на поддержание состояния живых систем на разных трофических уровнях. Выражение стоимости энергии в единицах мощности переводится в эквивалент затрат на получение такого же количества энергии от Солнца техническими средствами.

Не останавливаясь на технологии расчета, можно сказать, что для оценки стоимости биологических ресурсов необходимо определить: энергетическое содержание одного грамма вещества; среднюю массу тела одной особи (для животных); дыхание поддержания (энергия существования); трофический уровень, пищевую специализацию и коэффициент утилизации энергии; плотность популяции или плотность биомассы (чистой первичной или вторичной продукции).

Для оценки стоимости территории используются данные по плотности всех остальных групп ресурсов. Ущерб рассчитывается перемножением стоимости биотических компонентов на единицу территории за определенный временной период (время, необходимое для восстановления нарушенной экосистемы до первоначального уровня). Например, восстановление лесной или тундровой экосистемы требует около 100 лет.

В качестве примера приводится рассчитанная стоимость участка тундры на полуострове Ямал в районе газоконденсатного месторождения. Стоимость 1 га территории оказалась равной около 46 000 долл. США. Значит, с учетом периода восстановления ущерб, наносимый безвозвратным изъятием данной территории, составит более 4,5 млн долл. США.

В настоящее время практически любая техногенная деятельность связана с воздействием на окружающую природную среду или человека, т. е. с существованием риска, поэтому необходимо регулировать меру его воздействия, т. е. *управлять риском*.

Выделяют следующие **принципы управления рисками**.

1. *Принцип оптимизации соотношений выгоды и ущерба*. Главной целью управления риском – повышения уровня благосостояния общества, однако реализация цели не может быть оправдана, если выгода от нее для общества не превышает вызываемого ею ущерба. Этот принцип включает 3 подпринципа:

- деятельность, при которой отдельные индивидуумы подвергаются чрезмерному риску, не может быть оправдана, даже если она приносит большую выгоду;
- общество добровольно соглашается на незначительный риск от деятельности, необходимой для удовлетворения материальных или духовных потребностей;
- для защиты каждой личности от чрезмерного риска должны быть предприняты все возможные меры.

2. *Принцип оптимизации защиты населения от опасности*. Направлен на распределение ограниченных материальных ресурсов с целью снижения опасности, которой может быть подвергнут человек и окружающая среда. Реализация принципа сводится к уменьшению риска для общества с обязательным условием устранения неравенства между его членами методом компенсации.

3. *Принцип региональности*. В управление риском необходимо включать весь совокупный спектр существующих в регионе опасностей. Информация о принимаемых решениях должна быть доступна самым широким слоям населения.

Правительства многих развитых стран мира руководствуются долговременной постоянной политикой, направленной на обеспечение роста ожидаемой продолжительности жизни. Обычно такой рост пропорционален показателю валового национального продукта (ВНП) страны на душу населения, что позволяет оценить величину стоимости продления жизни. Рост ожидаемой продолжительности жизни зависит от успехов здравоохранения, условий проживания, уровня научно-технического прогресса, т. е. развития промышленности и сельского хозяйства. С другой стороны, эти же достижения могут стать причиной деградации окружающей среды и снижения показателей здоровья населения. Для разных стран и регионов с различным социально-экономическим положением стоимость продления жизни за счет снижения опасностей от техногенной деятельности может существенно различаться. И регулирующую роль в управлении риском должно играть государство.

Принципы перехода к устойчивому развитию России изложены в Указе Президента РФ «Концепция перехода РФ к устойчивому развитию» от 1 апреля 1996 г. № 440. Согласно этому документу в стране должно быть на перспективу обеспечено комплексное и сбалансированное решение социально-экономических проблем при сохранении благоприятной окружающей среды и природных ресурсов, а также при удовлетворении потребностей настоящих и будущих поколений людей.

Основные направления перехода РФ к устойчивому развитию заключаются в следующем:

- создание правовой системы перехода к устойчивому развитию, включая совершенствование современной правовой базы и существующего законодательства, включая экономические механизмы регулирования ООС и рационального природопользования;
- оценка потенциальных возможностей различных экосистем для хозяйственного использования и определения границ допустимого антропогенного воздействия;
- разработка систем стимулирования хозяйственной деятельности и установление ответственности за экологические последствия;
- восприятие биосферы не только как поставщика ресурсов, но как базисного основания жизни, сохранение которого является главным условием функционирования социально-экономической системы;
- пропагандирование идей устойчивого развития, создание системы воспитания и образования для их реализации.

Переход РФ к устойчивому развитию предполагает постепенное восстановление естественных экосистем до уровня, гарантирующего стабильность окружающей среды. Эта цель достижима только усилиями всего человечества, но путь к ней должна начать каждая страна самостоятельно, в том числе через обеспечение экологической безопасности.

Конец XX в. можно считать временем, когда человечество осознало опасность экологической катастрофы, но еще не выработало надежной стратегии для защиты от нее. Представление об устойчивом развитии неплохо согласуется с тем, что происходит в развитых странах с относительно небольшой плотностью населения. Однако, по мнению многих специалистов, для перенаселенных стран с высоким приростом населения и к тому же с бедными природными ресурсами борьба с голодом и нищетой является важнейшим приоритетом, из-за которого экологические цели в них остаются без внимания и напрямую зависят от развития экономики.

Экологическая ответственность – многоплановый социально-экономический и правовой институт, в основе которого лежит экологическое правонарушение, состоящее в несоблюдении, невыполнении или ненадлежащем исполнении экологических норм. Сущность экологической ответственности заключается в четырех функциях: стимулирующей, карательной, компенсационной и превентивной.

Грань между экономической и юридической ответственностью определена предельно точно – экологическое правонарушение. Соотношение юридической и эколого-экономической ответственности за причинение вреда природной среде показано в табл. 9.12.

Табл. 9.12. Правовая и эколого-экономическая ответственность

Основные признаки	Правовая ответственность	Эколого-экономическая ответственность
Основание возникновения ответственности	Экологическое правонарушение: выброс вредных веществ сверх установленных лимитов, порча, уничтожение природных объектов	Факт причинения правомерного вреда хозяйствующим субъектом. Материальная заинтересованность в сокращении и полном устранении вреда природной среде.
Истец	Потерпевшие вред, их законные представители	Государственные органы по охране окружающей природной среды.
Ответчик	Причинители вреда: юридические лица, физические лица	Хозяйствующие субъекты: загрязнители окружающей природной среды, а также иные юридические или физические лица, виновные в экологическом правонарушении.
Порядок определения причиненного вреда	По утвержденным таксам. По утвержденным методикам. По фактическим затратам физическим лицам – возможность компенсации морального вреда.	По утвержденным ставкам за единицу выброса, сброса, захоронения вредных веществ, освоения новых площадей. В пределах заявленных исковых требований.
Порядок взыскания причиненного вреда	Через федеральный либо арбитражный суд	В бесспорном порядке
Использование сумм возмещения вреда	На восстановление нарушенного состояния и возмещение убытков	Перечисление в экологические фонды платежей предприятий для использования на цели охраны окружающей природной среды. Физические лица – на восстановление здоровья

Эколого-правовой ответственности присущи некоторые особенности: она вытекает из природоохранных правоотношений по факту нарушения конкретной эколого-правовой нормы; она представляет собой конкретную санкцию, предусмотренную законом за данное эколого-правовое нарушение.

Экологическое правонарушение – это виновное, противоправное действие или бездействие, посягающее на установленный в Российской Федерации экологический правопорядок и причиняющее вред окружающей природной среде либо реально создающее угрозу такого причинения.

Объекты экологического правонарушения – это природная среда, охраняемая законом от загрязнения, истощения, разрушения, а также здоровье человека и материальные ценности, состояние которых зависит от качества окружающей природной среды.

Объективная сторона подразумевает поведение субъекта экологического правонарушения, носящее противоправный характер.

Противоправность – это лишь один элемент объективной стороны состава экологического правонарушения. Другим является причинение вреда природной среде, который рассматривается как результат противоправного поведения причинителя вреда.

Экологические правонарушения классифицируются по нескольким признакам:

- по предмету (все правонарушения, связанные с охраной и использованием окружающей природной среды);
- по объектам охраны окружающей природной среды;
- по санкциям (по применению вида юридической ответственности);
- по способу причинения вреда.

По предмету все экологические правонарушения можно разбить на 3 группы:

- направленные против собственности, т. е. права владения, пользования и распоряжения природными ресурсами;
- противоречащие экологическим требованиям охраны природной среды;
- препятствующие хозяйственной эксплуатации природных ресурсов (уничтожение межевых знаков, повреждение гидротехнических сооружений и т.д.).

По объектам охраны экологические правонарушения делятся сообразно отраслевым признакам, т. е. могут быть земельные, водные, лесные правонарушения, нарушения законодательства о недрах, об атмосферном воздухе, об охране животного мира и т.п.

По способу причинения вреда экологические правонарушения можно подразделить на 5 групп:

- загрязнения природной среды;
- нерациональное использование природных ресурсов;
- порча, уничтожение, повреждение природных объектов;
- истощение природных ресурсов;
- разрушение природной среды, ее экологических связей.

По санкциям все экологические правонарушения подразделяют на экологические проступки и экологические преступления. За экологические проступки предусмотрена административная ответственность.

Административная ответственность – это применение государственными органами, должностными лицами и представителями власти установленных государством мер административного наказания к гражданам, а в соответствующих случаях – к юридическим лицам за нарушения законности и государственной дисциплины.

За экологические правонарушения административное законодательство предусматривает следующие санкции:

- предупреждение,
- штраф (в кратном размере к минимальной оплате труда),
- изъятие орудия и средства совершения правонарушения (эта мера часто применяется при незаконном природопользовании);
- конфискация незаконно добытой продукции (безвозмездное изъятие в доход государства),
- лишение гражданина специального права на занятие определенной деятельностью (например, за незаконную охоту может быть применено лишение права на охоту сроком до пяти лет)

По своему содержанию все экологические составы административных правонарушений подразделяют на 3 группы:

- обеспечивающие экологическую безопасность;
- охраняющие природные объекты от самовольного занятия;
- охраняющие от нарушений природные объекты и комплексы.

Экологические составы преступлений в действующем законодательстве устанавливаются с учетом следующих факторов:

- федерального природоохранительного закона;
- состояния экологической законности в стране;
- преювенности в квалификации экологических преступлений.

Для применения уголовной ответственности за совершенное экологическое преступление важное значение имеют следующие особенности экологического вреда.

Таким образом, счастливое будущее человечества, предотвращение экологических кризисов и достижение целей устойчивого развития станет возможным только при комплексном внедрении программ экологического мониторинга и контроля территорий и акваторий, технологий очистки и обезвреживания воды и воздуха, реализации государственных проектов по охране природы и улучшению качества жизни населения, а также строгом выполнении нормативных и правовых актов в области обеспечения экологической безопасности.

Краткий словарь экологических терминов и понятий

А

Абиссаль – глубоководная зона ложа океана, расположенная, как правило, ниже 2000–2500 тыс. м. Характеризуется долговременным постоянством значений параметров морской среды.

Абразия – процесс разрушения берегов и прибрежных частей дна крупных водоемов (морей, озер, водохранилищ) волнами и прибоем. Интенсивность абразии зависит от силы и постоянства воздействующих волн.

Авария экологическая – производственная или транспортная ситуация, не предусмотренная действующими технологическими регламентами и правилами и сопровождающаяся существенным увеличением воздействия на окружающую среду. По характеру риска А.э. можно разделить на следующие группы: выбросы и сбросы химических веществ стационарными источниками; выбросы бактериологических и биологически активных веществ; выбросы радиоактивных веществ; взрывы и пожары; внезапные обрушения зданий и различных сооружений (гидродинамических, электроэнергетических, коммунальных систем, очистных сооружений и др.); транспортные аварии (аварии при перевозках пассажиров и грузов наземным, водным и воздушным видами транспорта, аварии на трубопроводах); чрезвычайные ситуации, связанные с испытаниями военной техники и пр.

Адаптация (от лат. *adaptatio* – приспособление, прилаживание) – совокупность морфофизиологических, популяционных и других свойств живых организмов, обеспечивающих возможность устойчивого выживания в конкретных условиях среды. Различают общую адаптацию. (приспособление к широкому диапазону условий среды) и частные адаптации (приспособление к локальным или специфическим условиям среды). К некоторым факторам среды адаптация может быть частичной, в крайне же экстремальных условиях организмы могут оказаться полностью не способны к адаптации. В последнем случае организмы ищут более подходящую среду, и возникают процессы миграции и реиммиграции.

Аквакультура – выращивание и разведение полезных организмов в водной среде, в том числе *марикультура* (морская аквакультура) – выращивание ценных видов рыб, беспозвоночных животных, водорослей в морях, лагунах, лиманах. Производительность аквакультуры составляет от 200–500 кг/га в водоемах умеренной климатической зоны, до 1–2 т/га в тропических водоемах.

Аллелогония – непосредственные взаимоотношения организмов в сообществах с переносом энергии и вещества от одной особи к другой.

Аллелопатия – бесконтактное влияние совместно проживающих организмов различных видов друг на друга посредством выделения химических продуктов жизнедеятельности.

Альбедо (от лат. *albus* – светлый) – величина, характеризующая отражательную способность любой поверхности; выражается отношением радиации, отражаемой

поверхностью, к солнечной радиации, поступившей на поверхность. Значимый климатообразующий фактор. Альbedo чернозема – 0,15; песка 0,3–0,4; чистого снега – 0,85–0,95. Среднее альbedo Земли – 0,39; Луны – 0,07.

Аменсализм – тип межвидового взаимодействия, заключающийся в подавлении одного организма другим без обратного отрицательного воздействия со стороны подавляемого. В отличие от хищничества, процесс подавления (угнетения) одного организма другим занимает длительное время. При этом не всегда угнетающий вид получает очевидную выгоду, что имеет место в случае *паразитизма*. Например, высокое дерево с раскидистой кроной способно привести к затенению и подавлению роста соседствующие более низкорослые деревья других видов, но нехватка света будет действовать губительно и на собственные дочерние молодые всходы.

Амплитуда экологическая – пределы приспособляемости вида или сообщества к изменяющимся условиям среды.

Амфибионт – организм, живущий в одних возрастных фазах своего развития (обычно личиночных) в воде или почве, а в других – на поверхности суши. Такой образ жизни свойственен, например, для большинства лягушек, комаров, стрекоз.

Антропогенные изменения в природе – изменения, происходящие в природе в результате хозяйственной деятельности человека.

Антропогенный объект – объект, созданный человеком для обеспечения его социальных потребностей и не обладающий свойствами природных объектов.

Антропогенный фактор – влияние, оказываемое человеком и его деятельностью на организмы, биогеоценозы, ландшафты, биосферу (в отличие от естественных или природных факторов).

Апвеллинг – процесс подъема к поверхности холодных глубинных океанических или морских вод, с высокими концентрациями *биогенных* веществ. Происходит в результате ветрового сгона поверхностных вод от побережья и формирования системы вертикальной циркуляции воды. Районы мощных апвеллингов (побережье западной Африки и Южной Америки и др.) – одни из самых важных с точки зрения высокой биологической продуктивности, в том числе применительно к промысловым видам рыб.

Ареал (от лат. *area* – площадь, пространство) – территория или акватория, в границах которых распространены рассматриваемые объекты или явления (А. вида; А. типа ландшафта; А. антропогенного воздействия).

Ареал естественный – ареал, не измененный человеческой деятельностью.

Ареал экологический – регион, где вид может обитать в связи с наличием подходящих для него условий вне зависимости от того, где расположен этот регион и отделен ли он непреодолимыми для вида преградами.

Аридизация (от лат. *aridus* – сухой) – сложный и разнообразный комплекс процессов уменьшения степени увлажненности территорий и вызванного этим сокращения биологической продуктивности экосистем. А. происходит как в силу природных (циклические изменения климата), так и антропогенных (откачка подземных вод, эрозия, пыльные бури) причин. Следствием А. является опустынивание и углубление степени сухости пустынных территорий.

Аридный климат – сухой климат областей с недостаточным атмосферным увлажнением и высокими температурами воздуха, испытывающими большие суточные колебания. В условиях А.к. преобладают ландшафты пустынь и полупустынь, широко распространены эоловые формы рельефа

Ассимиляция (на организменном уровне) – процесс трансформации веществ, поступающих из внешней среды в процессе питания (белков, жиров, углеводов) в вещества, характерные для тканей и органов данного вида. При ассимиляции происходит разложение чужеродных органических компонентов до структурных составляющих (например, белки разлагаются до аминокислот), а затем из них синтезируются вещества соответствующие генетической специфике данного вида.

Ассимилирующая способность водного объекта – способность водного объекта принимать определенную массу загрязняющих веществ (также определенное количество

тепла) в единицу времени без нарушения норм качества воды в контрольном пункте или пункте водопользования.

Ассимиляционная емкость экосистемы – показатель максимальной динамической вместимости количества загрязняющего вещества, которое может быть за единицу времени накоплено, разрушено, трансформировано и выведено за пределы экосистемы без нарушения нормальной ее деятельности. Величина А.е.э. зависит от множества природных и антропогенных факторов, физических и химических свойств загрязняющего вещества; однако, решающую роль при этом играют биологические процессы. Напр., при практической оценке А.е. океана можно выделить 3 основных процесса: гидродинамику, микробиологическое окисление органических загрязняющих веществ, биоседimentацию. Термин предложен Ю.А. Израэлем.

Атмосфера (от гр. *atmos* – пар и *sphaire* – шар) – газообразная оболочка Земли и других небесных тел. У земной поверхности в основном состоит из азота (78,08 %), кислорода (20,95 %), аргона (0,93 %), водяного пара (0,2–2,6 %), углекислого газа (0,03 %). Газовый состав А. может служить интегральным индикатором состояния биосферы. По распределению температуры с высотой А. делят на следующие слои: тропосферу, где наблюдается интенсивная атмосферная турбулентность и развиваются погодные процессы (образование облаков, выпадение осадков и пр.); над тропосферой расположен переходный слой – тропопауза, выше которой стратосфера, мезосфера, термосфера и экзосфера, составляющие вместе т. н. верхние слои А.

Ацидификация (почв, природных вод) (от лат. *acidus* – кислый и *facere* – делать) – увеличение кислотности (уменьшение величины водородного показателя – *pH*) природных компонентов (воды, почвы); происходит вследствие применения физиологически кислых минеральных удобрений и выпадения кислых осадков.

Аэрокосмические методы исследования – вариант дистанционных методов исследования, система методов изучения свойств ландшафтов и их изменений с использованием вертолетов, самолетов, пилотируемых космических кораблей, орбитальных станций и специальных космических аппаратов, оснащенных, как правило, разнообразной съемочной аппаратурой. Выделяют визуальные, фотографические, электронные и геофизические методы исследования. Применение А.м.и. ускоряет и упрощает процесс картографирования и имеет большое значение при организации мониторинга за состоянием окружающей среды.

Аэротоксация (от гр. *aer* – воздух и лат. *taxatio* – оценка) – качественная и количественная оценка природных ресурсов (главным образом, леса) с летательных аппаратов путем глазомерного их определения или анализа аэрофотоснимков.

Б

Базис эрозии (гр. *basis* – основание) – горизонтальная поверхность, на уровне которой водоток теряет свою силу и водная эрозия прекращается. Различают: общий Б.э. (уровень Мирового океана) и местный Б.э. (уровень воды в озере, месте впадения притоков в реку, выходов твердых пород, запруживающих реку, и др.).

Баланс водный (от фр. *balance* – весы) – соотношение за какой-либо промежуток времени (год, месяц) прихода и расхода воды для речного бассейна, озера, планеты в целом или иного исследуемого объекта.

Балансовые методы – совокупность приемов, позволяющих исследовать и прогнозировать развитие природных объектов путем сопоставления прихода и расхода вещества, энергии и других потоков. В основе Б.м. лежит баланс, оценивающий количественно движение потока в пределах анализируемого объекта.

Барьер географический – любая географическая преграда (водное пространство, горы), препятствующее обмену генами между близкородственными популяциями.

Бассейн водосборный, или водосбор – территория, с которой в данную реку или озеро стекают поверхностные и подземные воды. Б. в. ограничен водоразделом.

Бассейновый подход – совокупность приемов в географических и экологических исследованиях, в основу которой положено представление о континуальности географической оболочки, где в качестве основного интегрирующего фактора выступает водный сток. В соответствии с Б.п. пространственная структура географической оболочки представляется системой иерархий бассейнов разного ранга. Б.п. удобен для балансовых расчетов, где на входе – осадки, выпадающие на площадь бассейна, а на выходе – речной сток. В то же время применимость Б.п. ограничена в районах с интенсивными эоловыми и карстовыми явлениями.

Бедленд (от англ. *bad lands* – дурные, плохие земли) – территории (ландшафты) с резко и сложно расчлененным рельефом; со сложной сетью ветвящихся узких водоразделов; труднодоступными районами, непригодными для земледелия. Б. встречаются преимущественно в аридном, семиаридном или сухом тропическом климате.

Бедствие стихийное – любое разрушительное, как правило, непредотвратимое природное явление: землетрясение, наводнение, тайфун, извержение вулкана, засуха, опустынивание, массовое размножение вредителей, пыльные бури, отсутствие насекомых-опылителей, угрожающее урожаю и др. Среди Б.с. самыми опасными, по данным ООН, являются циклоны, особенно тропические.

Безопасность экологическая – положение, при котором отсутствует угроза нанесения ущерба природной среде и здоровью населения. Б.э. может быть количественно оценена степенью риска экологического (в этом аспекте Б.э. имеет место тогда, когда риск не превышает некоторого приемлемого уровня) и достигается совокупностью мероприятий, направленных на снижение отрицательного антропогенного воздействия на окружающую среду. Б.э. – существенная часть национальной безопасности. Субъекты Б.э.: индивидум, общество, государство, биосфера.

Бенталь – донная зона океана, моря или крупного озера.

Бентос – биологическое сообщество обитателей дна водоема или водотока (моллюски, иглокожие, губки, донные рыбы и др.)

Биогенные породы – горные породы, состоящие в основном из остатков вымерших животных (зоогенные горные породы), растений (фитогенные горные породы) и продуктов их жизнедеятельности. К ним принадлежат, например, ракушечники, торф.

Биогенные элементы (биогены) – химические элементы, абсолютно необходимые для формирования живых клеток и тканей, определяющие вещественный состав аминокислот и белков. Главным образом это С, Н, N, Р и др.

Биогеография (от гр. *bios* – жизнь и география) – научная дисциплина, изучающая закономерности распределения растительного покрова и животного населения в биосфере в зависимости от типа климата и конкретных факторов среды.

Биогеографическая область – крупное по площади флористически-фаунистическое подразделение земного шара, выделяемого главным образом по общности историко-эволюционного развития фауны и флоры. Как правило, внутри области флора и фауна характеризуются высокой степенью однородности. При переходе же от одной области к другой наблюдается резкий сдвиг в таксономическом составе на уровне родов и семейств.

Биогеографический барьер – любое препятствие (географического и биологического характера) на пути распространения вида или сообщества популяций животных и растений. Например, изотерма 100С лимитирует распространение к северу термита *Reticulitermes lucifugus*.

Биогеохимический барьер, или ландшафтно-геохимический барьер – зона резко повышенных концентраций тех или иных химических элементов по сравнению со средним содержанием их в данной экосистеме (ландшафте). Б.б. возникает, как правило, в зоне контакта между компонентами экотопа и биоценоза, отличающимися по своим физическим (например, фильтрационным), химическим (различие окислительно-восстановительных, кислотнo-щелочных условий) или биологическим (активная деятельность определенных групп микроорганизмов) свойствам.

Биогеохимический круговорот химических элементов – циклические процессы перемещения и трансформации химических элементов в пределах биосферы, происходящие между ее (био)хорологическими подразделениями: биогеоценозами, ландшафтами и т.п.

Биогеоценоз (от гр. *bios* – жизнь, *ge* – земля и *koinos* – общий) – совокупность на известном протяжении земной поверхности однородных природных явлений (атмосферы, горной породы, растительности, животного мира и мира микроорганизмов, почвы и гидрологических условий), имеющая свою особую специфику взаимодействий этих составляющих ее компонентов и определенные типы обмена веществом и энергией их между собой и с другими явлениями природы и представляющая собой внутренне противоречивое диалектическое единство, находящееся в постоянном движении, развитии. Биогеоценоз – основной объект исследования биогеоценологии и экологии в целом. Понятие Б. близко к понятию экосистема.

Биогеоценология (от гр. *bios* – жизнь, *ge* – земля, *koinos* – общий и *logos* – слово, учение) – научная дисциплина, исследующая строение и функционирование биогеоценозов, отрасль знания на стыке биологии (экологии) и географии.

Биоиндикация – совокупность методов оценки текущего состояния и изменений в наземных и водных экосистемах, под влиянием естественных природных и антропогенных воздействий, на основе исследования видового состава и численности живых организмов, обладающих специфическими устойчивыми адаптациями к жизни в среде с различным уровнем загрязнения. Широко распространенный, официально признанный и достаточно эффективный метод оценки загрязнения территорий и акваторий. По сравнению с химическими методами оценки состояния экосистем, с помощью которых возможно получить данные в основном о качественном и количественном составе загрязняющих веществ, биоиндикация дает представление о последствиях влияния процесса загрязнения на живые организмы, их популяции и сообщества.

Биоиндикаторы (от гр. *bios* – жизнь и лат. *indico* – указываю, определяю) – организмы, присутствие, количество или особенности развития которых служат показателями естественных процессов, условий или антропогенных изменений среды. Для целей биоиндикации могут быть использованы также целые сообщества организмов (биоценозы). Наиболее широко распространенными группами организмов, используемых в процессе биоиндикации качества воздуха, являются лишайники и хвойные породы деревьев. Для оценки качества водной среды с успехом используются определенные виды водных личинок насекомых (ручейники, веснянки, поденки и др.), моллюски, черви, ракообразные. Данные о численности, встречаемости, возрастном составе и других биологических показателях видов-биоиндикаторов позволяют адекватно оценить качество среды и последствия возможного ее загрязнения.

Биологическая активность почв – совокупность биологических процессов в почве. О Б.а.п. судят по интенсивности дыхания почвы (потребление кислорода, выделение углекислоты), ферментативной активности почвы и другим показателям. Повышению Б.а.п. способствует внесение органических и бактериальных удобрений, использование правильных севооборотов, а также применение мелиорантов (известки, гипса) для поддержания благоприятных физико-химических свойств почвы и мероприятий, улучшающих водный, окислительно-восстановительный и тепловой режимы.

Биологическая продуктивность – способность биогеоценоза на основе использования вещества и энергии к воспроизводству органического вещества.

Биологическая продукция экосистемы общая – количество органического вещества, производимого в единицу времени на единицу площади (например, в кг/га в год) живыми организмами, входящими в состав экосистемы (биогеоценоза, ландшафта). Иногда оценивается также по скорости, с которой энергия усваивается организмами (например, ккал/мг живого вещества в год).

Биологическая продукция первичная – прирост биомассы (фитомассы) автотрофных организмов за единицу времени.

Биологическая продукция первичная чистая – количество органического вещества, продуцируемого автотрофами в единицу времени, за вычетом затрат на дыхание.

Последние составляют до половины создаваемого при фотосинтезе органического вещества.

Биологическая продукция вторичная – прирост биомассы гетеротрофов за единицу времени.

Биологический круговорот веществ – поступление веществ из почвы и атмосферы в живые организмы с соответствующим изменением их химической формы, возвращение их в почву и атмосферу в процессе жизнедеятельности организмов и с посмертными остатками и повторное поступление в живые организмы после процессов деструкции и минерализации с помощью микроорганизмов. Такое понимание Б.к.в. (по Н.П. Ремезову, Л.Е. Родину и Н.И. Базилевич) соответствует биогеоценотическому уровню. Точнее говорить о биологическом круговороте химических элементов, а не веществ, поскольку на разных стадиях круговорота вещества могут химически видоизменяться. По данным В.А. Ковды (1973), ежегодная величина Б.к. зольных элементов в системе почва–растение значительно превышает величину годового геохимического стока этих элементов в реки и моря и измеряется колоссальной цифрой 109 т/г. Синонимы: биогенный круговорот, биотический круговорот.

Биом (англ. *biome* от гр. *bios* – жизнь и лат. *oma* – окончание, означающее совокупность) – крупное региональное или субконтинентальное подразделение биосферы, характеризующееся каким-либо основным типом растительности или другой характерной особенностью ландшафта. Крупный биоценоз или экосистема в масштабах географической природной зоны.

Биомасса – выраженное в единицах массы количество функционирующего живого вещества, отнесенное к единице площади или объема. Выделяют Б. консументов, продуцентов, редуцентов и т.п. Б. суши составляет примерно 1012–1013 т. Различают фитомассу, зоомассу, массу микроорганизмов.

Биосфера (от гр. *bios* – жизнь, *sphaira* – шар) – одна из оболочек (сфер) Земли, состав и энергетика которой в существенных своих чертах определены работой живого вещества. Термин Б., введенный Э. Зюссом (1875), в результате работ В.И. Вернадского стал обозначать всю ту наружную область планеты Земля, в которой не только существует жизнь, но которая в той или иной степени видоизменена или сформирована жизнью. С точки зрения иерархии уровней организации живой материи и системного подхода биосфера – совокупность всех экосистем (биогеоценозов). Все экологические ниши, пригодные для жизни заняты Б., возникшей одновременно с появлением жизни на Земле (около 4 млрд лет назад) в виде примитивных протобиоценозов в первичном Мировом океане. Около 450 млн лет назад живые организмы стали заселять сушу, где их эволюция (возможно, в силу более жестких, чем в океане, экологических условий) ускорила, и в результате соотношение числа видов животных и растений в Мировом океане и на суше составляет примерно 1:5. Основными факторами эволюции биосферы являются абиотические (геологические, космические), биотические (изменчивость, т. е. мутации, наследственность, борьба за существование, естественный отбор), а также антропогенные.

Биота (от гр. *biote* – жизнь) – исторически сложившаяся совокупность организмов всех видов обитающих на данной территории. Понятие «биота» соответствует по смыслу термину «биоценоз», но обычно употребляется в более широком, обобщающем плане, без таксономической детализации отдельных форм жизни.

Биотестирование – оценка (преимущественно в лабораторных условиях) качества объектов окружающей среды с использованием живых организмов. В опытах по биотестированию обычно оценивается степень и характер влияния определенного вещества по данным, полученным в процессе наблюдений за выживаемостью определенного организма (тест-объекта) или их группы. Традиционными объектами биотестирования различных химических веществ являются мышевидные грызуны, лягушки, низшие планктонные ракообразные (дафнии) и др.

Биотоп (от гр. *bios* – жизнь, *topos* – место) – однородный по условиям жизни для определенных видов растений или животных, или же для формирования определенного

биоценоза участок территории. Основные биотопы Земли: моря и океаны – 71 %; горы и пустыни – 16 %; ледники, джунгли, леса – 8 %; земли, пригодные для обработки – 5 %.

Биохимическое потребление кислорода органическими соединениями – определяется количеством кислорода, пошедшим за установленное время (обычно 5 суток – БПК₅) в аэробных условиях на окисление загрязняющих веществ, содержащихся в единице объема воды. Как правило, в течение 5 суток при нормальных условиях происходит окисление ~ 70 % легкоокисляющихся органических веществ; практически полное окисление (БПК_{полн.} или БПК₂₀) достигается в течение 20 суток. Для источников централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения (ГОСТ 17.1.3.03-77) и водных объектов, используемых в рыбохозяйственных целях, БПК полное не должно превышать 3 мг О₂/л.

Биоценоз (от гр. *bios* – жизнь, *koinos* – общий) – совокупность популяций растений, грибов, животных и микроорганизмов, имеющая определенный состав и сложившийся характер взаимоотношений как между собой, так и со средой. Термин введен немецким гидробиологом К. Мебиусом (1877).

Биоценоз насыщенный – биоценоз с полным, максимальным набором видов растений и животных, в котором нет места для мигрантов (экваториальные тропические леса, широколиственные леса умеренных широт и другие естественные сообщества). Б.н. характеризуется высокой степенью стабильности.

Биоценоз ненасыщенный – биоценоз с обедненным набором популяций, в который, как правило, могут беспрепятственно проникать чужие организмы. Ненасыщенность характерна для агроценозов, уязвимых для вредителей и сорняков.

Богатство видовое – характеристика сообщества, определяемая либо относительным, либо абсолютным числом видов.

Бонитет (от лат. *bonitas* – доброкачественность) – экономически значимая характеристика хозяйственно ценной группы объектов или угодий, отличающая их от других подобных образований (Б. леса, Б. почвы).

Бонитировка почвы – сравнительная характеристика качества земельных угодий (в баллах) на основе почвенных обследований. Необходима для экономической оценки земель, ведения земельного кадастра, мелиорации и т.п.

В

Вегетационный период – период года, в который возможен рост и развитие (вегетация) растительности в данных климатических условиях. В.п. – время активной жизнедеятельности и важнейший биоклиматический показатель.

Вечная (многолетняя) мерзлота – условный неопределенный термин, используемый в разных значениях: 1) явления длительного охлаждения горных пород верхней части земной коры до нулевой температуры; 2) слой или область распространения долгое время не оттаивающих горных пород; 3) горные породы, сцементированные замерзшей в них влагой (многолетние мерзлые породы).

Взрыв популяционный – резкое, как правило, многократное увеличение численности особей какого-либо вида, связанное с изменением обычных механизмов ее регуляции. Часто В.п. наблюдается при интродукции видов. Примером В.п. является взрыв демографический.

Виоленты (от лат. *violent* – неистовый) – тип стратегии растений по Л.Г. Раменскому, отличающийся высокой конкурентоспособностью. Это деревья, реже кустарники и травы с мощным габитусом и развитой корневой системой, позволяющими В. ставить под контроль ресурсы эдафической среды и света. В сукцессиях В. доминируют на последних стадиях (например, бук в лесу, тростник в дельтах рек средней полосы).

Водоем дистрофный – водоем с очень малым содержанием биогенных веществ и потому бедный жизнью.

Водоем мезотрофный – водоем средней продуктивности (со средним содержанием биогенных элементов).

Водоем олиготрофный – водоем с низким уровнем первичной продуктивности (низким содержанием биогенных элементов).

Водоем полисапробный (от гр. *poly* – много и *sapros* – гнилой) – водоем с большим содержанием органических веществ и потому населенный сапробионтами. В.п. нередко образуется в местах спуска сточных вод.

Водоем эвтрофный – неглубокий, хорошо прогреваемый водоем, отличающийся большой продуктивностью и повышенным содержанием биогенных элементов.

Водораздел – линия, разделяющая бассейны водосборные (водосборы) смежных рек, водоемов или скоплений подземных вод. Различают: главный В. – между соседними речными системами; боковой В. – между смежными притоками основной реки, а также поверхностный и подземный водораздел.

Водородный показатель (pH) – величина, характеризующая концентрацию (активность) ионов водорода в растворах; численно равен отрицательному десятичному логарифму концентрации (активности) ионов водорода $[H^+]$, выраженной в молях на литр: $pH = -\lg[H^+]$. Водные растворы могут иметь pH от 1 до 14: нейтральные – 7; кислые < 7; щелочные > 7.

Воздействие на окружающую среду отрицательное – любые потоки вещества, энергии и информации, непосредственно образующиеся в окружающей среде или планируемые в результате антропогенной деятельности и приводящие к негативным изменениям окружающей среды. При воздействии нескольких факторов на организмы различают: комбинированное воздействие – суммарное действие нескольких факторов одной природы (например, ряда химических веществ); сочетанное воздействие – суммарное действие нескольких факторов различной природы (например, химического вещества и ультрафиолетового излучения); комплексное воздействие – многоплановое воздействие одного фактора (например, поступление одного и того же вещества респираторно и через кожу).

Вред окружающей среде – негативное изменение окружающей среды в результате ее загрязнения, повлекшее за собой деградацию естественных экологических систем и истощение природных ресурсов. Источником вреда могут являться как антропогенные, так и природные процессы.

Временно разрешенные выбросы – объем или масса химических веществ либо смеси химических веществ, микроорганизмов, иных веществ, разрешенные для выброса в атмосферный воздух и устанавливаемые для действующих стационарных источников в целях достижения нормативов допустимых выбросов на период выполнения плана мероприятий по охране окружающей среды или достижения технологических нормативов на период реализации программы повышения экологической эффективности (согласно Федеральному закону от 21.07.2014 № 219-ФЗ).

Время самоочищения почвы – интервал времени, в течение которого происходит уменьшение массовой доли загрязняющего почву химического вещества на 96 % от первоначального значения.

Встречаемость вида – количественный показатель, используемый в экологических исследованиях для учета степени присутствия и распределения вида (или набора видов). Для определения В.в. используется метод подсчета с пробных площадок-выборок. Если интересующий вид встречается более чем в 50 % площадок, его В.в. высокая, если менее чем в 25 % – он случаен.

Выветривание – процесс механического разрушения и химического изменения горных пород и минералов земной поверхности и приповерхностных слоев литосферы под влиянием различных атмосферных агентов, грунтовых и поверхностных вод, жизнедеятельности организмов и продуктов их разложения. Различают химическое, физическое и биологическое выветривание.

Выживаемость – средняя вероятность сохранения организмов того или иного поколения для жизни и участия в функционировании экосистем. Для количественного учета и оценки выживаемости вида под влиянием естественных или антропогенных факторов строят специальные таблицы выживания.

Выносливость – способность живых организмов переносить неблагоприятные воздействия окружающей их среды. Высокая выносливость является предпосылкой выживания видов, низкая в условиях постоянного (в т.ч. антропогенного) изменения среды ведет к сокращению и исчезновению вида.

Г

Генотоксичность – свойство химических, физических и биологических факторов повреждать структурно-функциональное состояние генетических структур клеток. Генотоксичностью обладает, например, ультрафиолетовое и гамма-излучение.

Генотоксичность почвы – способность загрязненной почвы влиять на структурно-функциональное состояние генетического аппарата почвенной биоты, включая микроорганизмы, растительность и почвенную фауну.

Генофонд, или генетический фонд (от греч. *genos* – род, происхождение и лат. *fundus* – основание) – наследственная информация, заключенная в совокупности генов какой-либо группы особей. Иногда под генофондом понимается вся совокупность видов живых организмов.

Гетеротрофы (от гр. *heteros* – другой и *trophe* – пища) – микроорганизмы, животные, некоторые растения и грибы, питающиеся готовыми органическими веществами, использующие, трансформирующие и разлагающие сложные соединения.

Д

Деградация (лат. *degradatio* – снижение, движение назад, ухудшение) – постепенное снижение сложности, энергетического потенциала и емкости системы, практически необратимое в реальных масштабах времени. Деградация означает ухудшение из поколения в поколение приспособляемости организма, популяции или экосистемы, вызванное неблагоприятными условиями существования, инбридингом или болезнями.

Деградация почвы – устойчивое ухудшение свойств почвы как среды обитания биоты, а также снижение ее плодородия в результате воздействия природных или антропогенных факторов. Д.п. может быть разделена на физическую (ухудшение гидрофизических свойств почвы, нарушение почвенного профиля), химическую (ухудшение химических свойств почвы, истощение запасов питательных элементов, вторичное засоление, вторичное осолонцевание, загрязнение ксенобиотиками) и биологическую (снижение видового разнообразия, нарушение оптимального соотношения различных видов почвенной мезофауны и микроорганизмов, загрязнение почвы патогенными и другими не свойственными ей микроорганизмами, ухудшение санитарно-эпидемиологических показателей и др.). Причиной Д.п. являются нерациональная хозяйственная деятельность, перевыпас, сведение лесов и др.

Деградация экосистемы – устойчивое ухудшение качественных и количественных показателей ее элементов в результате воздействия природных или антропогенных факторов. Характеризуется крайней степенью изменения структуры экосистемы (ландшафта), что выражается в полной потере способности выполнять ресурсо- и средовоспроизводящие функции. Деградация экосистемы возможна как в результате нерегулируемой человеческой деятельности, так и естественных причин. Может являться следствием стихийных природных процессов: землетрясения, извержения вулканов, ураганов и т.д. Деградация экосистемы означает его переход на более низкий энергетический уровень.

Дефляция (от лат. *deflatio* – выдувание, сдувание) – выдувание, обтачивание и шлифование горных пород и почв минеральными частицами, переносимыми ветром, в результате которых происходит эрозия и абиотический перенос вещества.

Диапазон толерантности – минимальное и максимальное значение экологического фактора, переносимого данным организмом или экосистемой в целом.

Дигрессия (англ. *degression* – уменьшение) – ухудшение состояния экосистем из-за внешних (экзогенных) или внутренних (эндогенных) причин. Различают дигрессии: *экзодинамическую* (при длительном затоплении, вторичном засолении и т.п., *антроподинимическую* (сенокосную, пастбищную) и *эндодинамическую* (например, при биогенном засолении поверхности почвы). Финальная стадия дигрессии – *катаценоз*, после которой экосистема окончательно разрушается.

Дистрификация водоема (от греч. *dys* – приставка, обозначающая нарушение, утрату, и *trophe* – пища, питание) – обеднение водоема питательными веществами, кислородом, упрощение и обеднение биотического сообщества. Противоположность процесса эвтрофикации.

Допустимая рекреационная нагрузка – число посещений населением в единицу времени на единицу площади, при котором сохраняется устойчивость природного комплекса, обеспечиваются природный комфорт и рациональные условия эксплуатации культурно-исторических памятников.

Дублирование экологическое – относительная функциональная взаимозаменяемость популяций (ценопопуляций) видов одной трофической группы в экосистеме. Д.э. – один из механизмов обеспечения надежности (устойчивости) экосистем, поскольку при Д.э. исчезнувший или уничтоженный вид, как правило, заменяется функционально близким.

Е

Емкость среды: 1) число особей или их сообществ, потребности которых могут быть удовлетворены ресурсами данного местообитания без заметного ущерба для его дальнейшего благосостояния; 2) способность природной среды включать в себя (абсорбировать) различные (загрязняющие) вещества, сохраняя устойчивость.

Емкость угодий – мера числа людей или животных, которые могут использовать определенную территорию без ее нарушения в течение неопределенно длительного времени (для людей – рекреационная емкость). По смыслу близко к понятию «природно-ресурсный потенциал».

Естественная защищенность подземных вод – совокупность гидрогеологических условий (глубина залегания подземных вод, литология зоны аэрации, наличие водоупорных перекрытий и др.), обеспечивающая предотвращение проникновения загрязняющих веществ в водоносные горизонты. В условиях сильного и устойчивого загрязнения естественная защищенность подземных вод значительно снижается.

Ж

Живое вещество – согласно В.И. Вернадскому, «совокупность всех живых организмов, в данный момент существующих, численно выраженная в элементарном химическом составе, в весе, энергии». Ж.в. неотделимо от биосферы, являясь одной из самых могущественных геохимических сил нашей планеты, и обладает целым рядом уникальных свойств (например, поляризовать свет в отличие от неживого вещества – закон Пастера–Кюри).

Жизненная форма. 1) В ботанике – внешний облик (габитус) растения, отражающий приспособленность к условиям среды. Ж.ф. также называют единицу экологической классификации растений – группу растений со сходными приспособительными структурами, необязательно связанных родством (например, кактусы и молочаи образуют Ж.ф. стеблевых суккулентов). Ж.ф. у растений изменяется в ходе индивидуального развития. Один и тот же вид растения в разных условиях может иметь разные Ж.ф. Синоним: Биоморфа. 2) В зоологии понятие Ж.ф. стало применяться лишь в XX в. и еще не достаточно разработано. При выделении Ж.ф. и классификации по ним организмов используют наличие сходных морфоэкологических, физиологических, поведенческих и т.д.

приспособлений для обитания в одинаковой среде. Так, Д.Н. Кашкаров (1944) предложил следующую систему форм животных: плавающие, роющие, наземные, древесные лазающие, воздушные.

Жизненное пространство – средняя площадь, приходящаяся на одну особь рассматриваемой популяции. При рассмотрении человеческого общества Ж.п. – территория, необходимая для удовлетворения нужд одного человека при данных социально-экономических условиях. Для развитых стран Европы Ж.п. оценивается в 0,6–0,7 га, для США – 2 га, в т.ч. для производства пищи – 0,6 га, для выращивания технических культур – 0,4 га, для поддержания качества среды и отдыха – 0,8 га и урбанизации (здания, дороги) – 0,2 га.

Жизненность – степень стойкости живых существ к изменениям окружающей среды. Характеризуется интенсивностью размножения и выживаемости потомства, конкурентоспособностью при межвидовых и внутривидовых отношениях, приспособленностью к условиям абиотической среды, величиной годичного прироста и т.д.

3

Загрязнение – увеличение концентрации тех или иных веществ или энергии выше естественных (фоновых или допустимых пределов норм), а также внесение чуждых экосистеме (ландшафту) веществ, организмов и источников энергии под влиянием как антропогенных, так и природных (вулканизм, естественная миграция веществ) факторов. Вследствие взаимодействия компонентов экосистемы загрязнение одного из них (например, воздуха) вызывает загрязнение и других компонентов (растительности, почвы), охватывая значительную часть территории или акватории.

Загрязнение механическое – привнесение в экосистему различных чуждых ей предметов, отходов, наносов абиотических, нарушающих ее естественное функционирование.

Загрязнение физическое – привнесение в экосистему источников энергии (тепла, света, шума, вибрации, гравитации, электромагнитного, радиоактивного излучений и т.п.), проявляющееся в отклонении от нормы ее физических свойств. Различают радиационное, световое, тепловое, шумовое, электромагнитное загрязнение и др.

Загрязнение химическое – привнесение в экосистему загрязняющих веществ, чуждых ей или в концентрациях, превышающих фоновые.

Закон биогенетический (Э. Геккеля и Ф. Мюллера) – организм (особь) в своем индивидуальном развитии (онтогенезе) повторяет в сокращенном виде историческое (эволюционное) развитие своего вида (филогенез). Например, установлено, что эмбрион человека в отдельные периоды первого триместра беременности женщины имеет двухкамерное сердце и зачатки жабр, как у рыбы.

Закон биогенной миграции атомов (В.И. Вернадского) – миграция химических элементов на поверхности Земли осуществляется при непосредственном участии живых организмов (биогенная миграция) или же она протекает в среде, физические и химические особенности которой (O_2 , CO_2 , H_2 и т.д.) обусловлены деятельностью живых организмов.

Закон генетического разнообразия – все живое генетически не однородно и имеет тенденцию к увеличению своей биологической разнородности. В процессе борьбы за существование, конкуренции и естественного отбора из широкого набора носителей конкретных геномов выживают и оставляют потомство те особи, которые в наибольшей степени соответствуют по совокупности своих качеств (поведению, выносливости, способности к адаптации и др.) данным условиям среды.

Закон минимума (лимитирования) Ю. Либиха – выносливость организма определяется самым слабым звеном в цепи его экологических потребностей. Например, при достаточных количественных значениях большинства факторов среды (температура, влажность почвы, содержание биогенных веществ, концентрация газов и т.д.) растение может погибнуть от невозможности усвоить достаточное количество солнечного света, абсолютно необходимого для фотосинтеза, обитая в нижнем ярусе леса. Таким образом, наиболее значим тот фактор, который больше всего отклоняется от оптимальных для

организма значений. Установление слабого звена чрезвычайно важно для целей экологического прогнозирования, планирования и в экспертизе проектов.

Закон толерантности В. Шелфорда – любой экологический фактор имеет определенные пределы положительного влияния на живые организмы. В ряде последовательных количественных значений экологического фактора можно выделить зону оптимальной жизнедеятельности, находясь в которой организм лучше всего развивается и размножается, а также зону (зоны) нормальной жизнедеятельности и угнетения.

Закон убывающего плодородия – в связи с постоянным изъятием урожая и нарушением естественных процессов почвообразования, а также при длительной *монокультуре* (одинаковом видовом составе выращиваемых растений) в результате накопления токсичных веществ, выделяемых растениями, на культивируемых землях постепенно происходит снижением естественного плодородия. При этом внесение удобрений способно повысить урожай, но его прирост постепенно снижается.

Закон физико-химического единства живого вещества (В.И. Вернадского) – все живое на Земле физико-химически едино. Все организмы, вне зависимости от систематической принадлежности, обладают некоторыми общими базовыми принципами организации живых систем (структура и вещественный состав белка, наличие клеточной полупроницаемой мембраны, потребности в важнейших биогенных элементах, обмен веществ со средой и др.). Практическим следствием данного закона является подверженность к воздействию токсикантов низших и высших животных. Например, используя средства защиты культурных растений от насекомых-вредителей (*пестициды*), или грибов (*фунгициды*), вносимые на поле яды могут оказаться опасными и для человека, если они, или продукты их трансформации, попадут в продукты питания.

Зона чрезвычайной экологической ситуации – участки территории Российской Федерации, где в результате хозяйственной и иной деятельности происходят устойчивые отрицательные изменения в окружающей природной среде, угрожающие здоровью населения, состоянию естественных экологических систем, генетических фондов животных и растений.

Зона экологического бедствия – участки территории Российской Федерации, где в результате хозяйственной либо иной деятельности произошли глубокие необратимые изменения окружающей природной среды, повлекшие за собой существенное ухудшение здоровья населения, нарушение природного равновесия, разрушение естественных экологических систем, деградацию флоры и фауны.

И

Иерархия природных систем (экосистем) (греч. *hierarchia* от *hieros* – священный и *arche* – власть) – функциональное соподчинение (вхождение более мелких и простых в более крупные сложные) систем различного уровня. Примером И.п.с. может быть ряд: фация (биогеоценоз, элементарный ландшафт, экосистема) – местность – урочище – ландшафт – ландшафтная зона – физико-географический сектор – биосфера. Каждый уровень иерархии имеет свои особенности круговорота веществ: так, на первых уровнях преобладают вертикальные связи, на последующих все большую роль в качестве системообразующих начинают играть горизонтальные или латеральные связи.

Изменчивость – разнообразие признаков и свойств у особей и групп особей любой степени родства. И. присуща всем живым организмам. Различают И. наследственную и ненаследственную, индивидуальную и групповую, качественную и количественную, направленную и ненаправленную. Наследственная И. обусловлена возникновением мутаций, ненаследственная – факторами внешней среды. Явления наследственности и И. лежат в основе эволюции.

Индекс аридности – показатель, характеризующий степень сухости (аридности) климата. По Торнтвейту, равен $100 d/n$, где d – недостаток влаги (сумма месячных разностей между осадками и суммарной испаряемостью для трех месяцев, когда норма осадков

меньше годовой испаряемости); n – сумма месячных величин испаряемости за указанные месяцы. По де Мортонну, частное от деления годовой суммы осадков в см (R) на сумму средней годовой температуры (t), увеличенной на 10, т. е. $R/(t + 10)$. По Стенцу, частное от деления испаряемости (E) на сумму осадков (R).

Индекс видового разнообразия – соотношение между числом видов и каким-либо показателем значимости: численностью, биомассой, продуктивностью и т.п. Наиболее часто используют индекс видового разнообразия Глисона (отношение общего числа видов к логарифму числа особей), Симпсона (отношение общего числа видов к числу особей конкретного вида), Шеннона–Уивера (определяется по формуле $H = -\sum p_i \ln p_i$, где $i = 1, 2 \dots S$; S – количество видов; p_i – относительное обилие i -го вида) и др.

Индекс влажности – количественная характеристика влажности климата (I), рассчитываемая по формуле: $I = (100s - 60d)/n$, где s – сумма месячных разностей между осадками и суммарной испаряемостью для тех месяцев, когда норма осадков превосходит суммарную испаряемость; d – недостаток влаги (см. Индекс аридности) и n – сумма месячных величин суммарной испаряемости.

Индекс встречаемости – число проб, в которых обнаружены особи исследуемого вида, выраженное в процентах к общему числу проанализированных проб.

Индекс гумидности – показатель влажности (гумидности) климата, равный $100 s/n$.

Индекс доминирования – доля (в %), которую составляет обилие исследуемого вида по отношению к суммарному обилию всех сравниваемых между собой видов в изучаемом материале.

Индекс Жаккара – предложенный П. Жаккаром (1901) показатель, равный отношению числа видов, найденных на двух исследуемых участках биотопа (C), к сумме видов, найденных на участке A , но не найденных на участке B , и найденных на участке B , но отсутствующих на участке A : $I = 100 C/(A + B)$. Величина I называется также коэффициентом флористического сходства (общности).

Индекс загрязнения атмосферы (ИЗА) – комплексный показатель степени загрязнения атмосферы, рассчитываемый в соответствии с методикой (РД 52.04 186-89) как сумма средних концентраций в единицах ПДК с учетом класса опасности соответствующего загрязняющего вещества. Самые высокие показатели ИЗА (более 14) по данным 1997 г. имеют 33 города России, среди которых Архангельск, Кемерово, Красноярск, Краснодар, Москва, С.-Петербург, Самара, Саратов, Ульяновск, Чита и др.

Индекс качества среды – количественный показатель состояния окружающей среды, различно выражаемый в зависимости от целей оценки: в баллах или в абсолютных единицах (например, в ПДК и других характеристиках степени загрязнения отдельным веществом или группой веществ).

Индекс листовой поверхности, листовой индекс – показатель фотосинтезирующей биомассы, равный площади освещенных листьев, приходящейся на единицу поверхности почвы. Максимальная чистая продукция соответствует И.л.п., близкому к 4 (т. е. когда площадь освещенных листьев в 4 раза больше площади, занятой растениями), тогда как максимум валовой продукции достигается при И.л.п., равном 8–10 (этот уровень характерен для лесов).

Индекс опасности загрязняющего вещества – показатель, характеризующий опасность загрязняющего вещества для человека; определяется по формуле: $J = \lg A S/a M$ (ПДК), где A – атомный вес соответствующего элемента; M – молекулярный вес химического соединения, в который входит данный элемент; S – растворимость в воде химического соединения (мг/л); a – среднее арифметическое из шести ПДК химического соединения в разных пищевых продуктах (мясо, рыба, молоко, хлеб, овощи, фрукты); ПДК – предельно допустимая концентрация элемента в почве. В зависимости от величины И.о. (J) может быть определен класс опасности химического вещества: I класс – при $J = 4,1$ и более; II класс – от 2,6 до 4; III класс – от 0,1 до 2,5; IV класс – менее 0,1.

Индекс плотности населения – показатель, равный квадратному корню из произведения биомассы и плотности населения; связывает среднюю биомассу и число особей, характеризующих вид в пределах биоценоза.

Индекс половой – отношение общего числа половозрелых самок к общей численности популяции. Используется в демографии при анализе половой структуры популяции.

Индекс сапробности – численное выражение способности сообщества гидробионтов выдерживать определенный уровень органического загрязнения. Тесно связан с величиной биохимического потребления кислорода (БПК).

Индекс устойчивости (вида) – показатель устойчивости вида или популяции в биоценозе – коэффициент вариации общей биомассы вида или средней численности особей по многолетним данным.

К

Кадастр (фр. *cadastre* от греч. *katastichon* – лист, реестр) – систематизированный свод сведений о качественных и количественных характеристиках объекта, составляемый периодически или путем непрерывных наблюдений. К. может включать рекомендации по использованию объектов или явлений, меры по их охране. Различают кадастры: земельный, водный, лесной, детериорационный (об ухудшении среды), промысловый и др.

Карст, карстовые явления (по названию плато Крас (Kras) в бывшей Югославии) – явления, возникающие в растворимых водными растворами осадочных горных породах (известняки, гипс) и выражающиеся в образовании углублений в виде воронок, котловин, провалов, пещер, естественных пустот, колодцев и т.п.

Картографирование экологическое – один из видов картографирования тематического, отражающий состояние экосистем и воздействие на них (нагрузка антропогенная, степень загрязнения различных компонентов, размещение заповедников и других охраняемых природных территорий, распространение редких и исчезающих видов животных и растений, специфических биотопов и т.п.). См. Карты экологические.

Катастрофа экологическая (греч. *katastrophe* – поворот, переворот) – неравновесное, нестационарное преобразование окружающей среды, следствием которого является потеря устойчивости (потеря равновесия) в результате изменения собственных параметров и/или быстрого изменения внешних переменных. К.э. переводит окружающую среду в область равновесия с меньшими, в сравнении с исходным уровнем сложности, энергетическим и экологическим потенциалом. К.э. возникает нередко на основе прямого или косвенного антропогенного воздействия, а также неблагоприятного и опасного природного явления.

Катаценоз (от гр. *kata* – вниз и *koinos* – общий) – финальная стадия деградации биогеоценоза, характеризующаяся резким сокращением числа сохранившихся видов и резким ухудшением качеств биотопа.

Качество среды – степень соответствия природных условий потребностям людей или других живых организмов.

Кислотные дожди – атмосферные осадки в виде дождя или снега, подкисленные (величина водородного показателя $pH < 5,6$) из-за растворения в них кислотообразующих промышленных выбросов (загрязняющих веществ): SO_2 , NO_x , HCl и др. К.о. вызывают ацидификацию (подкисление или закисление) почвы, водоемов и приводят к повреждению живых организмов (гибель рыбы, снижение прироста лесов и т.д.).

Климакс (греч. *klimax* – высшая точка, кульминация) – стабильное состояние сообщества (экосистемы), в котором климаксовое сообщество (экосистема) поддерживает само себя неопределенно долго, все внутренние его компоненты уравновешены друг с другом.

Климакс климатический (региональный) – стабильное состояние сообщества (экосистемы), находящегося в равновесии с общими климатическими условиями.

Климакс эдафический (локальный) – модификация стабильных состояний сообщества (экосистемы), соответствующая особым местным условиям субстрата.

Климаксовое сообщество – стабильное сообщество, завершающее серию сукцессий. Термин введен Ф. Клементсом (1916). Для К.с. характерно равновесие между

биотическими и абиотическими компонентами (годовая продукция и приток вещества извне уравновешены годовым потреблением, расходом и выносом веществ из системы, поэтому чистая годовая продукция близка к нулю) на максимально высоком уровне потенциальной энергии и разнообразия.

Климат – совокупность значений гидрометеорологических величин (температуры, влажности, величин жидких и твердых атмосферных осадков, повторяемости ветров и т.д.) свойственная конкретному региону, полученная при осреднении данных наблюдений за многолетний период (60–100 лет).

Коадаптация – взаимное приспособление различных видовых групп обитающих совместно, например насекомых к опылению растений и растений – к опылению насекомыми. Коадаптация является результатом совместной эволюции (коэволюции) и сопровождается взаимными морфологическими и отчасти физиологическими приспособительными изменениями контактирующих видов. В системе классификации межвидовых отношений, коадаптация соответствует *сотрудничеству*.

Коли-индекс – количественный показатель бактериологического загрязнения воды и пищевых продуктов (главным образом фекального происхождения); определяется количеством бактерий группы кишечной палочки – *Escherichia coli* (отсюда и название) – в 1 л или 1 кг субстрата. К.и. – важный критерий санитарно-гигиенического контроля. Так, вода для купания считается чистой, если К.и. находится в пределах от 0 до 10 (слабозагрязненной – от 11 до 100, загрязненной – от 101 до 1000, сильнозагрязненной – от 1001 до 10000).

Комменсализм – постоянное или временное сожительство особей различных видов, при котором один из партнеров питается остатками пищи или продуктами выделения другого, не причиняя ему вреда. Примерами взаимоотношений по типу комменсализма являются отношения между белыми медведями и песцами в Арктике, между гиенами и львами в саваннах Африки.

Консорция (от лат. *consortium* – соучастие, сотоварищество) – структурная единица биоценоза, состоящая из центрального члена (ядра) – обычно крупной особи или группы особей, и функционально связанных с ним автотрофных и гетеротрофных организмов. В старой литературе К. называют симбиотические организмы типа лишайников.

Консументы (от лат. *consumo* – потребляю) – организмы, потребляющие готовые органические вещества, но не доводящие разложение органических веществ до простых минеральных составляющих (ср. Редуценты). Совокупность К. образует трофические цепи, в которых выделяют К. первого порядка (растительноядные) и К. второго, третьего и т.д. порядков (хищники).

Коренное состояние ландшафта – завершающее в процессе динамики ландшафта состояние, характеризующееся максимальной степенью равновесия внутренних свойств ландшафта и данных внешних условий его существования (климат, геологическое основание, тектоника, сейсмика и т.д.).

Коэффициент биологического накопления – отношение содержания какого-либо элемента (например, радионуклида или тяжелого металла) в организме к содержанию его в окружающей среде (в земной коре, почвообразующей породе, почве или искусственной питательной среде).

Коэффициент размножения: 1) число родившихся особей, приходящихся на 1000 самок, размножающихся особей или особей обоих полов в популяции за единицу времени; 2) разность между рождаемостью и смертностью за единицу времени; 3) прирост размера популяции с учетом ограничивающих факторов среды, описываемый математическим уравнением (коэффициент прироста Вольтерра или специфическая скорость естественного прироста Лотка).

Коэффициент смертности – число особей, погибших за год в результате естественных причин, на 1000 особей данного вида.

Коэффициент трофности – отношение валовой продукции фотосинтеза (P) в экосистеме к дыханию (R). В климаксовых сообществах (зрелых экосистемах) $P:R$ близко к 1.

Коэффициент увлажнения – отношение годового количества осадков к годовой величине испаряемости для данного ландшафта. Коэффициент увлажнения – показатель

соотношения тепла и влаги. При $K.y. > 1$ и достаточном количестве тепла преобладают лесные ландшафты, при $K.y. < 1$ – лесостепные, степные и пустынные ландшафты. Показатель впервые ввел Г.Н. Высоцкий. Согласно В.А. Ковде (1973), по величине $K.y.$ фации делятся на супергумидные (1,5–3), гумидные (1,2–1,5), нормальные (1,2–0,7), семиаридные (0,7–0,5), аридные (0,5–0,3), экстрааридные ($< 0,3$).

Критерий экологический – признак, на основании которого производится оценка, определение или классификация экологических систем, процессов и явлений. Вопрос о К.э. очень важен для экологического обоснования проекта, экологического планирования, прогнозирования, нормирования, экологической экспертизы, эколого-экономической оценки. К.э. может быть природозащитным (сохранение целостности экосистемы, вида организма, его местообитания и т.д.), антропоэкологическим (воздействие на человека, на его популяции) и хозяйственным, вплоть до воздействия на всю систему «природа–общество».

Критическая нагрузка загрязняющего вещества (англ. *critical load*) – количественное выражение максимальной нагрузки (выпадения) на единицу площади природного территориального комплекса одного или нескольких поллютантов, ниже которой не происходит вредного воздействия на обозначенный чувствительный элемент окружающей среды (рецептор) в соответствии с современным уровнем знаний. К.н. – один из показателей устойчивости экосистем.

Л

Ландшафт (от нем. *land* – земля, *schaft* – суффикс, выражающий взаимосвязь, взаимозависимость) – природный территориальный комплекс, состоящий из взаимодействующих природных или природных и антропогенных компонентов, а также комплексов более низкого таксономического ранга (фация, урочище, местность). В соответствии со взглядами Н.А. Солнцева, Л. характеризуется единством геологической платформы, климата и истории развития. В понятие «ландшафт» на практике входит часть земной коры до глубины залегания грунтовых вод, почва, растительность и животный мир, а также приземный слой атмосферы. Таким образом, ландшафт может рассматриваться в качестве зоны активного контакта и взаимодействия геосфер Земли и одновременно как зона наибольшего сосредоточения жизни в пределах биосферы. Концепция ландшафта разработана специалистами-географами и близка к понятию «экосистема», однако в ландшафте живые компоненты обычно не являются главенствующим предметом рассмотрения и изучения.

Ландшафт антропогенный (техногенный) – ландшафт, свойства которого (рельеф, состав биоценозов, химический состав отдельных компонентов среды и т.д.) обусловлены преимущественно деятельностью человека. В техногенном ландшафте интенсивная промышленная и сельскохозяйственная деятельность (горные выработки, полигоны хранения отходов, производственные цеха, агрокомбинаты т.п.) выступает центральным элементом, определяющим его функционирование и структуру.

Ландшафт природный – ландшафт, формирующийся или сформировавшийся под влиянием преимущественно природных факторов, практически не испытывавший влияния деятельности человека (в противоположность ландшафту антропогенному).

Лиман – затопленное водами моря, не подвергающееся действию периодических отливов и приливов расширенное устье реки, превратившееся в мелководный залив. Выделяют лиманы *открытые* находящиеся в непосредственной связи с морем, и *закрытые* отделенные от моря песчаной косой или полосой мелководья. При полном отделении от моря говорят о формировании *лиманых озер*.

Литораль – прибрежная мелководная, заливаемая во время океанического или морского прилива зона. Соответственно все организмы, обитающие в данной зоне, называются литоральными. Понятие «литоральная зона» используется также и для обозначения прибрежной мелководной акватории крупных озер и внутренних морей.

Литофит – растение, приспособленное к жизни в скальных и каменистых территориях при очень слабой развитости почвенного покрова.

Лучи космические – поток элементарных частиц (в основном протонов и ядер водорода) очень высоких энергий, приходящий из космического пространства и вызывающий в атмосфере Земли вторичное излучение, происходящее от их столкновения с атомными ядрами газов воздуха. Обладая свойством *ионизирующей радиации*, космические лучи губительны для всего живого, но они в значительной степени поглощаются в верхних слоях атмосферы.

М

Макрофиты – крупные растения, в основном высшие сосудистые, формирующие развитые листовые ткани, стебли и корневую систему (деревья, кустарники, наземные травы). Также к этой группе относят водных растений, прикрепленных к дну или плавающих, достигающих значительных размеров (кувшинки, лотосы, саргассы, бурые и красные водоросли и др.).

Макроэлемент – химический элемент, содержащийся в теле живых организмов в концентрации от 0,001 до 60 % от их массы (O, H, C, N, P, K, Ca, S, Mg, Na, Cl, Fe и др.). Из их числа выделяют органогенные (биогенные) элементы (O, C, H, N), из которых, в основном, построены органические вещества – белки, жиры, углеводы, гормоны, ферменты.

Мангры (мангровые леса) – заросли вечнозеленых низкостебельных (до 10 м) деревьев и кустарников с надземными дыхательными корнями, растущие на побережьях тропических и субтропических морей в приливной полосе. Распространены вдоль восточного и западного побережий Африки, восточного и северного побережий Южной Америки, вдоль всего побережья Индии, островов Суматра, Ява, а также на северном побережье Австралии. Мангры имеют огромное значение в защите берегов от эрозии и формировании биологической продуктивности прибрежной зоны моря, служат местом размножения и развития личинок многих видов рыб.

Марши – низменная лугово-болотная полоса вдоль морского побережья и вблизи устьев рек, заливаемая морской водой только во время исключительно высоких приливов.

Металл тяжелый – с плотностью более 8 тыс. кг/м³ (кроме благородных и редких). К основным, наиболее часто используемым в практической деятельности тяжелым металлам принадлежат Pb, Cu, Zn, Ni, Cd, Co, Sb, Sn, Bi, Hg. Все они обладают токсичностью, т. е. негативно воздействуют на организмы и могут накапливаться в их телах с течением времени и в процессе передачи по пищевым цепям, усиливая тем самым вредоносное действие. Антропогенное рассеивание тяжелых металлов в процессе металлургического и химического производства, создает угрозу для населения и биосферы в целом.

Микроклимат – климат небольшой территории или акватории (бухты, берега озера или реки, склона холма, ущелья, кроны дерева и т.п.). Наибольшее разнообразие микроклиматов характерно для горной местности и дождевых тропических лесов.

Микроэлемент – химический элемент, необходимый организмам в ничтожных количествах, но определяющий успех их индивидуального развития и устойчивого существования. К этой группе относят элементы (F, Si, Cu, Mn, I и др.), содержащиеся в растительных и животных тканях в количествах от $n \cdot 10^{-2}$ до $n \cdot 10^{-6}$ весовых процентов и служащих активаторами биологических процессов в организме. Например, йод абсолютно необходим для нормального функционирования щитовидной железы, обеспечивающий выработку важнейших гормонов.

Модель – физическое (вещественно-натуральное) или знаковое (логическое, математическое) представление реального природного объекта. Создание модели (моделирование) позволяет получить, как правило, только приближенное отражение свойств и характеристик предмета моделирования. Примером модели поверхности Земли является географическая карта.

Мортмасса (от лат. *mortis* – смерть + масса) – масса мертвого органического вещества в экосистеме. В М. выделяют отпад (сухостой, омертвевшие органы), опад или подстилку (упавшие на поверхность почвы части растений, трупы животных), торф, детрит.

Мониторинг – система долговременных мероприятий по наблюдению, оценке и прогнозу применительно к естественным природным или антропогенным процессам. В целях мониторинга используются специальные технические средства сбора данных – автоматизированные стационарные наземные станции и обсерватории, передвижные измерительные лаборатории, космические спутники и др. В зависимости от задач мониторинг подразделяется на экологический, метеорологический, океанологический, гидрологический, промышленный, сельскохозяйственный и другие типы. В зависимости от масштабов наблюдений, выделяют локальный (импактный) мониторинг, региональный и глобальный. В целом, мониторинговые исследования в последние десятилетия получили значительное распространение и резко повысили свою эффективность, особенно за счет использования спутниковых технологий оперативного получения данных.

Н

Нагрузка антропогенная – мера прямого и косвенного воздействия человека и народного хозяйства на природу в целом или на ее отдельные компоненты (ландшафты, почвы, атмосферу, биоту и др.).

Надежность экологическая – способность экосистемы (ландшафта) относительно полно восстанавливаться и саморегулироваться после внешнего воздействия (в пределах естественных для систем суточных, сезонных, многолетних флуктуаций). Понятие, близкое к устойчивости и гомеостазу ландшафта.

Насыщенность видовая – число видов на единицу площади или объема. Отражает емкость среды, т. к. в экстремальных условиях (пустыни, солончаки) численность видов падает до минимума.

Неблагоприятные и опасные природные явления (НОЯ) – явления в окружающей среде, представляющие опасность для человека и его хозяйственной деятельности. НОЯ могут как иметь причины естественного характера, так и быть спровоцированными человеком. В свою очередь НОЯ могут вызвать аварии техногенного характера. Различают следующие НОЯ: космические (солнечная активность, магнитные бури, падение метеоритов и др.), геологические (извержение вулканов, землетрясения, цунами), геоморфологические (оползни, сели, лавины, обвалы, просадки и т.п.), климатические и гидрологические (тайфуны, смерчи, штормы, абразия берегов, термоэрозия, эрозия почв, изменение уровня грунтовых вод и др.), геохимические (загрязнение окружающей среды, засоление почв и др.), пожары (лесные, степные, торфяные), биологические (массовое размножение вредителей сельскохозяйственных, кровососущих, ядовитых животных, эпидемии и др.). Крайняя степень проявления НОЯ – катастрофа экологическая.

Нектон (от греч. *nektos* – плавающий) – объединяет животных, обладающих способностью активно перемещаться в воде, преодолевая силу течений, за счёт развитой мускулатуры и скелета, наличия плавников и эффективных органов ориентации в пространстве. Представителями нектона являются рыбы, кальмары и водные млекопитающие, способные перемещаться на большие расстояния. В пресных водоемах к нектону относятся, кроме рыб, еще и земноводные, а также типично водные насекомые.

Ноосфера (от др.-греч. νοῦς – разум и σφαῖρα – шар; дословно «сфера разума») – сфера взаимодействия общества и природы, в границах которой разумная человеческая деятельность становится определяющим фактором развития (эта сфера обозначается также термином «антропосфера»).

Норма нагрузки на ландшафт – величина антропогенного воздействия, не приводящая к нарушению социально-экономических функций ландшафта (ГОСТ 17.8.1.01-86).

Норма состояния – состояние системы, отвечающее областям ее равновесия (локального минимума потенциальной энергии) и/или устойчивости. В естественных системах – обычно области наиболее вероятных состояний.

Норма экологическая – норма экологических систем, областей равновесия в пространстве базовых экологических переменных, наиболее вероятное в пространстве и времени состояние экологических систем и их компонентов.

Норматив экологический – величина антропогенной нагрузки, рассчитанная на основании экологических регламентов и получившая правовой статус. Носит временный характер, обусловленный уровнем развития науки, технологии и экономики.

Нормативы допустимого воздействия на окружающую среду – нормативы, которые установлены в соответствии с показателями воздействия хозяйственной и иной деятельности на окружающую среду и при которых соблюдаются нормативы качества окружающей среды.

Нормативы допустимой антропогенной нагрузки на окружающую среду – нормативы, которые установлены в соответствии с величиной допустимого совокупного воздействия всех источников на окружающую среду и (или) отдельные компоненты природной среды в пределах конкретных территорий и (или) акваторий и при соблюдении которых обеспечивается устойчивое функционирование естественных экологических систем и сохраняется биологическое разнообразие.

Нормативы допустимых выбросов – нормативы выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух, которые определяются как объем или масса химических веществ либо смеси химических веществ, микроорганизмов, иных веществ, как показатели активности радиоактивных веществ, допустимые для выброса в атмосферный воздух стационарными источниками (согласно Федеральному закону от 26.07.2019 № 195-ФЗ).

Нормативы допустимых сбросов – нормативы сбросов загрязняющих веществ в составе сточных вод в водные объекты, которые определяются как объем или масса химических веществ либо смеси химических веществ, микроорганизмов, иных веществ, как показатели активности радиоактивных веществ, допустимые для сброса в водные объекты стационарными источниками (согласно Федеральному закону от 21.07.2014 № 219-ФЗ).

Нормативы допустимых физических воздействий – нормативы, которые установлены в соответствии с уровнями допустимого воздействия физических факторов на окружающую среду и при соблюдении которых обеспечиваются нормативы качества окружающей среды.

Нормативы качества окружающей среды – нормативы, которые установлены в соответствии с физическими, химическими, биологическими и иными показателями для оценки состояния окружающей среды и при соблюдении которых обеспечивается благоприятная окружающая среда.

Нормативы предельно допустимых концентраций химических веществ, в т.ч. радиоактивных, иных веществ и микроорганизмов (далее также – нормативы предельно допустимых концентраций) – нормативы, которые установлены в соответствии с показателями предельно допустимого содержания химических веществ, в т.ч. радиоактивных, иных веществ и микроорганизмов в окружающей среде и несоблюдение которых может привести к загрязнению окружающей среды, деградации естественных экологических систем.

О

Обилие видовое – количество особей вида либо всего сообщества, приходящееся на единицу площади или объема. При учете видового обилия животных различают обилия разовое и обилие среднее за определенный период наблюдений (сезон, месяц, год). При описании растительных ассоциаций для характеристики обилия часто используют 5-балльную шкалу Гультя: 5 – очень обильно; 4 – обильно; 3 – необильно; 2 – мало; 1 – очень мало.

Обратимые изменения среды – изменение каких-либо компонентов среды, их свойств или совокупности, которые могут быть компенсированы в ходе самовосстановления экосистем.

Обратный осмос – процесс, используемый для очистки воды, в котором при определенном давлении растворитель (вода) проходит через полупроницаемую из более

концентрированного в менее концентрированный раствор, т.е. в обратном для осмоса направлении. При этом мембрана пропускает растворитель, но не пропускает некоторые растворённые в нём вещества – загрязнители.

Окислительно-восстановительный потенциал – окислительный потенциал, редокспотенциал (ОВП, Eh) – функция соотношения окисленных и восстановленных форм химических элементов в той или иной среде (почве, водном растворе, биологическом материале). ОВП характеризует степень окисленности компонентов среды и выражается, как правило, в милливольтгах (мВ).

Опустынивание – расширение площади пустынь за счет сопредельных территорий. О. происходит в результате как естественных причин (см. Аридизация), так и в результате антропогенных воздействий на природу (сведение в сопредельных с пустынями регионах древесной растительности, уничтожение травянистой растительности, например, в результате перевыпаса). Общая площадь земель России, подверженных процессам О. или потенциально опасных в этом отношении, составляет более 100 млн га (Поволжье, Предкавказье, Закавказье и другие регионы).

Оценка состояния окружающей среды, компонентов ландшафта – соотнесение реальной ситуации с идеальной и временной нормами по различным (стандартизированным) переменным, либо с исходным состоянием объекта.

П

Паразит – организм, живущий за счет особей другого вида (хозяина), на поверхности его тела или внутри, приносящий вред.

Паразит облигатный – абсолютно не способный жить и размножаться вне тела своего хозяина без питания его тканями и жидкостями (аскариды, острицы и др.). Облигатные паразиты, постоянно обитающие в теле хозяина, называются *эндопаразитами*. В большинстве случаев эндопаразиты длительно угнетают хозяина, не приводя его к быстрой гибели.

Паразит факультативный – способный жить и размножаться самостоятельно, временно не питаясь тканями и жидкостями своего хозяина. Имеют значительный видовой спектр потенциальных хозяев. Факультативные паразиты, обитающие на поверхности тела хозяина называются *экзопаразитами*. Часто способны привести к быстрой гибели своего хозяина, переселяясь затем на новую особь.

Параклимакс (от гр. *para* – возле, находящийся рядом + климакс) – новое устойчивое сообщество, возникшее в результате внешних разрушительных воздействий (дигрессия) на естественное климаксовое сообщество (например, сообщество, постоянно поддерживаемое выпасом скота на месте сведенного леса).

Параметры экосистемы – величины, показатели, отражающие функциональные и консервативные свойства экосистемы: биологическая продуктивность, интенсивность круговорота, разнообразие и т.п.

Период деградации почвы – гипотетическое время, за которое анализируемая почва пройдет путь от недеградированного состояния до очень сильной деградации (снижение продуктивности до 75 %) по рассматриваемому показателю деградации почвы.

Период круговорота – химического элемента – в экосистеме или системе почва–растение время, за которое растения выделяют в почву и атмосферу такое же количество химического элемента, которое содержат в себе. П.к. служит показателем интенсивности биогенного круговорота химического элемента.

Пелагиаль – слой воды в открытом океане или море, от поверхности до максимальных глубин проникновения света в водную толщу. Обитающие в данном слое организмы называются пелагическими.

Плаксор (от греч. *plakos* – плоскость, равнина) – плоское или слабонаклоненное при водораздельное пространство. П. характеризуются глубоким залеганием грунтовых вод, отсутствием значительного смыва или аккумуляции, вследствие чего растительный и почвенный покровы наиболее полно соответствуют ландшафтам данной зоны (например,

хвойные леса на подзолистых почвах в тайге, злаково-разнотравные сообщества на черноземах в степной зоне и т.п.).

Планктон (от греч. *planktos* – блуждающий, парящий) – совокупность растений (*фитопланктон*: диатомовые, зеленые и сине-зеленые (только пресные водоемы) водоросли, растительные жгутиконосцы, перидинеи и др.) и мелких животных организмов (*зоопланктон*: мелкие ракообразные, из более крупных – крылоногие моллюски, медузы, гребневики, некоторые черви), обитающих на разной глубине, но не способных к активным передвижениям и к противостоению течениям.

Поверхностный сток – процесс перемещения вод атмосферного происхождения по земной поверхности под действием силы тяжести; составная часть круговорота воды (влагооборота) на Земле. Величина П.с. зависит от количества осадков и лесистости местности: на безлесной площади П.с. составляет 65 % годовой суммы осадков и часто вызывает водную эрозию почв; при лесистости 100 % П.с. составляет только 5 %.

Подход системный – общенаучный подход, направленный на познание механизмов интеграции систем как целостных образований – единств, состоящих из взаимосвязанных и взаимодействующих, нередко разнородных элементов. При этом учитывается, что каждая система выступает как элемент более высокой системы. Внедрение системных идей способствовало интенсивному развитию классификации природных объектов, моделированию и применению математических методов в природоохранных исследованиях.

Подход экологический – общенаучный подход, ориентирующий, в первую очередь, на исследование и отражение отношений и взаимодействий организмов и, в частном случае, человека с окружающей средой.

Популяция – исторически сложившаяся естественная совокупность особей живых организмов одного вида, связанных генетически, населяющих общие места обитания и имеющие сходные адаптации к условиям среды. Каждая популяция является составной частью биотического сообщества, состоящего из множества видов. Члены одной популяции способны оказывать друг на друга не меньшее воздействие, чем факторы неживой природы или организмы других видов. Для популяции характерны взаимовыгодные и конкурентные отношения между особями. Популяция есть форма существования вида и элементарная единица эволюции.

Показатель деградации почвы – величина, характеризующая степень неблагоприятного изменения свойств почвы под воздействием внешних (например, антропогенных) факторов, приводящих к снижению ее плодородия или ухудшению качества растительной продукции.

Порог вредного воздействия вещества – минимальная концентрация вредного (загрязняющего) вещества в окружающей среде, при воздействии которой в организме возникают изменения, выходящие за пределы физиологических приспособительных реакций, или скрытая (временно компенсированная) патология.

Правило Алена – выступающие части тела теплокровных животных в холодном климате короче, чем в теплом, поэтому в первом случае они отдают в окружающую среду меньше тепла. Правило справедливо в основном и для побегов высших растений, обычно имеющих меньшую длину в северных областях (карликовые березы северной Карелии и др.) по сравнению с более южными широтами и теплыми условиями произрастания.

Правило Бергнама – у теплокровных животных, подверженных географической изменчивости, размеры тела особей статистически больше у популяций и родственных видов, живущих в более холодных районах.

Правило Вант-Гоффа термодинамическое – при росте температуры среды на 10 °С в организме происходит 2–3-кратное ускорение химических процессов. Из этого правила бывают редкие, но существенные исключения, в некоторых случаях отмечается большее увеличение скорости химических реакций (до 7 раз), в других случаях они, наоборот, замедляются. Эффект зависимости скорости химических реакций и метаболизма от температуры среды находится в зависимости от особенностей физиологии конкретного вида и его адаптаций.

Правило Глогера – географические расы животных в теплых и влажных регионах пигментированы сильнее (т. е. особи более темные), чем в холодных и сухих. В сильно загрязненных районах, даже с умеренным и холодным климатом, может наблюдаться так называемый *индустриальный меланизм* – потемнение животных, что является исключением из данного правила.

Правило пищевой корреляции (В. Уини-Эдвардса) – в ходе эволюции сохраняются только те популяции, скорость размножения которых скоррелирована (соответствует) с количеством пищевых ресурсов среды их обитания. При этом скорость размножения обычно меньше максимально возможной, и постоянно остается запас пищевых ресурсов. Отступление от этого правила приводит к тому, что популяция остается без пищи и вымирает или резко снижает темпы своего размножения.

Предел устойчивости – максимум нагрузки, переносимой организмом, сообществом, экосистемой, ландшафтом при сохранении их структуры и функционирования.

Пределы толерантности (от лат. *tolerantia* – терпение) – диапазон между минимумом и максимумом значений экологических параметров существования организма.

Предельно-допустимая концентрация загрязняющего вещества (ПДК) – экологический норматив, максимальная концентрация загрязняющего химического вещества в компонентах ландшафта, которая при повседневном влиянии в течение длительного времени не вызывает негативных воздействий на организм человека или другого рецептора. В зависимости от объекта загрязнения различают: 1) ПДК – такая максимальная концентрация загрязняющего вещества в атмосфере, отнесенная к определенному времени осреднения, которая при периодическом воздействии, или при воздействии на протяжении всей жизни человека, не оказывает вредного влияния на него и на окружающую среду в целом (включая отдаленные последствия); 2) в водной гигиенической токсикологии под ПДК понимают максимальную концентрацию загрязняющего вещества, при которой вещество не оказывает прямого или опосредованного влияния на здоровье человека (при воздействии на организм в течение всей жизни) и не ухудшает гигиенические условия водопользования; 3) ПДК – максимальная массовая доля загрязняющего вещества в почве, не оказывающая прямого или косвенного влияния (включая отдаленные последствия) на окружающую среду или здоровье человека. В списках ПДК, как правило, указывается также класс опасности загрязняющего вещества и лимитирующий показатель вредности (в первом случае, кроме этого, приводится временной интервал, к которому отнесен норматив).

Предельно-допустимые уровни – физического воздействия на окружающую среду – уровни шума, вибраций, ионизирующих излучений, напряженности электромагнитных полей и т.п., которые не должны оказывать на человека прямого или косвенного вредного влияния при неограниченно долгом воздействии.

Предельно допустимый уровень радиационного и иного воздействия физического фактора (ПДУ) на окружающую среду – это уровень, который не представляет опасности для здоровья человека, состояния животных, растений, их генетического фонда.

Принцип Ле-Шателье – предложенный А. Ле Шателье (1884) и термодинамически обоснованный К. Брауном (1887) принцип, согласно которому внешнее воздействие, выводящее систему из равновесия, стимулирует в ней процессы, стремящиеся ослабить результаты этого воздействия. Справедливость применения П.Л. к незамкнутым системам, каковыми являются экосистемы и биосфера в целом, дискуссионная. Тем не менее, показано, что П.Л. в биосфере выполняется, в частности при анализе карбонатной системы.

Природно-антропогенный объект – природный объект, измененный в результате хозяйственной и иной деятельности, и (или) объект, созданный человеком, обладающий свойствами природного объекта и имеющий рекреационное и защитное значение.

Природно-ресурсный потенциал – часть возобновимых природных ресурсов, которые человек может использовать, не нарушая тем самым природное равновесие и основы устойчивого существования самого ресурса. Например, допустимое промысловое изъятие биомассы нерестового стада для рыб, достигающих половой зрелости в возрасте старше трех лет может составлять не более 25 %. В случае повышенного вылова половозрелых рыб популяции может угрожать вымирание, за счет низкой эффективности воспроизводства.

Природный ресурс – полезное для человека вещество или энергия, доступная к непосредственному изъятию из природной среды.

Природный территориальный комплекс (ПТК) – тип природного комплекса, определяемый как пространственно-временная система географических компонентов, взаимообусловленных в своем размещении и развивающихся как единое целое. ПТК характеризуется сопряженностью с некоторой территорией в рамках пространственных пороговых критериев и обозначает класс природных геосистем локальной и региональной размерности. Часто ПТК употребляется как родовое понятие для обозначения геосистем от фации (ландшафта элементарного) до ландшафта.

Природный (естественный) фон – физические, химические и иные показатели, характеризующие неизменную человеком природную среду, отражающие уровень относительно постоянного (в пределах естественных многолетних отклонений) влияния того или иного природного фактора и позволяющие давать количественную оценку эффектам воздействия человека на окружающую среду и отдельные ее компоненты.

Продолжительность жизни видовая – средний из максимально возможных возрастов, достигаемый особями данного вида при наиболее благоприятных условиях существования, т. е. продолжительность жизни лимитируется преимущественно генетическими особенностями вида. Для многих животных может быть оценена как 4–5-кратный срок достижения половой зрелости (т.н. коэффициент Бюффона).

Продуктивность первичная – биологическая продуктивность продуцентов (растений и хемосинтезирующих бактерий).

Продуктивность вторичная – биологическая продуктивность консументов (животных).

Продуценты (лат. *producens* – производящий) – автотрофные организмы, продуцирующие органическое вещество из простых неорганических веществ (фототрофы и хемотрофы).

Промышленная зона – зона, включающая промышленные районы города, а также участки отдельных промышленных предприятий и других производственных объектов, обслуживающие их культурно-бытовые учреждения, улицы, площади, зеленые насаждения, территории компактного размещения предприятий.

Промышленный район – территория города, на которой размещаются предприятия с обслуживающими зданиями, учреждениями, дорогами и др. Промышленный район включает систему озелененных территорий, которые отделяются от других районов санитарно-защитной зоной.

Р

Равновесие ландшафта – некоторое квазистационарное состояние, формирующееся у природных ландшафтов под влиянием взаимно скомпенсированных процессов, вызванных внешними (в т.ч. антропогенными) факторами, с одной стороны, и процессами самоорганизации и саморегулирования, с другой.

Радияция – поток корпускулярной (альфа-бета-гамма-лучи, поток нейтронов) и/или электромагнитной энергии.

Радияция длинноволновая (в атмосфере) – инфракрасное излучение земной поверхности, атмосферы и облаков в диапазоне длин волн от 4 до 120 мкм. Рассеяние длинноволновой радиации в космическое пространство приводит к потере тепла планетой.

Радияция коротковолновая (в атмосфере) – обобщенное название *прямой и рассеянной солнечной радиации*, заключающейся в интервале длин волн от 400–200 нм до 4 мкм. Включает ультрафиолетовое, видимое, и ближнее инфракрасное излучение. Благодаря коротковолновой радиации осуществляется приток тепла к Земле.

Радияция проникающая – поток гамма-лучей и нейтронов, обладающих большой проникающей и поражающей живые ткани способностью. Р.п. бывает *естественной* или *антропогенной*.

Радиационный баланс земной поверхности – разность между суммарной солнечной радиацией, поглощенной земной поверхностью (см. Альбедо), и эффективным излучением Земли. Р.б. – важнейший компонент теплового баланса земной поверхности.

Радиационный индекс сухости – отношение годового радиационного баланса земной поверхности к сумме теплоты, необходимой для испарения годовой суммы осадков анализируемой территории. Р.и.с. служит основой для дифференциации географических зон. При Р.и.с. < 1 климат рассматривается как влажный, от 1 до 3 – недостаточно влажный, > 3 – сухой. Показатель предложил М.И. Будыко.

Разнообразие – в экологии показатель сложности системы, разнокачественности ее компонентов (экологических ниш в экосистеме).

Разнообразие биологическое – число различных типов биологических объектов или явлений и частота их встречаемости на фиксированном интервале пространства и времени, в общем случае отражающие сложность живого вещества, способность его к саморегуляции своих функций и возможность его разностороннего использования. Р.б. включает в себя все виды животных, растений грибов и микроорганизмов, экосистем и протекающие в них процессы. Выделяют 3 уровня Р.б.: генетическое (отражает генетическую информацию, содержащуюся в живом веществе Земли, конкретной территории); видовое (отражает количество видов и встречаемость их особей на конкретной территории); экосистем (ландшафтов), которое отражает количество разных типов местообитаний, сообществ и экологических процессов.

Разнообразие видовое – число видов в данном сообществе или в данной области. Различают альфа-разнообразие (число видов в рассматриваемом биотопе), бета-разнообразие (число видов во всех биотопах данной области) и гамма-разнообразие.

Разнообразие внутривидовое – составная часть биологического разнообразия, связанная с оценкой разнокачественности (различия) особей в популяции. Особи могут различаться по генотипу (в т.ч. полу), фенотипу, возрасту, изменчивости, по проявлению модификационной, зависящей от конкретных условий среды и т.д.

Регулирование воздействия на окружающую среду (от лат. *regulo* – направлять, упорядочивать) – изменение характеристик источников воздействия на окружающую среду и отходов в заданном направлении с использованием совокупности организационных, технологических, технических методов и средств.

Редуценты – организмы, в основном бактерии и грибы, которые в процессе своей жизнедеятельности разлагают мертвые органические остатки, превращая их в неорганические вещества, доступные к усвоению *продуцентами*.

Резистентность (от лат. *resistere* – сопротивляться) – невосприимчивость организма к воздействию неблагоприятных факторов внешней среды (например, к загрязнению окружающей среды).

Резистентная устойчивость – способность экосистемы оставаться в устойчивом состоянии под нагрузкой, ее невосприимчивость к внешнему воздействию.

Рекреационная емкость – количественно выраженная способность территории или акватории обеспечивать некоторому числу людей психофизиологический комфорт для отдыха и оздоровления без деградации природной среды или антропогенных элементов в ландшафте (сельско-хозяйственных, лесохозяйственных, исторических и т.п.).

Рельеф (фр. *relief* от лат. *relevo* – поднимаю) – совокупность форм земной поверхности, различных по очертаниям, размерам, происхождению, возрасту и истории развития. Слагается из положительных (выгнутых) и отрицательных (вогнутых) форм. По масштабу различают: макрорельеф, мезорельеф, нанорельеф.

С

Самоорганизация ландшафта (от фр. *organisation* – формирование, устройство) – процесс, в ходе которого создается, воспроизводится, совершенствуется или восстанавливается структура ландшафта. Процессы самоорганизации имеют место только

в системах, обладающих высоким уровнем сложности и большим количеством элементов, связи между которыми имеют вероятностный характер.

Самоочищение ландшафта – способность ландшафта перерабатывать (сортировать, осаждать, разлагать и т.д.) или выводить за свои пределы попадающие в ландшафт загрязняющие вещества. С.л. – один из элементов их самоорганизации. Наибольшей способностью к самоочищению обладают ландшафты с высокой интенсивностью круговорота веществ и преобладанием рассеивающих потоков.

Самоочищение почвы – уменьшение количества загрязняющего почву вещества в результате протекающих в почве процессов миграции, превращения, разложения.

Санитарное число – обобщающий показатель биологического загрязнения почвы, равный частному от деления количества почвенного белкового азота (в мг на 100 г сухой почвы) на общее количество органического азота в почве.

Сообщество – по Р. Уиттекеру, система взаимодействующих, дифференцированных по экологическим нишам, часто конкурирующих друг с другом видов. Виды, входящие в состав одного и того же С., эволюционировали в направлении дифференциации экологических ниш. Термин С. часто используется как синоним биоценоза. Выделяют сообщества: растений (фитоценоз), животных (зооценоз), микроорганизмов (бактериоценоз).

Сорбция – метод очистки загрязненной воды путем избирательной фильтрации ненужных примесей при поверхностном или объемном прохождении воды через материалы с пористой структурой (силикагели, уголь и их аналоги). Используемые сорбенты могут быть восстанавливаемыми или утилизируемыми после потери фильтрационных свойств.

Стадия сукцессии – определенный этап развития экосистем в сукцессионном ряду. Ф. Клементс (1928) различал 6 С.с.: денудация; пионерность (иммиграция); колонизация (ойкоз); межвидовая конкуренция; биоценотическая реакция; стабилизация (климакс). Развитие биоценоза от пионерности до стабилизации составляет серию.

Стационарное состояние экосистемы (от лат. *stationarius* – неподвижный) – состояние открытой экосистемы, при котором ее видовое разнообразие и основные функции поддерживаются стабильными благодаря уравновешенности внешних и внутренних факторов воздействия. Поскольку полного постоянства параметров экосистемы в действительности никогда не наблюдается, правильнее говорить о квазистационарном (кажущемся стационарным, почти стационарным) состоянии экосистемы.

Стенобионт – организм, способный существовать только в узком диапазоне факторов среды. Стенобионты преобладают в тех сообществах, экологические условия в которых мало подвержены сезонной и годовой ритмике (обитатели тропического и экваториального поясов, глубоководной зоны океана и пещер).

Степень деградации почвы – интервал значений показателя деградации почвы, при котором наблюдается снижение продуктивности почвы в установленных пределах. Для сравнения различных видов деградации С.д.п. может быть приведена в балльной шкале.

Степень нарушенности ландшафта (территории) – степень изменения процессов функционирования и состава компонентов ландшафта в результате внешнего (в т.ч. антропогенного) воздействия. С позиций антропоцентризма можно условно выделить 5 С.н.л. (зон): 1) относительного экологического благополучия (состояние природных комплексов обеспечивает традиционные формы хозяйственной деятельности без ущерба для здоровья населения); 2) экологического риска (наблюдается достоверное изменение свойств природных комплексов, приводящее к негативным для природы и человека последствиям); 3) экологического кризиса (изменение свойств природных комплексов представляет угрозу для ведения хозяйственной деятельности и здоровья человека); 4) экологического бедствия (негативные изменения природных комплексов приводят к нарушению традиционной технологии хозяйственной деятельности, к существенному повышению заболеваемости человека; для устранения ущерба требуется серьезная система мероприятий); 5) экологической катастрофы (негативные изменения природных комплексов приводят к невозможности ведения традиционной хозяйственной деятельности и проживания человека).

Структура (лат. *structura*) – взаимоположение и связь составных частей чего-либо; строение; отношение порядка на множестве элементов.

Структура биоценоза функциональная – соотношение различных функциональных групп (напр., опылителей, фитофагов, сапрофагов); отражает экологическую роль организмов в структуре зооценозов в экосистемах, род их занятий.

Структура ландшафта – совокупность устойчивых связей ландшафта, обеспечивающих его целостность и тождественность самому себе. Представление о С.л. включает 3 аспекта: взаимное расположение составных частей, внутренние системообразующие связи и упорядоченность смены его состояний во времени. Морфологическая С.л. подразумевает выделение внутри ландшафта более простых геосистем или природных территориальных комплексов: фаций, урочищ, местностей.

Субаквальный рельеф – подводный рельеф (дна моря, океана, озера, реки).

Сукцессия (от лат. *successio* – преемственность, наследование) – последовательная большей частью необратимая (редко циклическая) смена биогеоценозов, преемственно сменяющихся на одной и той же территории в результате влияния внутренних (С. автогенная или аутогенная) и/или внешних (С. аллогенная) факторов. В оптимальных условиях любая С. заканчивается возникновением медленно развивающегося климаксового или узлового сообщества. Различают первичные (на субстратах, не затронутых почвообразованием) и вторичные С., происходящие на месте сформировавшихся биогеоценозов после их разрушения (в результате пожара – пирогенные С., вырубки леса, засухи, эрозии, вулканического извержения и т.д.).

Сукцессионный ряд – последовательные стадии, через которые проходят биоценозы в данном районе, достигая состояния относительного климакса, предопределенного почвенными, климатическими и другими условиями.

Сумма эффективных температур – характеристика теплового режима за вегетационный или иной период, равная сумме средних суточных температур воздуха за рассматриваемый период выше условной величины нижнего температурного предела вегетации растений или прохождения ими определенной фенологической фазы (+5; +10; +15 °С для разных культур).

Суффозия (от лат. *suffossio* – подкапывание, подрывание) – выщелачивание и вынос мелких минеральных частиц потоками грунтовых вод, фильтрующихся в толще горных пород. С. приводит к образованию подземных пустот и к последующей просадке всей вышележащей осадочной толщи с формированием на поверхности замкнутых понижений (блюдца, воронок, западин).

Т

Тепловой баланс земной поверхности – алгебраическая сумма потоков тепла, входящих на земную поверхность и уходящих от нее. Выражается уравнением: $R + P + LE + B = 0$, где R – радиационный баланс земной поверхности; P – турбулентный поток тепла между земной поверхностью и атмосферой; LE – затраты тепла на испарение; B – поток тепла от земной поверхности в глубь почвы или воды и обратно. Данные о Т.б. играют большую роль в изучении изменений климата, географической зональности, термического режима организмов.

Термокарст – образование просадочных, провальных форм рельефа, бугров и подземных пустот в результате вытаивания мерзлого грунта. Т. усиливается при хозяйственном освоении территории, поэтому требует специальных мер (строительство на сваях, использование термоизолирующих подушек и т.п.).

Термоэрозия – сочетание теплового и механического воздействия текущей воды на мерзлые горные породы и лед, вследствие чего на дневной поверхности возникает полигональная прогрессирующая сеть эрозионных канав.

Территория эталонная – природный территориальный комплекс любого ранга (фация, урочище, ландшафт), обладающий типичными свойствами, соответствующими

обычно нормальному (естественному) состоянию (процессу), принимаемый в качестве стандарта для всех представителей того же типа или для региона и используемый как мерило или образец при оценке состояния топологически сходных территорий и при мониторинге экологическом.

Техногенез (от греч. *techne* – искусство, мастерство и *genesis* – происхождение) – процесс изменения природных комплексов под воздействием производственной деятельности человека. Обычно выделяют геохимические аспекты Т., масштабы которого превосходят многие природные геохимические процессы.

Техносфера – это часть естественной природной биосферы значительно образом преобразованная человеком с помощью воздействия технических средств, а также непосредственно сами антропогенные объекты (средства транспорта, механизмы, здания и т.п.) функционирующие для обеспечения социально-экономического благополучия граждан и общества в целом.

Техногенный фактор – влияние, оказываемое промышленной деятельностью на организмы, биогеоценоз, ландшафт, биосферу (в отличие от естественных, или природных факторов). Т.ф. обуславливают возникновение и развитие техногенеза. Поскольку практически все обл. деятельности человека носят все более индустриальный характер (добывающая и обрабатывающая отрасли, с.-х. технологии, коммунальное хозяйство и т.п.).

Трансгрессия (от лат. *transgressio* – переход, передвижение) – наступление вод моря на сушу в результате опускания земной коры под влиянием нисходящих тектонических движение или, реже, поднятий уровня Мирового океана. Процесс, противоположный Т., называется регрессией моря.

Трансекта – отмеренная на территории экосистемы узкая прямоугольная площадка для изучения размещения видов, численности, проективного покрытия, продуктивности и других исследований. Иногда Т. разрезают в серию площадок (метод пунктирной Т.).

Трофический уровень – совокупность организмов, объединенных типом питания. Автотрофные организмы (преимущественно зеленые растения) занимают первый трофический уровень (продуценты), далее следуют гетеротрофы: на втором уровне растительноядные животные (консументы 1 порядка); хищники, питающиеся растительноядными животными – на третьем (консументы 2 порядка); вторичные хищники – на четвертом (консументы 3 порядка). Сапротрофные организмы (редуценты) могут занимать все уровни, начиная со второго. Организмы различных трофических цепей, получающие пищу через равное число звеньев, находятся на одном трофическом уровне.

У

Условия обитания – совокупность естественно-природных особенностей существования организмов, включая *абиотические* и биотические факторы, а также антропогенное воздействие.

Устойчивость – способность системы возвращаться к своим физико-химическим параметрам после оказанного на нее внешнего воздействия и временному выходу из состояния равновесия.

Устойчивости критерии: 1) количественные и качественные свойства математических моделей динамики систем, идентифицирующие соответствие структуры данной системы определенной форме устойчивости движения; 2) количественные и качественные значения переменных экологической системы, отражающие соответствие ее состояния фундаментальным представлениям об устойчивом функционировании экосистем (например, энергетика системы, показатели биоразнообразия, степень замкнутости круговорота и т.п.).

Устойчивость упругая – способность экосистемы быстро восстанавливаться.

Устойчивость экосистемы – способность экосистемы к реакциям, пропорциональным по величине силе воздействия, которые гасят эти воздействия. При этом в экосистеме возбуждаются компенсационные (отрицательные) обратные связи, что равноценно

выполнению принципа Ле Шателье. При превышении некоторой критической величины воздействия экосистема теряет устойчивость, возникают положительные обратные связи, которые могут привести к её разрушению.

Устойчивое развитие (англ. *sustainable development* – поддерживаемое развитие) – такое развитие общества, при котором улучшаются условия жизни человека, а воздействие на окружающую среду остаётся в пределах хозяйственной емкости биосферы, так что не разрушается природная основа функционирования человечества. При устойчивом развитии, удовлетворение потребностей осуществляется без ущерба для будущих поколений. Концепция устойчивого развития рассматривается как предпосылка долговременного прогресса человечества, сопровождаемого приумножением капитала и улучшением экологических условий. В англоязычной литературе под словом *sustainable* понимается очень мягкое поддерживающее управление. В соответствии с этим концепция У.р. подразумевает развитие региона через самоорганизацию при рамочной внешней поддержке, предупреждающей возможность его перехода в состояние необратимой деградации среды. Для человечества в целом эта концепция подразумевает частичное, целенаправленное, поддерживающее перемещение финансовых ресурсов из богатых регионов в бедные при широком обмене экологическими знаниями и информацией. Термин содержит в себе противоречие, заключающееся в том, что, с одной стороны, подчеркивает необходимость постоянного развития (в т.ч. материального), а с другой, предполагает ограничение этого развития. С позиции эволюционного учения спорно также само сочетание терминов устойчивость и развитие. См. также Индекс устойчивого экономического благосостояния, Устойчивое использование.

Учет численности – выявление абсолютного числа особей, приходящихся на единицу площади, или суждение о плотности их населения на основе стандартизованных методик (по уловистости орудий поимки, степени повреждения растительности фитофагами и т.п.).

Уязвимость ландшафта, экосистемы – свойство, обратное устойчивости, т. е. неспособность противостоять внешним воздействиям.

Ф

Фация (от лат. *facies* – наружность, форма) – по Л.Г. Бергу, наименьший природный территориальный комплекс, на всем протяжении которого сохраняется один литологический состав пород, одинаковый характер рельефа, увлажнения, один микроклимат, одна почвенная разность и один биоценоз. Синонимом Ф. является эпифация по Л.Г. Раменскому и элементарный ландшафт по Б.Б. Полынову. Понятие Ф. во многом совпадает с понятием биогеоценоз по В.Н. Сукачеву, однако в последнем обязательно участие биоты.

Ферментативная активность почв (от лат. *fermentum* – закваска) – способность почвы проявлять каталитическое воздействие на процессы превращения экзогенных и собственных органических и минеральных соединений благодаря имеющимся в ней ферментам. Характеризуя Ф.а.п., имеют в виду суммарный показатель активности. Ф.а.п. различных почв неодинакова и связана с их генетическими особенностями и комплексом взаимодействующих экологических факторов. Уровень Ф.а.п. определяется активностью различных ферментов (инвертазы, протеаз, уреазы, дегидрогеназ, каталазы, фосфатаз), выражаемой количеством разложенного субстрата за единицу времени на 1 г почвы.

Фитомасса – общая масса всех растительных организмов, какой-либо их группы или отдельных растений в сообществе. По оценкам Ок-Риджской национальной лаборатории (США), запас Ф. наземных и водных экосистем Земли составляет 1236,9 млрд т сухого вещества, из которых 65 % приходится на собственно лесные зоны и 22 % – на интразональные леса и лесонасаждения других природных зон.

Фитотоксичность – способность химических веществ подавлять рост и развитие растений.

Фитотоксичность почвы – свойство почвы, обусловленное наличием загрязняющих веществ и токсинов, подавлять рост и развитие высших растений.

Фитоценоз (от греч. *phyton* – растение и *koinos* – общий) – часть биоценоза, совокупность растений, занимающая однородный участок земной поверхности, характеризующаяся определенным составом, строением, сложением и взаимоотношением растений как друг с другом, так и с окружающей их средой.

Фон природный (фр. *fond* от лат. *fundus* – дно, основание) – естественные концентрация или степень воздействия экологического фактора на живые организмы. Ф.п., как правило, не оказывает негативного влияния на организмы, за исключением биогеохимических провинций с проявлениями эндемий. Степень загрязнения экосистем часто оценивают соотношением реальной концентрации вещества с природной (фоновой). Однако надо иметь в виду условность такого сравнения, поскольку деятельность человека принимает глобальные масштабы.

Флотация – метод очистки загрязненной воды путем отделения и подъем твердых гидрофобных частиц при пропускании сквозь толщу воды пузырьков воздуха или других инертных газов. Формируемая на поверхности пена или прослойка легко удаляется механическими способами.

Функционирование экосистемы – устойчивая последовательность постоянно действующих процессов передачи энергии, вещества и информации в экосистемах, обеспечивающих сохранение того или иного характерного для значительного отрезка времени состояния (инварианта). Ф.э. часто имеет ритмический (суточный и годовой) характер и не сопровождается переходом экосистемы из одного серийного состояния в другое; этим оно отличается от динамики экосистемы.

Х

Хемосинтез – процесс синтеза органических веществ из углекислого газа и воды за счет энергии окисления сероводорода, аммиака, железа и других веществ, осуществляемый отдельными видами микроорганизмов (серные, железистые бактерии и др.) в процессе своей жизнедеятельности.

Химическое потребление кислорода (ХПК) – количество кислорода, потребляемое при химическом окислении содержащихся в воде органических и неорганических веществ под действием окислителей (ГОСТ 17403-72). Правила охраны поверхностных вод (1991) устанавливают норматив ХПК для водоемов и водотоков в местах хозяйственно-питьевого водопользования – не более 15 мгО₂/л и в местах коммунально-бытового водопользования – не более 30 мг О₂/л.

Ц

Цветение воды – массовое развитие фитопланктона в водоеме, сопровождающееся изменением окраски (цветности) воды. Вызывается неблагоприятными изменениями водного режима (застой воды, загрязнение органическими веществами и минеральными удобрениями, засорение и др.); ухудшает кислородный режим водоема, вызывает заморы рыб и других водных животных.

Цветность воды – показатель оптической плотности (окраски) воды. Определяется спектрофотометрическим (колориметрическим) методом. В природных условиях Ц.в. обусловлена преимущественно содержанием гумусовых веществ (гуминовых и фульвокислот).

Цикл биогеохимический (от греч. *kyklos* – круг) – биогеохимический круговорот – носящие циклический характер процессы обмена и трансформации химического элемента между компонентами биосферы (от неорганической формы через живое вещество вновь в неорганическую). Совершается с использованием преимущественно солнечной энергии (фотосинтез) и частично энергии химических реакций (хемосинтез).

Цикл жизненный – период от рождения или появления оплодотворенного яйца до смерти. У низших организмов, размножающихся делением – период от деления до деления.

Ч

«Часы» биологические – физиологические механизмы, обуславливающие способность организмов реагировать на интервалы времени и явления, связанные с этими интервалами. Являются очень важным приспособлением организмов к условиям среды.

Численность организмов: 1) число особей данного вида на единицу площади или в популяции; 2) общее число особей живого (вне зависимости от их систематической принадлежности) на определенной площади или в единице объема.

Численность промысловая – количество доступных объектов промысла, при котором их добывание делается экономически оправданным, а изъятие организмов не приводит к подрыву ресурсов промыслового вида.

Чувствительность – способность организма реагировать на изменения факторов среды обитания. Высокая степень чувствительность характерна для *стенобионтов*. Различают чувствительность видовую, возрастную, половую, индивидуальную и др.

Ш

Шельф – подводное продолжение континентов, материковая отмель до глубин около 200 м. Наибольшее протяжение зона шельфа имеет вдоль побережий российских морей Арктики.

Шкала обилия растений (от лат. *scale* – лестница) – численность и проективное покрытие особей растений по глазомерной оценке в баллах. Например, шкала Гультя–Друде (или шкала Друде) с использованием приблизительной величины проективного покрытия (в %): 1) единично (до 0,16); 2) мало (0,80); 3) довольно много (4); 4) много (20); 5) очень много (до 20); 6) обильно (до 100 %).

Шкала оценочная – ряд непрерывно усиливающихся или ослабляющихся групп (иначе баллов), построенный с целью придания процессу или явлению количественной оценки. Ш.о. может быть представлена простыми баллами (назначенными целыми числами) или сложными (рассчитанными в % от максимального значения и др. способами). Примеры: шкала скорости ветра (Бюфорта), шкала обилия растений (Друде), шкала волнений на море и др. См. Квалиметрия.

Шум – беспорядочные колебания различной физической природы, для которых характерна сложность временной и спектральной структуры.

Шумовое загрязнение – комплекс звуков, выходящих за пределы *звукового комфорта*, способный вызывать неприятные ощущения, вплоть до разрушения органа слуха. Устойчивый шум более 90 дБ вызывает постепенное ослабление слуха и нервно-психический стресс. Очень сильный шум более 110 дБ приводит к разрушению тканей тела, прежде всего, слухового аппарата. Особенно тяжело переносятся резкие звуки высокой частоты. Считается, что физиолого-биохимическая адаптация к шуму невозможна.

Э

Эватранспирация (от лат. *evaporo* – испаряю и транспирация) – суммарное испарение – количество влаги, переходящее в атмосферу в виде пара в результате транспирации (физиологическое испарение) и физического испарения из почвы и с поверхности растительности. Эватранспирация выражается в мм водного столба и во многом соответствует уровню биопродуктивности наземных экосистем.

Эврибионт – организм способный обитать в условиях весьма различных значений факторов среды. Например, в широком интервале значений температуры или солености воды. К эврибионтам принадлежит большинство видов из умеренных и полярных регионов Земли.

Эвригал – организм, в процессе своей жизнедеятельности выносящий значительные колебания содержания солей в окружающей среде. Например, к эвригалам принадлежат большинство видов рыб, обитающих в Балтийском и Азовском морях.

Эвриоксибионт – преимущественно водный организм, способный переносить значительные колебания содержания кислорода в среде (например, карась, вьюн, ротан).

Эвритерм – организм, способный существовать в условиях значительных колебаний температуры воды или воздуха.

Эврифаг – организм, имеющий широкий спектр объектов питания. Например, бурый медведь, питающийся как животной, так и растительной пищей.

Эврифот – организм, способный существовать при различных условиях освещенности. Например, ремень, многие сорные растения, большинство оседлых полярных животных.

Эвтрофикация (от греч. *eu* – хорошо, *trophe* – питание и лат. *facio* – делаю) – повышение уровня первичной продукции вод благодаря увеличению в них концентрации биогенных элементов под влиянием природных и антропогенных факторов. Следствием развития процесса эвтрофикации может явиться массовое размножение сине-зеленых водорослей, выделяющих в среду опасные для человека токсины, зарастание водоема и превращение его в болото, падение концентрации растворенного кислорода, исчезновение ценных видов рыб и т.д.

Эвтрофикация антропогенная – обусловленная деятельностью человека. Развивается в результате обогащения водоема биогенными элементами, поступающими со сточными водами, а также с поверхностным стоком с удобряемых полей; приводит к «цветению» воды и к резкому ухудшению ее качества.

Экологическая безопасность – состояние защищенности природной среды и жизненно важных интересов человека от возможного негативного воздействия хозяйственной и иной деятельности, чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера, их последствий.

Экологическая экспертиза – это установление соответствия намечаемой хозяйственной и иной деятельности экологическим требованиям и определение допустимости реализации объекта экологической экспертизы в целях предупреждения возможных неблагоприятных воздействий этой деятельности на окружающую среду и связанных с ними социальных, экономических и иных последствий реализации объекта экологической экспертизы.

Экологический фактор – это отдельный элемент среды, оказывающий непосредственное и очевидное воздействие на различные стороны жизнедеятельности организмов. Под экологическими факторами понимается любой элемент или условие среды (температура воздуха или воды, концентрации газов, солнечный свет, характер грунта и др.), на которые организмы реагируют приспособительными реакциями, или адаптациями.

Экологический мониторинг окружающей среды – комплексная система наблюдений за состоянием окружающей среды, оценки и прогноза изменений состояния окружающей среды под воздействием природных и антропогенных факторов.

Экологическое равновесие – количественное и качественное соотношение естественных и измененных человеком экологических компонентов и природных процессов, приводящее к длительному существованию экосистемы данного вида или ее эволюцию в ходе сукцессии. Следует помнить об условности использования термина «равновесие» в данном случае, поскольку и экосистемы и биосфера в целом не являются равновесными системами в физическом смысле.

Экологический риск – вероятность наступления события, имеющего неблагоприятные последствия для природной среды и вызванного негативным воздействием

хозяйственной и иной деятельности, чрезвычайными ситуациями природного и техногенного характера. Для расчета риска определяют статистическими методами не только вероятность нежелательного события, но и ущерб, который может быть нанесен при реализации этого события.

Экосистема – понятие, введенное А. Тенсли (1935), обозначающее относительно устойчивую систему динамического равновесия, в которой организмы и неорганические факторы являются полноправными компонентами. Экосистема представляет собой совместно функционирующие на данном участке организмы (биотическое сообщество), взаимодействующие с физической средой таким образом, что поток энергии создает четко определенные биотические структуры и круговорот веществ между живой и неживой частями. В дальнейшем понятие трансформировалось многими авторами и в своей функциональной части близко понятию биогеоценоза, но лишено географичности последнего, и следовательно, размеры экосистемы не определяются заранее заданным правилом. Экосистемы могут быть разных порядков: от самых мельчайших до весьма обширных вплоть до биосферы. Экосистема – широкое понятие, в этом смысле близко к понятиям комплекс природный-1, геосистема, но более биологично по существу, поскольку центральной концепцией экосистемы является представление о цепях питания и трофических уровнях. Предлагались и другие термины, адекватные по содержанию Э.: микрокосм (Форбс, 1887); голоцен (Фридерикс, 1931); биохора (Пальман, 1931); биосистема (Тиннеман, 1941); экотон (Троль, 1950); сайт (Хилс, 1960), не получившие распространения.

Экотон – зона контакта и взаимодействия между несколькими разнородными сообществами, в которой отмечается увеличение видового разнообразия организмов. Например, экотон обычно формируется на границе луга и леса, при взаимодействии пресных речных и морских вод.

Электродиализ – метод очистки загрязненной воды путем ее последовательного прохождения через камеры с ионоселективными мембранами и электродами постоянного тока. В первых камерах вода избирательно обессоливается, в крайних – накапливает концентрат солей с последующим разделением.

Эмерджентность – явление не сводимости свойств частных компонентов к совокупности свойств целой системы. Например, молекула вещества обладает иными свойствами, чем слагающие ее атомы по отдельности. Свойства экосистемы нельзя рассматривать как простой набор свойств и характеристик живых организмов и неживой природы.

Эрозия (от лат. *erosio* – разъедание) – процесс разрушения горных пород или любых других поверхностей с нарушением их целостности и изменением физико-химических свойств в результате процессов механического истирания многообразных физических и химических явлений. В соответствии с последним различают физическую, химическую и биологическую эрозию, водную и ветровую эрозию.

Эрозия почвы – процесс механического разрушения почвы под действием поверхностного стока (водная эрозия) или ветра (ветровая эрозия, или дефляция). По мнению Ж. Дорста (1968), ускоренная Э.п. представляет собой сейчас самое серьезное и самое тяжелое последствие вторжения человека в природу. В составе сельскохозяйственных почв России более 116 млн га занимают эрозионно опасные и подверженные водной и ветровой эрозии земли, в т.ч. эродированные – 53,6 млн га.

Эрозионные ландшафты – природные территориальные комплексы, происхождение, структура и динамика которых предопределены деятельностью текучих вод (речные долины, суходолы, балки, овраги, эродированные останцовые гряды и др.). Антропогенная деятельность усиливает процессы эрозии и образование эрозионных ландшафтов.

Рекомендуемая литература

Основная

1. *Башмаков Д.И.* Учение о биосфере: учеб.-метод. комплекс: [Электронный ресурс]. – Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2021. – Режим доступа: http://openedo.mrsu.ru/pluginfile.php/130289/mod_resource/content/1/Учение%20о%20биосфере.pdf.
2. *Дроздов В.В.* Общая экология. Учебное пособие. – СПб.: РГГМУ, 2011. – 412 с. – Режим доступа: http://elib.rshu.ru/files_books/pdf/img-504164915.pdf.
3. *Дроздов В.В.* Практикум по экологии. Учебно-методическое пособие. – СПб.: РГГМУ, 2019. – 256 с. – Режим доступа: http://elib.rshu.ru/files_books/pdf/rid_c1a93766de5942d9a3b590d795ce0d5a.pdf.
4. *Жиров А.И., Дмитриев В.В., Ласточкин А.Н.* Прикладная экология. В 2 т.: учебник для академического бакалавриата / под ред. А.И. Жирова. – 2-е изд., пер. и доп. – М.: Юрайт, 2018. – 355 с. – Режим доступа: www.biblio-online.ru/book/180A84E0-C7EA-4D7D-BF51-BAE87E957B12.
5. *Королев В.А.* Очистка и восстановление геологической среды. Учебное пособие для вузов – М.: ООО Сампринт, 2019 – 430 с. – Режим доступа: https://okhotin-grunt.ru/arhiv3/Очистка_и_восстан-Уч-пособие-Королев-2019.pdf
6. *Сандимиров С.С. и др.* Методы экологических исследований водоемов Арктики: монография. – Мурманск: Изд-во МГТУ, 2018. – 186 с. – Режим доступа: https://inep.ksc.ru/documents/Metody_ekologicheskikh_2018.pdf.
7. *Музалевский А.А.* Экологическая безопасность и методы ее обеспечения: учебное пособие. – СПб.: РГГМУ, 2020. – 230 с. – Режим доступа: http://elib.rshu.ru/files_books/pdf/rid_453dbb6d11834f8fb20a84d5c84924f0.pdf.
8. *Физико-химические основы процессов очистки воды: учебное пособие / А.Ф. Никифоров, А.С. Кутергин, И.Н. Липунов, И.Г. Первова, В.С. Семенищев.* – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2016. – 164 с. – Режим доступа: https://elar.urfu.ru/bitstream/10995/40610/1/978-5-7996-1618-2_2016.pdf.

Дополнительная

1. *Будыко М.И.* Эволюция Биосферы. – Л.: Гидрометеиздат, 1984. – 488 с.
2. *Вернадский В.И.* Химическое строение Биосферы Земли и ее окружения. – М.: Наука, 2001. – 376 с.
3. *Вернадский В.И.* Живое вещество. М.: Наука, 1978. – 358 с.
4. *Баландина А.В., Еремченко О.З.* Микробная ремедиация нефтезагрязненных агро-дерново-карбонатных почв и техногенных поверхностных образований в подзоне южной тайги: монография. – Пермь: Перм. гос. фарм. акад.; Перм. гос. нац. исслед. ун-т, 2016. – 100 с. – Режим доступа: <http://www.psu.ru/files/docs/fakultety/bio/mikrobnaya-remediaciya.pdf>.
5. *Ветошкин А.Г.* Процессы и аппараты пылеочистки. Учебное пособие. – Пенза: Изд-во Пенз. гос. ун-та, 2005. – 210 с. – Режим доступа: <https://echemistry.ru/assets/files/books/ekologiya/skrubbery.pdf>.
6. *Дроздов В.В., Смирнов Н.П., Косенко А.В.* Учение о гидросфере. Курс лекций. – СПб.: РГГМУ, 2015. – 423 с. – Режим доступа: http://elib.rshu.ru/files_books/pdf/rid_371cb12152d14e1882d88e1539ffd0b8.pdf.
7. *Дроздов В.В.* Влияние колебаний климата на динамику экосистем Балтийского и Белого морей. Монография. – СПб.: РГГМУ. – 2015. – 235 с. – Режим доступа: http://elib.rshu.ru/files_books/pdf/rid_4d0659c68f0f418c9756d7e29c42ef9e.pdf.
8. *Дроздов В.В.* Влияние колебаний климата на динамику экосистем Черного и Азовского морей. Монография. – СПб.: РГГМУ. – 2019. – 230 с. – Режим доступа: http://elib.rshu.ru/files_books/pdf/rid_9811f924359c4dc99e8d1ead7bef9f2e.pdf.

9. Дроздов В.В., Тыркин И.А. Экологическая безопасность промышленного рыболовства: Учебное пособие. – Санкт-Петербург: РГГМУ, 2021. – 254 с. – Режим доступа: http://elib.rshu.ru/files_books/pdf/rid_86866e48f7f44dcca91bcd99a6525d0.pdf.
10. Игнатьева Л.П., Чирцова М.В., Потапова М.О. Гигиена атмосферного воздуха: учебное пособие / ГБОУ ВПО ИГМУ Минздрава России, Кафедра коммунальной гигиены и гигиены детей и подростков. – Иркутск: ИГМУ, 2015. – 79 с. – Режим доступа: https://www.ismu.baikal.ru/src/downloads/1c7cb547_gigiena_atmosfernogo_vozduha.pdf.
11. Карелин В.А. Водоподготовка. Физико-химические основы процессов обработки воды: учебное пособие. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2012. – 97 с. – Режим доступа: https://portal.tpu.ru/SHARED/v/VAKARELIN/Work/vodo/Tab4/Karelin_Vodopodgotovka__F-x_osnovy_processov_obrabotki_v.pdf.
12. Кривичев А.И., Залецкий А.В. Беспилотные авиационные технологии мониторинга сфер человеческой деятельности на примере крупнейших производителей и эксплуатантов в России // Изв. вузов «Геодезия и аэрофотосъемка». 2018. – Т. 62, № 2. – С. 186–195. – Режим доступа: <http://www.miigaik.ru/upload/iblock/59c/59c8662717e7cb841682ebd64b92a6fa.pdf>.
13. Музалевский А.А. Техногенный и экологический риск в природно-технических системах: учебно-методическое справочное пособие. – СПб.: РГГМУ, 2019. – 184 с. – Режим доступа: http://elib.rshu.ru/files_books/pdf/rid_58300e05b8a248ceb13eaf28816ecf2.pdf.
14. Смирнов А.Н., Смирнов Н.П. Колебания климата и биота Северной Атлантики. Монография. – СПб.: РГГМУ, 1998. – 149 с.
15. Хаустов А.П., Редина М.М. Экологический мониторинг: учебник для академического бакалавриата. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: Юрайт, 2019. – 543 с. – Режим доступа: https://mx3.uraif.ru/uploads/pdf_review/0EAA16C6-755D-4DAC-BA45-0FD6575DCFAE.pdf.

Оглавление

Глава 7. Биоценозы

7.1. Понятие биоценоза	3
7.2. Структура биоценоза	4
7.2.1. Пространственная структура биоценоза	4
7.2.2. Видовая структура биоценоза	10
7.2.3. Функциональная и экологическая структура биоценоза	18
7.3. Связи между видами в биоценозе	20
7.3.1. Хищничество	20
7.3.2. Паразитизм	24
7.3.3. Комменсализм и аменсализм	27
7.3.4. Конкуренция	28
7.3.5. Мутуализм	30
7.3.6. Топические, форические и фабрические связи в биоценозе	35
7.4. Понятие об экологической нише	37

Глава 8. Экосистемы

8.1. Понятие об экосистеме и биогеоценозе	41
8.2. Энергия и биологическая продукция в экосистемах	44
8.3. Биогеохимические циклы в экосистемах	47
8.3.1. Круговорот углерода	48
8.3.2. Круговорот азота	49
8.3.3. Круговорот фосфора	50
8.3.4. Круговорот воды	51
8.4. Динамика экосистем	51
8.4.1. Сукцессионные изменения	52
8.4.2. Эволюция экосистем	56
8.5. Биосфера как глобальная экосистема Земли	60
8.5.1. Понятие биосферы	60
8.5.2. Границы биосферы	60
8.5.3. Состав и свойства биосферы	61
8.5.4. Живое вещество биосферы	62
8.5.5. Функции живого вещества в биосфере	63

Глава 9. Основы прикладной экологии

9.1. Экологическая ниша человека	67
9.2. Техносфера и ноосфера	69
9.3. Антропогенное воздействие на экосистемы	76
9.3.1. Отходы и их свойства	81
9.3.2. Загрязнение атмосферного воздуха	83
9.3.3. Загрязнение природных вод	86
9.3.4. Загрязнение почвы	91
9.4. Нормирование качества окружающей среды	92
9.5. Мониторинг и контроль состояния окружающей среды	98

9.6. Оценка состояния окружающей среды	115
9.6.1. Понятие о методах биоиндикации и биотестирования	118
9.6.2. Метод расчета удельного комбинаторного индекса загрязнения воды	125
9.6.3. Современные приборы-анализаторы	130
9.7. Современные способы и методы очистки воды.	137
9.8. Современные способы и методы очистки воздуха	141
9.9. Оценка воздействия на окружающую среду планируемой деятельности.	147
9.10. Государственная экологическая экспертиза	152
9.11. Современные методы управления природоохранной деятельностью	153
9.12. Национальный проект «Экология» и его приоритеты	159
9.13. Экотехнопарки и их функции	162
9.14. Экологические кризисы и переход к устойчивому развитию.	166

Краткий словарь экологических терминов и понятий

А	174
Б	176
В	180
Г	182
Д	182
Е	183
Ж	183
З	184
И	185
К	187
Л	189
М	190
Н	191
О	192
П	193
Р	196
С	197
Т	199
У	200
Ф	201
Х	202
Ц	202
Ч	203
Ш	203
Э	203

Рекомендуемая литература

Основная	206
Дополнительная	206

Учебное издание

Дроздов В.В.,

канд. геогр. наук, доц., зав. кафедрой ГПиЭБ РГГМУ

Музалевский А.А.,

д-р техн. наук, проф.

ОБЩАЯ И ПРИКЛАДНАЯ ЭКОЛОГИЯ

Начальник РИО А.В. Ляхтейнен

Редактор Л.Ю. Кладова

Верстка М.В. Ивановой

Подписано в печать 30.12.2022. Формат 60×90 ¹/₈. Гарнитура Times New Roman.
Печать цифровая. Усл. печ. л. 26,25. Тираж 50 экз. Заказ № 1032.
РГГМУ, 192007, Санкт-Петербург, Воронежская ул., 79.



Дроздов Владимир Владимирович – кандидат географических наук, доцент, заведующий кафедрой геоэкологии, природопользования и экологической безопасности РГГМУ. Выпускник экологического факультета РГГМУ. Кроме РГГМУ, работал в частных фирмах экологической направленности, а также начальником отдела ФГУП «Крыловский государственный научный центр», отделение «Трансфера перспективных междисциплинарных технологий».

Основные научные интересы: экологическая безопасность водных и наземных экосистем; исследование причин и следствий климатических изменений во внутренних морях Европы и в Арктике; исследование многолетней изменчивости численности промысловых популяций рыб; охрана окружающей среды.

Автор и соавтор более 100 научных публикаций, в том числе 5 монографий, а также 8 учебных пособий. Проводит занятия по дисциплинам: «Экологическая безопасность морской хозяйственной деятельности», «Экологическая безопасность в экстремальных условиях», «Современные методы экологических исследований», «Адаптации человека и общества к климатическим изменениям», «Глобальные и региональные экологические проблемы» и др. Участник экспедиционных исследований. Внештатный эксперт Росприроднадзора по Северо-Западному Федеральному округу.



Музалевский Анатолий Александрович – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры геоэкологии, природопользования и экологической безопасности РГГМУ.

Научные регалии, звания, награды: академик МАНЭБ, «Изобретатель СССР», Золотая медаль ВДНХ СССР, медаль им. В.И. Вернадского, орден Почета.

Монографии: 8; учебники и учебные пособия: 6.

Научные интересы: теоретическая и прикладная экология; экологический мониторинг; экологические и технические риски.