
В. В. ЕГОРОВ

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

*Рекомендовано
Учебно-методическим объединением
высших учебных заведений Российской Федерации
по образованию в области зоотехнии и ветеринарии
в качестве учебного пособия для студентов
высших учебных заведений, обучающихся
по специальности 10401 — «Зоотехния»
и 111201 — «Ветеринария»*



ЛАНЬ®
САНКТ-ПЕТЕРБУРГ • МОСКВА • КРАСНОДАР
2009

ББК 20.1

Е 30

Егоров В. В.

Е 30 Экологическая химия: Учебное пособие. — СПб.: Издательство «Лань», 2009. — 192 с.: ил. — (Учебники для вузов. Специальная литература).

ISBN 978-5-8114-0897-9

Учебное пособие предназначено для студентов сельскохозяйственных вузов, в том числе ветеринарного профиля. Оно содержит сведения по экологической химии — важному разделу экологии. Эти сведения необходимы не только для освоения данного предмета и осознания роли экологии в природе, но и как основа для понимания таких специальных разделов, как ветеринарная и биоэкология, фармакология, зоогигиена и др. Представлены основные понятия экологической химии, ее фундаментальные концепции и законы, а также принципы биологической экологии. Пособие построено по определенному плану, заключающемуся в последовательном рассмотрении различных сфер природы Земли: атмосферы, гидросферы, педосферы и биосферы, что помогает глубже понять их особенности и взаимодействие. В заключительном разделе приведены положения международного права и организации, отвечающие за сотрудничество в данной области.

ББК 20.1

Рецензенты:

профессор кафедры системной экологии
экологического факультета РУДН *ОРЛОВА В. С.*;
заведующий кафедрой химии и биохимии
Харьковской государственной зооветеринарной академии,
д. б. н., профессор *ЖЕГУНОВ Г. Ф.*;
заслуженный профессор МГУ, академик, ректор ОЭУ, эксперт ООН
по проблемам химической безопасности *ПЕТРОСЯН В. С.*;
профессор кафедры фармакологии и токсикологии
МГБВМиБ имени К. И. Скрябина, д. в. н. *УРАЗАЕВ Д. Н.*

Обложка

А. Ю. ЛАПШИН

*Охраняется законом РФ об авторском праве.
Воспроизведение всей книги или любой ее части
запрещается без письменного разрешения издателя.
Любые попытки нарушения закона
будут преследоваться в судебном порядке.*

© Издательство «Лань», 2009

© В. В. Егоров, 2009

© Издательство «Лань»,

художественное оформление, 2009

ПРЕДИСЛОВИЕ

В основу учебника положен курс лекций по экологической химии, прочитанный автором в 2000–2007 годах в Московской ветеринарной академии (ФГОУ ВПО МГАВМиБ имени К. И. Скрябина) на биологическом факультете.

Цель этого курса — показать студентам сельскохозяйственных вузов — биологам, медикам, ветеринарам, зоотехникам — всю важность экологии и ее раздела — экологической химии — в современном мире. Задача курса — дать будущим специалистам, биологам и ветеринарам, фундаментальные знания по экологической химии — действенный механизм в борьбе с загрязнениями окружающей среды, их последствиями для организмов.

Следует заметить, что недалеко то время, когда лечить и животных, и растения, и человека придется по большей части от заболеваний, связанных с загрязнениями окружающей среды, вызванными антропогенным воздействием. Так, по данным статистики, только в 2007 году заболевших в результате экологических нарушений в России зафиксировано около 400 000 человек. Поэтому уже сегодня мы должны готовить грамотных специалистов-биоэкологов.

Ученые отмечают, что «физики изобретают оружие, грозящее смести жизнь с нашей планеты; химики загрязняют окружающую среду в глобальном масштабе; биологи дают жизнь новым, неведомым микроорганизмам, не представляя последствий их появления на свет; психологи и другие ученые истязают животных во имя научного прогресса — вся эта непрекращающаяся «деятельность» наводит на мысль о незамедлительном введении эколого-этических законов в современную науку» (Ф. Капра).

ВВЕДЕНИЕ

Экология — эта наука, возникшая сравнительно недавно, всего какое-то столетие назад. Но она быстро завоевала умы человечества. И это понятно, ведь с греческого «ойкос логос» переводится как «наука о нашем доме» (Геккель перевел это название как «животное у себя дома»). Это учение о мире, который нас окружает, о том, как он влияет на нас, а мы — на него. Соблюдаем ли мы правила общежития в этом мире и чем чревато их нарушение — вот что волнует каждого из нас.

Одним из основоположников экологии и конкретно учения о биосфере был наш академик Владимир Иванович Вернадский (1863–1945). Нет, не он первым обратил внимание на антропогенное, в частности и биогенное, влияние вообще на окружающую природу, но он поставил этот вопрос во главу угла. Именно ему принадлежит фраза: «На земной поверхности нет химической силы более постоянно действующей, а потому и более могущественной по своим конечным последствиям, чем живые организмы, взятые в целом». Он предостерегал, а его последователи призывали народы и правительства к защите окружающей среды — дома, в котором мы живем.

Почему же эта наука не возникла раньше, одновременно с другими естественными дисциплинами? Дело в том, что человек долго не замечал негативных последствий своей деятельности, пока они не стали настолько явными, что пришлось бить тревогу. Сегодня ученые говорят во всеулышание, что «нарушение нами среды обитания — это бом-

ба замедленного действия». Нас уничтожат не вирусы и не инопланетяне, а, если не остановимся, мы сами! Как тут не вспомнить басню Крылова о свинье под дубом вековым, подрывающей его корни.

Когда же Земля «почувствовала» присутствие на ней живых существ и когда возникли столь явные нарушения? Когда-то, в добиологический период существования Земли ее атмосфера была восстановительной и весь мир был в равновесии. Но с появлением организмов, в первую очередь фотосинтезирующих, и накоплением кислорода оно нарушилось. В конце концов атмосфера, а за ней и гидросфера стали окислительными, а литосфера, ее поверхность — окисленной. То есть тогда, около двух–трех миллиардов лет назад, живое вещество активно включилось в окружающие «сферы» и стало неотъемлемой частью природы. И в этом новом мире опять установилось равновесие.

Но прошли те самые миллиарды лет, и где-то с середины XVIII — начала XIX века новое, теперь уже антропогенное воздействие стало активно внедряться в природу — началась научно-техническая эра человечества. И опять равновесие было нарушено, а окружающая среда стала изменяться, и, к сожалению, не в лучшую сторону. Человек потреблял, мало что давая взамен.

Что мы успели испортить вокруг за эти два столетия?

Атмосфера: озоновые дыры, кислотные дожди, смоги и парниковые газы.

Вода: загрязнение водных бассейнов и потеря многих источников пресной воды, эвтрофикация, т. е. старение и гибель водоемов плюс создание условий для развития патогенной микрофлоры.

Почва: бездумные агрономические мероприятия плюс активная химизация народного хозяйства, в результате — болота, солончаки, пустыни, эрозии разных типов. Здесь же литосфера: только за последние 30 лет планета потеряла 30% своих естественных ресурсов.

Организмы: нарушение естественных функций, подавление иммунитета как созданием новых пород, сохранением ослабленных форм, так и лекарствами, отходами,

«большой химией» — от удобрений до ядохимикатов — и просто ядами — химическим оружием. А бактериологическое, а ядерное оружие? То есть дело дошло до прямого уничтожения жизни.

Но природа стремится себя сохранить, противодействуя нашим «новациям». В результате — новые болезни и эпидемии, эпизоотии, эпифитотии — массовая гибель организмов, сокращение сферы обитания, увеличение численности и усиление «хищников» и прочее, и прочее.

В связи со сказанным термин «экология» проник во многие дисциплины, как естественные, так и гуманитарные. Все, что мы творим себе и природе на благо и во вред, оказывается в поле зрения этой науки. Есть экология как самостоятельное направление в биологии, но есть экологическая физика и экологическая химия, промышленная (инженерная), сельскохозяйственная, медицинская, ветеринарная экология и др. Не за горами время, когда появятся экологическая филология (наука о «грязи» в нашем языке), экологическая математика и информатика (наука о создании программ — барьеров на пути теоретических разработок, способных нас уничтожить, «вирусов» против негативных последствий Интернета) и т. д.

Глобальные последствия — как много сегодня говорится об этом, но, к сожалению, делается гораздо меньше. И вот прогноз: грядущее глобальное потепление, а за ним затопление огромной части суши со всеми вытекающими последствиями. Но это лишь прогноз, а реально? В последнее время на планете резко увеличилось количество природных катаклизмов — штормов, цунами, смерчей, которые несут разрушение и гибель. Но все ли они природные? По оценкам ученых, масштабное выделение парниковых газов в развитых странах приводит к повышению (в промышленных и густонаселенных районах) и дисбалансу температуры, в частности, между сушей и морем (например, в США). Это может стать причиной тех самых движений громадных воздушных масс, которые приводят к штормам и смерчам.

Но экология — это не только проблема загрязнений. Она включает в себя любое воздействие окружающей при-

роды на организм и наоборот. Тем не менее главное сегодня — это, конечно, поиск источников ее нарушений и путей избавления от них и их последствий, т. е. поиск выхода из создавшейся ситуации, когда мы фактически поставили себя на грань самоуничтожения. Что-то уже вернуть нельзя. Это исчезнувшие бесследно породы растений и рыб, животных и птиц — целая «черная книга». Но есть еще «Красная книга», в которую включено все, что на грани уничтожения. И мы в состоянии, мы должны это сохранить, переходя к новой эре — по Вернадскому, к ноосфере, или сфере разума, когда человечество будет жить по законам природы, а значит, в союзе с ней.

Охрана природы подразумевает совокупность государственных и общественных мероприятий, направленных на сохранение атмосферы, вод, земных недр, а также растений, животных и человека. Все это в целях гармоничного взаимодействия природы и общества, во имя живущих и будущих поколений.

В истории формирования природоохранной концепции можно выделить несколько этапов:

- видовая и заповедная охрана природы;
- охрана ресурсов;
- охрана среды обитания человека.

Охрана окружающей среды, защита окружающей природной среды, охрана биосферы, экологическая безопасность — все эти термины означают жизненно важные интересы человека, его право на благоприятную окружающую природную среду.

ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И КОНЦЕПЦИИ

1.1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ ЭКОЛОГИИ

Как любая наука, экология имеет свой язык. Начнем с главных понятий.

Экология — наука об окружающей среде, взаимодействии с ней живых организмов, а также о влиянии организмов друг на друга.

Экологическая химия (по Барбье) — наука о химических взаимодействиях между живыми организмами, а также между живой и неживой природой.

Автотрофы (продуценты) — организмы, использующие (потребляющие) минеральные вещества, воду и углекислый газ для получения органического вещества (и кислорода).

Гетеротрофы (консументы) — организмы, потребляющие органическое вещество.

Консументы первого рода употребляют растительную пищу, второго — животную, т. е. первых, и т. д.

Метаболиты — продукты жизнедеятельности организма.

Аэробы — организмы, использующие для дыхания кислород.

Анаэробы — организмы, использующие другие соединения.

Прокариоты — безъядерные организмы, клетки.

Эукариоты — организмы, клетки, содержащие ядро.

Биогены — вещества, необходимые для жизнедеятельности (кислород, вода, соединения азота, фосфора и др.).

Загрязнение окружающей среды — привнесение новых, не характерных для нее физических, химических и био-

логических агентов, или превышение естественного уровня естественных метаболитов.

Поллютанты — загрязняющие вещества. Из них наиболее опасными считаются тяжелые металлы, радионуклиды, ароматические, хлор- и фосфорорганические соединения, нитрозамины и др.

Ксенобиотики — вещества, не свойственные самой природе.

Экохимическая защита — наука об источниках и путях химических загрязнений окружающей среды, их последствиях и способах устранения.

Биота — совокупность всех живых организмов в природе.

Популяция — группа организмов определенного вида, управляемая общими экологическими законами. Примерами популяций являются сосновый бор, ромашки в поле, стая волков и др.

Биоценоз (по Мебиусу) — взаимосвязь и взаимовлияние популяций растений (фитоценоз) и животных (зооценоз).

Биогеоценоз — биоценоз и среда его обитания.

Биома — территория, занятая организмами (сообществом, популяцией), живущими по законам биоценоза.

Гомеостаз (по Кэннону) — постоянство среды обитания и внутренней среды в организме. Оно поддерживается саморегуляцией, основанной на замкнутых циклах.

1.2. УЧЕНИЕ ВЕРНАДСКОГО О БИОСФЕРЕ

Биосфера — сумма всех биогеоценозов, или биота плюс биома.

По В. И. Вернадскому, биосфера — это область жизни, объединяющая живое и косное (неорганическое) вещество. Между ними идет постоянный обмен веществом и энергией путем дыхания, питания организмов и пр.

Биокосным Вернадский называл вещество, появившееся при участии организмов и состоящее из живого и косного вещества, например почва.

Главная заслуга Вернадского — создание учения о биосфере.

Учение о биосфере (по Вернадскому).

1. Живое вещество более или менее равномерно распределено на земной поверхности, т. е. оно непрерывно в пространстве, а также во времени.

В нем сконцентрирована энергия, полученная от солнца, так как любой организм — это продукт преобразования солнечной энергии в энергию органических соединений. Таким образом, жизнь на Земле связана с космосом.

2. Организмы на Земле выполняют строго определенные биогеохимические функции, необходимые для поддержания жизни.

Они создают определенное давление на окружающую среду, изменяют течение химических реакций, участвуют в круговороте химических элементов и пр. Можно сказать, что организмы — это реальная химическая сила на Земле.

3. Биосфера с необходимостью переходит в ноосферу, или сферу разумной деятельности человека.

Рассмотрим последовательно перечисленные положения. Что касается первого, то действительно организмы заполняют поверхность планеты, адаптируясь к конкретным условиям. Они находятся в ее глубине и в воздухе. При этом их история на Земле непрерывна, о чем свидетельствуют данные геологии.

Говоря о роли солнца, надо отметить, что его излучение является постоянно действующим фактором на нашей планете. Солнце участвовало в образовании первых органических молекул (левоповорачивающие органические соединения — продукт левого вращения плоскости поляризации электромагнитного солнечного излучения). Оно является основным источником энергии для их синтеза сегодня (фотосинтез). Его ритмы определяют ряд биоритмов и макроциклов в органической и неорганической среде планеты (суточный ритм, месячный цикл, циклы Чижевского и пр.).

Что касается космоса, то не будем забывать о гипотезах, в том числе В. И. Вернадского, связывающих с ним происхождение жизни на Земле. И сегодня мы постоянно

находимся в зоне действия космических частиц (протонов — 91%, альфа-частиц — 8% плюс атомы элементов, а также космическая пыль и метеориты) и излучений. Если с первыми мы встречаемся относительно редко, то вторые все время оказывают влияние на биосферу нашей планеты, во многом определяя ее состояние. Причем магнитное поле Земли и озоновый экран защищают нас от наиболее губительных воздействий.

Итак, космос постоянно воздействует на биосферу. Но и мы, в свою очередь, начинаем активно внедряться в космос, влияя на него. «Всюдность, вечность и безначальность космической жизни тесно связаны с ее организацией», — так говорил Вернадский, определяя роль организмов и их сообществ во Вселенной.

Второе положение вполне очевидно. Мы уже отмечаем, что организмы включены в природу Земли, являясь ее неотъемлемой составляющей. Они изменили все сферы и сегодня играют важнейшую роль по поддержанию (а где-то нарушению) равновесия в этих сферах, о чем мы будем говорить на протяжении всего курса.

Касательно ноосферы, ее неперемногого наступления на Земле, Вернадский сформулировал условия, необходимые для ее формирования:

- заселение человеком всей Земли,
- создание эффективных средств связи и обмена между странами,
- усиление всех связей на Земле,
- преобладание роли антропогенных над другими процессами в биосфере,
- открытие новых источников энергии,
- равенство всех людей,
- усиление роли народных масс в политике,
- создание условий для свободы научной мысли,
- подъем благосостояния народа и его образование,
- разумное преобразование природы в интересах человека,
- исключение войн из жизни людей.

Действительно, анализ показывает, что ряд условий уже выполнен или выполняется. Но этого пока не достаточно

для наступления новой эры — эры сформированной ноосферы.

К сказанному надо добавить следующее: как для любой косной или химической системы характерно стремление к равновесию, его поддержанию (принцип Ле Шателье–Брауна), так для любой живой биохимической системы характерно сохранение ее гомеостаза.

Это равновесие, или гомеостаз, поддерживается за счет саморегуляции биологической системы. Без нее невозможно сохранение жизни как отдельного организма, так и его популяции. Если взять, например, популяцию хищников (на данной территории), то их численность за счет саморегуляции постоянно поддерживается на должном уровне. Если она станет больше, то всем не будет хватать пищи. В результате — гибель наиболее слабых, и численность возвращается к норме. Если она станет меньше, то пищи (животных, которыми питаются хищники) станет больше, что приведет к росту самой популяции, восстановлению ее нормальной численности и т. д.

Заметим, что преодоление определенных критических пределов может привести к гибели популяции: если она значительно ниже нормы, то в результате уничтожения соседями, а если заметно выше, то в результате голода и болезней (также возможно не без «помощи» соседей).

Что касается экологической взаимосвязи и взаимозависимости («все связано со всем»), то на это мы уже обращали внимание и будем отмечать неоднократно и далее.

1.3. ОСНОВЫ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО УЧЕНИЯ

1.3.1. ПЕРВОЕ ПОЛОЖЕНИЕ ЭКОЛОГИИ

Сегодня все отчетливее звучит требование экологической грамотности населения. Экологическая грамотность означает знание и понимание законов и принципов экологии. Только при этом условии можно говорить о создании устойчивой биосферы, в частности устойчивых сообществ организмов. Принципы и положения экологии должны быть реа-

лизованы в деятельности нашего общества, причем не только в образовательной, но и в деловой и политической.

Первое положение экологического учения. *Условием нормального существования на Земле является устойчивость в системе «организмы–окружающая среда», обеспечиваемая взаимодействием и взаимозависимостью ее составляющих.*

Известно, что равновесие в химической реакции обеспечивается равенством скоростей прямой и обратной реакций. Точно так же равновесие в биологических системах поддерживается равенством скоростей поступления биогенов и энергии и их потребления (плюс рассеивание последней). Например, скорость выделения кислорода автотрофами — растениями и простейшими (в результате фотосинтеза) равна скорости его поглощения организмами-гетеротрофами:

$$v(\text{выделения } O_2) = v(\text{поглощения } O_2).$$

Аналогичное справедливо и для большинства других биогенов, а также для энергии, поступающей в биосферу:

$$E(\text{Солнца} + \text{Земли}) = E(\text{потребление} + \text{рассеивание}).$$

В связи с этим отметим ряд пределов по указанным параметрам.

Климатический предел — максимум поступающей в природу Земли энергии и вещества.

Биологический предел — максимум их потребления биотой (организмами).

Экологический предел — максимум их потребления без экологических нарушений.

Экологический резерв — доля природных ресурсов (полезных ископаемых, лесов, животных и пр.), которая может быть изъята без нарушения экологии.

Одно из важнейших равновесий на Земле — это равновесие по углероду:

органический углерод \leftrightarrow неорганический углерод.

Такое равновесие сохранялось до конца XVIII — начала XIX века. Но далее оно стало нарушаться по двум

причинам: в связи с техническим прогрессом и ростом численности населения.

Заметим, что к первому тысячелетию н. э. на Земле было около 100 млн человек. В X веке численность населения достигла 1 млрд, к 2000 году — 6,3 млрд, а к 2025 году прогнозируется около 8,5 млрд. То есть наблюдается экспоненциальный рост народонаселения, а ведь все мы активно потребляем органические соединения, производимые только растениями!

По поводу взаимосвязи и взаимозависимости следует сказать, что правильная оценка этих условий требует системного мышления — перехода от части к целому, от объектов к их взаимоотношениям. Все члены экологического сообщества, или биосферы, связаны через обширную и сложную сеть таких взаимоотношений. «Только через них любой организм обретает свои жизненно важные свойства и само существование» (Капра). Поведение каждого зависит от поведения других. Успех всего сообщества зависит от успеха каждого индивидуального члена и наоборот. Только с учетом этих особенностей можно правильно оценивать текущую ситуацию и перспективы.

1.3.2. ЧТО НУЖНО ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ ПЕРВОГО ПОЛОЖЕНИЯ ЭКОЛОГИИ

Мы уже отмечали стремление природы вернуть устойчивость или равновесие сокращением жизненного пространства, продуктов питания, ростом «хищников» (бактерий, вирусов) и токсических веществ. Именно в результате роста загрязнений (и войн) прогрессируют заболевания и смертность. Однако не только природа, но и сам человек стремится к устойчивости, т. е. к нормальным условиям существования, или ноосфере (сфере разума).

Но как это реализовать на практике? Очевидно, что остановить технический прогресс нельзя, но можно и нужно избегать его негативных последствий. Мы в состоянии: 1) ограничить рост населения (пример — Китай); 2) ограничить пределы применения научных и технических достижений (атомные станции, а не бомбы); 3) определить до-

пустимые пределы загрязнений и ограничить их. При этом необходимо выявить их взаимовлияние (синергизм, антагонизм).

Важно также сократить расширение сельскохозяйственных площадей, более продуктивно используя уже имеющиеся. Не допускать (или минимизировать) открытую добычу полезных ископаемых, поскольку это безвозвратно потерянные земли.

Сегодня государственные структуры разных стран вводят предельно допустимые концентрации (ПДК) различных веществ, например, в воде (природной, технической, питьевой), а также и другие нормативы. Нарушения караются законом. Наряду с этим определяется степень опасности того или иного элемента и соединения, отмечаемая в ГОСТе (государственном стандарте). При этом учитываются следующие показатели:

- *ассимиляционная емкость* — максимальное количество загрязнений, удаляющееся в результате процессов самоочищения в природе. Для этого проводится мониторинг поллютантов;
- *мониторинг загрязнений* — их анализ (начиная с концентрации 0,0004%), установление источников появления, путей движения и последствий для организмов и природы.

Да, мы стремимся выполнить указанные пункты, но пока неконтролируемо изменяем

- 1) поверхность Земли;
- 2) состав окружающей среды, ее недра;
- 3) ее энергетический баланс;
- 4) животный и растительный мир;
- 5) свою физиологию.

По первому пункту надо заметить следующее. Стремясь расширить посевные площади и пастбища, мы вырубаем леса (в Европе со скоростью 2% в год). Но естественного состава почвы хватает на 2–3 урожайных года (старшее поколение помнит опыт подъема целины в СССР). Потом ее или бросают, или вносят удобрения и проводят другие агрохимические мероприятия. Но это ненадолго, поскольку синтетические удобрения (а их производят все больше)

и непродуманные мелиоративные мероприятия разрушают почву. Зброшенная земля, как правило, сама восстанавить почву за короткое время не в состоянии (нужно около ста лет), и она превращается сначала в степь, а потом в пустыню. Мы орошаем засушливые почвы, но итог неконтролируемого полива тот же — заболачивание или засоление, т. е. образование тех же непродуктивных площадей.

Касательно второго пункта — мы говорили и будем говорить о том, что отходы нашей промышленности и коммунального хозяйства попадают и в атмосферу, и в воду, и в почву, и соответственно в организм. Так, каждый житель на планете выбрасывает более 450 кг бытовых отходов в год. В результате сегодня наблюдается значительное превышение ряда показателей, главным образом в воде и почве. Например, в городах — фосфора, в селе — азота, вдоль дорог — свинца. Загрязнение свинцом вызывает ежегодно в мире около 400 000 только детских заболеваний, главным образом психических, тогда как химические аварии за это же время приводят к гибели примерно ста человек.

Изменение теплового баланса вызвано, главным образом, промышленностью и коммунальным хозяйством. Известно, что в большом городе или промышленном центре температура в среднем на 2–3 градуса выше, чем в окрестностях. И это результат как тепловых потерь и выбросов, так и накопления в атмосфере парниковых газов. Например, в Москве на конец XX столетия зафиксировано около 0,34 т вредных выбросов на человека в год, а в Санкт-Петербурге — около 0,67 т. А радиоактивность, а шум...

Изменения в животном и растительном мире — это не только прямое уничтожение (вырубка лесов, отстрел животных, ловля рыбы и птицы), но и непродуманные селекционные и генетические мероприятия. Не секрет, что многие искусственно выведенные породы, клоны, виды являются ослабленными по сравнению со своими природными собратьями, что передается и по наследству (так называемая генетическая нагрузка). Поэтому встает проблема осуществления защитных мероприятий: создание парниковых хозяйств, внедрение ядохимикатов (против паразитов), использование вакцинаций и пр.

Но мы ослабляем не только наших братьев меньших, но и себя самих (генетическая нагрузка). Кроме всего прочего, мы активно потребляем лекарства и синтетические химические вещества вообще, не задумываясь о последствиях, тем более долгосрочных. Любое вновь синтезированное соединение — пищевое, лекарственное, парфюмерное, моющее — должно проходить апробацию не 5 лет, а десятилетия, и не на лабораторных животных... Нет, на человеке экспериментировать мы не будем, но выход должен быть найден!

В этих условиях *экология* — это теория создания измененного мира (ноосферы, по Вернадскому) за счет изменения психологии самого человека, способного существовать без негативных последствий для окружающей среды и для него самого. Мы должны сохранить этот мир для потомства, и альтернативы этому требованию нет.

1.3.3. ВТОРОЕ ПОЛОЖЕНИЕ ЭКОЛОГИИ

Вначале введем несколько необходимых понятий.

Агросфера — это все сельскохозяйственные экосистемы (поля, пашни, сады, огороды, теплицы, коровники, свинарники и пр.).

Местообитание — место, где живут растения и/или животные. Оно характеризуется для фитоценоза (растений) составом почвы, влажностью, температурным и световым режимом, а для зооценоза (животных), кроме того, кормами и наличием питьевой воды.

Экотоп — место обитания растений и животных, живущих по законам биоценоза. Для него, кроме указанного, характерны однотипные, пространственно ограниченные условия (например, поле, сад, пастбище).

Экологическая ниша (Элтон, Кларк) — положение организма или вида в биосфере, его роль в природе. Экологические ниши подразделяются следующим образом:

- потенциальная — та, которую мог бы занять организм при самых благоприятных условиях;
- реализованная — та, которую он занимает в реальных условиях конкуренции и борьбы.

В этой связи основная роль растений (ее часто называют геохимической функцией) — превращать неорганические вещества в органические и кислород. Роль, т. е. геохимическая функция животных — использовать органические соединения и кислород, превращая в углекислый газ, воду, минеральные соли, т. е. в неорганические вещества (и органические отходы). В результате осуществляется биотический круговорот.

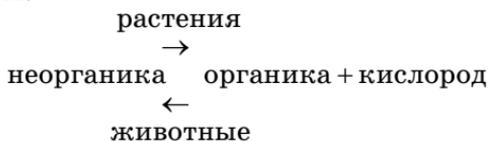
Биотический круговорот (открыт французским химиком Лавуазье) — круговорот биогенов в природе, осуществляемый при участии организмов.

С ним связан и следующий закон.

Закон биогенной миграции атомов (Вернадский). *В биосфере миграция (циклическая. — Авт.) химических элементов происходит при обязательном участии организмов.*

Она обеспечивает непрерывность жизни при конечном количестве вещества в биосфере и постоянном притоке в нее солнечной энергии.

Биотический круговорот можно выразить следующим равновесием:



Второе положение экологического учения. *Равновесие и устойчивость в биосфере обеспечиваются биотическим круговоротом, основанным на относительно замкнутых циклах, поддерживающих устойчивость по принципу обратной связи (об этом принципе будем говорить далее).*

Этот закон можно назвать законом циклов применительно к отдельным элементам (хотя цикличность понимается биологами гораздо шире, в частности в биоритмологии). Он тесно связан с первым положением экологии, потому что скорости процессов появления и исчезновения любых веществ, необходимых организмам или являющихся

ся продуктами жизнедеятельности, должны быть равны. В противном случае не будет соблюдаться равновесие по биогенам (о чем уже говорилось) и устойчивость их циклов (о чем речь еще пойдет ниже), а значит, и биосферы в целом.

Почему же так необходим биотический круговорот? Здесь важно отметить главное — «только вращение (химических соединений. — *Авт.*) по замкнутой линии, т. е. по кругу, может придать конечному (живому веществу на Земле) свойство бесконечного» (Вильямс). Например, в нашем теле идет непрерывное обновление большинства клеток и соответствующих тканей (хотя их общее содержание в зрелом возрасте остается практически постоянным). Именно это обеспечивает, с одной стороны, устойчивость, а с другой — адаптацию всего организма. Так, в поджелудочной железе клетки заменяются каждые двадцать четыре часа, во внутренней оболочке желудка — каждые три дня, белые кровяные тельца — за десять дней, а 98% белка в мозге — за месяц. Поразительно, что клетки кожи заменяются со скоростью 100 000 штук в минуту.

Указанный принцип обратной связи и обеспечение с его помощью устойчивости системы становятся понятными из следующего примера. В случае солнечного и жаркого лета водоросли в водоеме нарастают в избыточном количестве. Рыбы, питающиеся ими, так же начинают усиленно размножаться, уничтожая водоросли. Когда их содержание снизится до минимума, начнется гибель рыб и восстановление водорослей и т. д. В результате первичное возмущение вызывает колебания, продолжающиеся в результате наличия обратных связей. А их постепенное затухание в итоге возвращает равновесие в системе «водоросли–рыбы».

Поскольку все организмы используют в своей жизнедеятельности не только химические вещества, но и физические факторы, введем два понятия.

Экологический ресурс — компонент среды, используемый организмами в процессе жизнедеятельности.

Экологическое условие — абиогенный фактор среды (температура, влажность, наличие воды, воздуха и пр.).

Очевидно, что и ресурсы, и условия в природе могут изменяться в достаточно широких пределах, но живые организмы и их сообщества способны перестраиваться и адаптироваться к этим изменениям (в определенных пределах), что и позволяет им сохраниться. При этом, кроме **взаимозависимости и цикличности**, еще три принципа — **партнерство, гибкость и многообразие** организмов (и их свойств) обеспечивают устойчивость экосистем и биосферы в целом. Выживание зависит от того, насколько мы сможем понять и использовать эти принципы, т. е. жить в соответствии с ними.

1.4. ЗАКОНЫ ЭКОЛОГИИ

Четыре закона экологии были сформулированы Коммонером.

Первый закон Коммонера. *Все связано со всем* (известно в физике как правило Маха).

Все организмы являются составными частями и экологическими факторами природы Земли. Они взаимосвязаны друг с другом и с окружающей средой, что обеспечивает выполнение первого положения экологии. Именно взаимное влияние всех компонентов биосферы позволяет поддерживать равновесие в природе.

Второй закон Коммонера.
Все должно утилизироваться.

При условии существования в биосфере равновесия биогенов и энергии любой отход, любой компонент, участвующий в биотическом круговороте, используется, и в результате не происходит его накопления. В противном случае наблюдается загрязнение окружающей среды со всеми вытекающими последствиями.

Третий закон Коммонера. *Ничего не дается даром.*

За все надо платить. Любое внедрение в организм или окружающую среду, главным образом антропогенное, не остается без последствий. В конечном счете и загрязнения,

и нарушения отражаются на нас самих. Даже если мы сразу не увидим последствий, они все равно когда-либо проявятся.

Четвертый закон Коммонера.

Природа знает лучше нас.

Она — наш учитель. Действительно, если мы не прислушиваемся к природе, не соблюдаем ее законов и правил, то последствия могут быть непредсказуемыми. Только единение с окружающим миром дает гарантии нормального существования.

В этом немалую роль играет правильный учет и контроль воздействующих на нас и наше окружение экологических факторов.

Экологический фактор — элемент или процесс внешней среды, влияющий на биосистему (организм, популяцию и пр.).

Лимитирующие экологические факторы — элементы среды, ограничивающие размножение и распространение вида.

К ним относятся, например, состав почвы, наличие определенной пищи, хищников и др.

Закон минимума (Либиха). *Минимальное количество элемента управляет биопродуктивностью и жизнедеятельностью растений.*

Этот закон был открыт Либихом (XX в.), установившим роль элементов в почве. Он обнаружил, что дефицит даже одного элемента приводит к торможению роста и развития растений, т. е. этот так называемый лимитирующий фактор становится определяющим для растения. Например, недостаток в почве бора снижает урожайность растений, несмотря на обилие других удобрений.

Однако сегодня этот закон распространяется на все организмы и понимается гораздо шире.

Закон минимума (современная редакция). *Дефицит элемента или соединения в организме определяющим образом влияет на его жизнедеятельность.*

Так, снижение количества одного из элементов (кальция, фосфора, калия, натрия, йода, меди, цинка и др.) в составе почвы приводит к его дефициту в организме и растений и животных, которые ими питаются. Это снижает устойчивость организмов к болезням, вредителям, экстремальным изменениям температуры, а также продуктивность и способность к воспроизводству.

Однако то же самое наблюдается и при избытке элемента, в особенности микроэлемента, т. е. справедлив и другой закон.

Закон максимума. *Избыточное содержание элемента или соединения в организме определяющим образом влияет на его функции.*

Действие этих законов можно проследить на рис. 1 и 2.

На них отчетливо видно, что как снижение количества элемента ниже нормы, так и ее превышение вызывают понижение физиологической активности организма, в частности ухудшение параметров и функций его органов и тканей. Например, выход за определенные пределы йода приводит к увеличению массы и нарушению функций щитовидной железы у кролика (эндемический зоб), а фосфора — к снижению плотности костей у коровы (рахит).

Суммируя все сказанное, можно сформулировать следующий объединенный закон.

Закон оптимума (Егорова, Реймерса). *Для любого организма по любому экологическому фактору имеются оптимальные условия существования, изменение которых вызывает его стресс (болезненную реакцию), а выход за определенные пределы приводит к гибели.*

Этот закон иллюстрирует следующий график (рис. 3). На нем кривая 1 отражает устойчивость организма, а кривая 2 — его активность. Видно, что организм вполне устойчив, а значит, сравнительно малоактивен только в определенных пределах. Здесь он чувствует себя наиболее комфортно, следовательно, обладает максимальной резистентностью и продуктивностью.

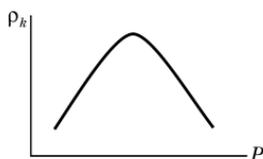


Рис. 1
Плотность
костей коровы

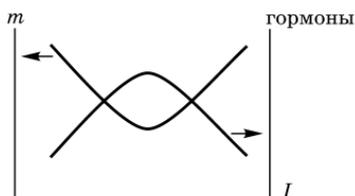


Рис. 2
Масса щитовидной железы
кролика и содержание гормонов

Выход за эти пределы снижает его устойчивость, что вызывает возрастание активности (стресс), связанное с развитием защитной реакции организма. Однако выше определенного максимума или ниже минимума он не способен к выживанию, т. е. гибнет. Вместе с тем нельзя не отметить, что вблизи этих экстремумов популяция, как правило, не исчезает. Она продолжает существовать за счет особей (мутантов), способных выжить в экстремальных условиях.

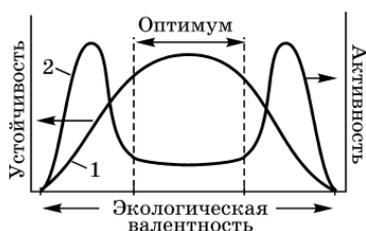


Рис. 3
Закон оптимума

Рассмотрим действие этого закона на ряде примеров. Поваренная соль нужна всем животным в определенном количестве. Однако ее содержание в кормах, а следовательно, и в организме ниже нормы вызывает гипонатриемию, сопровождающуюся нарушением процессов, связанных с питанием и пищеварением. Это выражается в снижении упитанности и продуктивности. Наоборот, превышение определенных пределов содержания хлорида натрия приводит к гипернатриемии, отражающейся на процессах проводимости в нервных клетках, возбуждении ЦНС. Большой избыток соли может вызвать токсикоз и даже паралич.

Недостаток кальция у молодняка вызывает рахит, кости подвергаются дистрофии. Его избыток также приводит к остеодистрофии. Одновременно кислотно-щелочной баланс в организме сдвигается в щелочную область. Дефицит

фосфора ведет к деминерализации скелета, а его избыток — к развитию ацидоза. При этом наблюдаются поражение костей, нарушения в деятельности органов и тканей. Йодная недостаточность отражается на функциях щитовидной железы. Развивается зубная болезнь, характеризующаяся нарушением обмена веществ. При значительном избытке йода также нарушаются обменные процессы и снижается продуктивность. Аналогично дефицит и избыток кобальта или меди приводят к заболеваниям, связанным с нарушением обмена веществ. Недостаток марганца приводит к нарушению функций половой системы, торможению роста и развития организма, а избыток — к поражению костей. И таких примеров достаточно много.

Закон оптимума, по существу, включает в себя известный закон толерантности Шелфорда, который, однако, имеет более ограниченное применение.

Толерантность — это способность организма приспосабливаться к изменившимся внешним условиям.

Закон толерантности (Шелфорда). *Минимальное и максимальное воздействие компонента среды приводит к ограничению размножения (и распространения) данного организма.*

Сужение пределов толерантности может быть следствием ухудшения условий жизни и/или ослабления организма, увеличения периода размножения.

Первая причина очевидна. Однако при этом нельзя не отметить, что в ответ на ухудшение внешних условий в организме и популяции активизируются процессы, направленные на сохранение, в том числе за счет увеличения производства. Интересно, что природа для этого выбрала определенный механизм, связанный с перепроизводством женских особей.

Что касается второй причины, то ускорение воспроизводства позволяет популяции быстрее приспособляться к изменившейся среде за счет отбора особей (мутантов), способных выживать в этих условиях. Причем сами экстремальные условия зачастую являются мутагенным фактором.

С толерантностью, по существу, связана экологическая валентность.

Экологическая валентность — способность организма существовать в изменившихся условиях.

Стеноэк — организм, приспособленный к ограниченным местам обитания (стенотип). Их в природе относительно немного.

Эврик — организм, заселяющий различные места обитания (эвритоп). Они составляют большинство.

Знание закона толерантности и лимитирующих факторов для разных организмов позволяет, например, эффективно бороться с вредителями.

Экотипы — организмы внутри вида, различающиеся адаптацией к различным условиям обитания.

Экотипы могут относиться к подвидам животных и растений. Например, у овец разных пород различаются и экотипы. Английская мясная (стеноэк) переносит только влажный климат и требует особых кормов. Комвольные меринсы адаптированы к средиземноморскому климату и неприхотливы к кормам, курдючные мясо-сальные выносливы в сухих условиях, а короткохвостая (эврик) неприхотлива и к условиям, и кормам.

1.5. ПРАВИЛА И ПРИНЦИПЫ ЭКОЛОГИИ

В процессе эволюции сформировались определенные закономерности, как в плане реакции биоты на изменения окружающей среды, так и в плане функционирования популяций и биосистем. Они известны как правила и принципы экологии (Реймерс).

Хотя они, по сути, биологические, а не химические, т. е. стоят несколько в стороне от нашего курса, но он предназначен для сельскохозяйственных, в первую очередь для ветеринарных вузов, и обойти эти принципы мы не вправе.

Правило Алена. *Выступающие части тела теплокровных тем короче, а тело тем массивнее (в том числе в пределах вида. — Бергман), чем холоднее климат.*

Это связано с эффективностью сохранения тепла организмом.

Правило Глогера. *Животные в холодных и влажных зонах имеют более интенсивную пигментацию тела.*

Причина по существу та же. Вместе с тем наблюдения показывают, что наиболее пестрая окраска чаще встречается в южных теплых областях, близких к экватору (например, у павиана, павлина, тропических рыбок), а белая — в северных, где она является защитной (например, у белого медведя, полярной совы и др.).

Правило Тинемана. *Чем больше отклонение условий существования от нормы, тем беднее видовое разнообразие (образуются более специализированные виды. — Крогеус), но тем больше особей в каждом виде.*

Очевидно, что не все виды способны выживать в аномальных условиях. Это связано в том числе и с их экологической валентностью.

Правило Мебиуса–Морозова. *Сообщество видов в биоценозе составляет внутренне противоречивое, но единое и взаимно увязанное целое.*

Это так, поскольку только в условиях единства и борьбы возможно сохранение видов и их эволюция.

Правило Одума. *При неизменном энергетическом потоке в пищевой цепи или сети мелкие организмы с высоким удельным метаболизмом создают большую биомассу, чем крупные.*

На уменьшение размера особей в процессе избирательного антропогенного истребления более крупных не раз обращали внимание ученые-экологи.

Правило Реймерса. *Исчезающий вид в рамках одного уровня пирамиды заменяет другой, функционально-биоценотически аналогичный.*

Более или менее эквивалентная замена необходима для сохранения всего сообщества. Однако замечено, что, как правило, мелкий организм заменяет более крупный, ниже организованный — высокоорганизованный, более изменчивый — менее генетически лабильный.

При этом в биоценозах существует столько видов, сколько требуется для максимального потребления поступающей в них энергии и обеспечения круговорота веществ. Здесь работает следующий принцип.

Принцип эколого-географического максимума видов. *Число видов в составе географических зон и их биоценозов относительно постоянно и стремится к максимуму.*

Однако при определенных изменениях вступает в силу другой принцип.

Принцип подвижного равновесия (Еленкина). *Биотическое сообщество сохраняется как единое целое вопреки регулярным колебаниям среды, но при воздействии определенных факторов структурно изменяется с переносом точки опоры (например, на другие растительные компоненты).*

При этом действует и следующий принцип.

Принцип продукционной оптимизации (Реммерта). *Отношение между первичной и вторичной продукцией (продуцентами и консументами) соответствует оптимизации, или «рентабельности» биопродукции.*

Как уже отмечалось, избыток пищи, например в результате снижения числа потребителей, приводит к росту их численности. В результате сокращаются пищевые ресурсы, что снижает и число их потребителей. Эти процессы могут повторяться, но после ряда таких автоколебаний соотношение потребителей и потребляемых уравновешивается.

Однако антропогенный фактор вносит свои изменения, например, создавая монокультуры растений или животных. Здесь начинает работать следующее правило.

Правило монокультуры (Одума). *Экосистемы одного вида, как и системы монокультур, неустойчивы по своей природе.*

Это учитывается самой природой, которая поддерживает разнообразие и взаимосвязь видов в биоценозе. Один из путей такого поддержания отражает следующий принцип.

Принцип коэволюции, или сопряженной эволюции (Эрлиха–Равена). *Функциональное изменение жертв приводит к закономерному изменению свойств хищников, что стимулирует разнообразие и первых и вторых.*

Реймерс обобщил все перечисленные принципы и правила, сформулировав следующий принцип.

Принцип стабильности. *Любая относительно замкнутая экосистема (с однонаправленным потоком энергии) в ходе саморегуляции развивается в сторону большей стабильности.*

Он же сформулировал и обобщающее правило.

Правило биоценотической надежности. *Надежность биоценоза зависит от его энергетической эффективности и возможности структурно-функциональной перестройки в ответ на изменившиеся условия.*

При этом общее число видов не может заметно изменяться. Это отражается в следующем правиле.

Правило постоянства (константности) видов в ходе стационарной эволюции (Реймерса). *Число нарождающихся видов в среднем равно числу исчезающих, т. е. общее видовое разнообразие в биосфере постоянно.*

Все эти принципы работают в естественных условиях, и только человек, активно внедряясь в природу, нарушает их, в частности сокращая видовое разнообразие.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Дайте определения основных понятий *экология* и *химическая экология*. В чем особенность последней?
2. Дайте определения понятиям: *биота*, *биома*, *популяция*, *экотоп*, *биоценоз*, *биогеоценоз* и *биосфера*. Можно ли дать несколько определений последнему, используя первые понятия?
3. Какие понятия связаны с загрязнением окружающей среды?
4. Учение о биосфере Вернадского, его значение в современном мире.
5. Первое положение экологии. Что необходимо для его выполнения?
6. Второе положение экологии, его связь с первым положением.
7. Законы Коммонера, их взаимосвязь и роль в экологии.
8. Законы минимума, максимума, толерантности и оптимума, их связь.
9. Правила и принципы экологии (биоэкологии), их биологическая и экологическая роль.

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ

Как отмечалось, *экологический фактор* — это элемент или процесс внешней среды, влияющий на биосистему (организм, популяцию и т. д.). Его влияние зависит от ряда условий: природы самого фактора, его интенсивности и дозы, состояния организма и т. д. В этой связи предлагается несколько классификаций экологических факторов.

2.1. КЛАССИФИКАЦИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ

Существуют многочисленные варианты классификации экологических факторов. Мы приведем только важнейшие (по Реймерсу).

Экологические факторы подразделяются по времени их возникновения:

1) эволюционные (палеофакторы) — это факторы, порожденные эволюцией, например озоновый экран в атмосфере;

2) исторические — это результаты деятельности человека (города, каналы, поля и пр.);

3) действующие — это современные факторы, например мелиорация и др.

Экологические факторы можно разделить по времени действия:

1) периодические — это циклически меняющиеся факторы (времена суток, года и пр.);

2) аperiодические — это внезапно возникшие факторы (мороз, шторм и др.).

Рассматривают также факторы в порядке их возникновения:

1) первичные экологические факторы;

2) вторичные экологические факторы.

Например, изменение солнечной активности (первичный фактор) отражается на климате Земли (вторичный фактор), который влияет на растительность и животный мир.

Еще одна классификация экологических факторов по их природе:

1) космические (излучение, пыль, метеориты и др.);

2) абиотические (абиогенные) — вся неорганическая природа (воздух, вода, минералы и др.);

3) биотические — все организмы, кроме человека;

4) биокосные — сформировавшиеся в процессе жизни (нефть, уголь и др.);

5) антропоические — человек и его прямое влияние (селекция, отстрел и пр.);

6) антропогенные — продукты деятельности человека (каналы, плотины и пр.).

Можно разделить экологические факторы по среде, в которой они действуют (атмосферные, водные, геоморфологические, эдафические), и по уровню, на который они воздействуют (генетические, физиологические, популяционные, биоцентрические, экосистемные, биосферные), а также информационные и др.

2.2.

ВАЖНЕЙШИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ

2.2.1. СОЛНЕЧНЫЙ СВЕТ

К важнейшим экологическим факторам относятся солнечная радиация, ионизирующее излучение Земли, тепло, вода, воздух, почва (эдафический фактор), организмы, антропогенный фактор, а также информация. Рассмотрим их последовательно.

Солнце — источник жизни на Земле. Его энергия в результате фотосинтеза накапливается в виде энергии

химических связей в органических соединениях, которые в дальнейшем являются строительным материалом и источником энергии для организмов. Область солнечного спектра, участвующая в фотосинтезе, находится в диапазоне длин волн 380–740 нм. Эта область называется фотосинтетически активной радиацией.

Из всей энергии солнца, попадающей в атмосферу Земли, до поверхности доходит около 50%. Из них поглощается около 65%, а используется на фотосинтез лишь 1,5% (рис. 4). Таким образом, энергетический ресурс на Земле огромен. Надо только научиться эту энергию использовать.

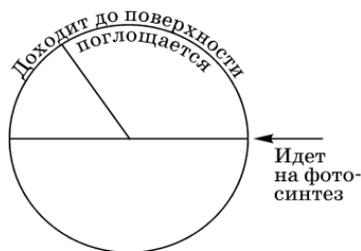


Рис. 4
Солнечная радиация
на Земле

Свет — это не только энергия. Важно отметить, что в северных районах преобладает длинноволновый спектр, а на юге — коротковолновый. Плюс к этому в данных районах имеются сезонные различия в длине дня. Поэтому световой режим является фактором естественного отбора. Все организмы по отношению к свету делятся на следующие группы: *сциофиты* — тенелюбивые и *гелеофиты* — светолюбивые.

Из растений к первым относятся мать-и-мачеха, картофель, томаты, кукуруза, а ко вторым — большинство плущей и лиан.

Кроме этого, свет является ритмообразующим фактором и источником ориентации. У высших животных в процессе эволюции под влиянием солнечного света сформировались специальные органы ориентации — глаза.

Но и животным свет необходим как дополнительная энергия, в частности для деривативов, т. е. покровных тканей, например для нашей кожи. Под влиянием света усиливается рост волос, активизируются функции потовых и сальных желез, утолщается роговой слой, уплотняется эпидермис и повышаются защитные свойства кожи. Солнечная энергия нужна для синтеза витамина D, обладаю-

щего антирахитным действием. Его накопление связано с активацией минерального обмена в организме, укрепляющего кости. Вот почему, когда тепло, важно определенное время проводить на солнце (загорать). Солнечные дни необходимы и животным. Ветеринарам хорошо известно, что такие прогулки приводят к росту продуктивности домашнего скота, увеличению его воспроизводящей способности и пр.

Важно отметить, что практически для любого организма плохо как недостаточное, так и избыточное освещение. Первое у растений вызывает полегание, снижение плотности посева, а второе — разрушение хлорофилла со всеми вытекающими последствиями (торможение роста, снижение урожайности и т. д.) вплоть до прямых ожогов. У животных недостаток солнечного света приводит к нарушению витаминного и минерального обмена, снижению упитанности, продуктивности, к появлению заболеваний, в частности рахита и остеодистрофии, а избыток — к подобным же явлениям, а также к раздражению, воспалению и заболеваниям глаз. Сильный свет является мутагенным фактором, он может привести к солнечному удару.

Таким образом, на примере солнечного света мы отчетливо видим действие закона оптимума. Только нормальный световой режим поддерживает организм, являясь для него не только прямым источником энергии, но и стимулятором (триггером) многих процессов в клетках. Нарушение этого режима чревато негативными последствиями, а выход за определенные пределы — гибелью организма.

2.2.2. ИОНИЗИРУЮЩЕЕ ИЗЛУЧЕНИЕ ЗЕМЛИ

«Жизнь в биосфере исходит из двух главных источников энергии — из солнечных излучений и атомной радиоактивной энергии», — писал В. И. Вернадский. Кроме того что радиация является энергетическим фактором, хорошо известно, что она способна воздействовать на клетки, их ДНК, вызывая мутации (и канцерогенез), приводящие к изменению структуры и функций органов и тканей. Механизм ее биологического действия связан с активацией

химических связей в биомолекулах, их распадом, приводящим к появлению биоактивных веществ, усиливающих негативные процессы. В результате в больших дозах радиация вызывает трансформацию и гибель клеток, а следовательно, и самого организма.

Ее источником являются радиоактивные элементы, важнейший из которых уран (^{235}U , ^{238}U), а также торий, стронций, актиний и др. Радиоактивные элементы находятся не только вне, но и в составе организма. Как известно, они распадаются с выделением альфа-частиц (ядер гелия), бета-частиц (электронов) и гамма-излучения, проникающая и поражающая активность у которых различна. Первые задерживаются в покровных тканях. Их пробег в воздухе не более сантиметра, но активность наиболее высокая. Вторые по активности ниже. Они обладают пробегом около метра и проникают в организм глубже, примерно на сантиметр. Третьи пронизывают тело насквозь, но их поражающая способность еще меньше. Таким образом, в ряду альфа-, бета-, гамма-лучей возрастает проникающая способность и снижается степень поражения организма.

Кроме отмеченного мутагенного, а также канцерогенного воздействия на организм, вызванного патологическим изменением клеток, ионизирующее излучение в больших дозах вызывает и другие негативные последствия. В частности, это аномалии развития, уродства, а также лучевая болезнь, одним из симптомов которой является изменение состава крови: снижение в ней числа лимфоцитов — красных кровяных телец (белокровие).

Но у такого излучения есть и положительные свойства, — не зря радионуклиды находятся в составе организма. В малых дозах оно необходимо для жизнедеятельности, в частности для роста и размножения. Его роль в этом случае связывают с пусковым (триггерным) воздействием на многие клеточные процессы. Как полагают, оно дает старт физиологическим и биохимическим реакциям за счет дополнительной энергии, так называемой энергии активации. Ее дефицит тормозит рост и развитие, является причиной заболеваний.

Каким же образом радиоактивные элементы попадают в организм? Очевидно, что какое-то количество передается от материнского организма. Но главное то, что в составе водных растворов их поглощает корневая система растений. Следовательно, они попадают в организм животных с пищей. Кроме того, их проникновение возможно через дыхательные пути (аэроионы), а также покровные ткани тела.

В организме высших животных радионуклиды накапливаются в определенных органах и тканях. В частности, в костях накапливаются изотопы кальция, стронция, бария, фтора; в печени — марганца, тория, плутония; в почках — селена, мышьяка, висмута, а в щитовидной железе — йода и брома.

Кроме эндогенных, имеются и внешние экзогенные источники ионизирующего излучения. Важно отметить, что радиоактивный фон неодинаков в разных регионах Земли. В частности, он достаточно высок в отдельных районах Индии и Бразилии, где превышение его по сравнению со средним уровнем может достигать 200 раз. Это связано с большими запасами радиоактивных элементов в этих странах: тория, радия, урана. Зачастую у высших организмов в таких регионах отмечается ряд положительных явлений, связанных с повышенной устойчивостью к заболеваниям и большей продолжительностью жизни.

Радиоактивный фон достаточно высок и в области так называемого большого вулканического кольца, в которое входят Япония, Сахалин и другие острова этого региона Тихого океана, а также часть восточного побережья нашей страны (Приморье и др.). Именно с высоким уровнем радиации часто связывают явление т. н. гигантизма в природе этого края. В частности, здесь размер и урожайность многих растений могут превышать средние показатели для данных видов в несколько раз. То же отмечено и в зоне Чернобыльской аварии.

Итак, у ионизирующего излучения есть как отрицательные, так и положительные стороны. Все зависит от мощности и времени воздействия (дозы), места его приложения, переноса и накопления радионуклидов. Последнее хорошо известно биологам в связи с законом накопления в

трофических цепях. Так, в опытах на побережье Колумбии было установлено, что планктон, поглощая радионуклиды из воды, увеличивает их локальную концентрацию в организме в 2000 раз, а рыба, которая им питается, — в 15 000–40 000 раз.

Подведем итоги. Малые дозы радиации жизненно необходимы. Их снижение ниже определенного предела может быть источником необратимых изменений в организме, вплоть до его гибели. К тому же приводят и большие дозы, вызывающие, в частности, лучевую болезнь. У растений она выражается в торможении роста и развития вследствие нарушения обмена веществ. Внешние признаки: например, у пшеницы — темно-зеленые листья, волоски на корнях, у деревьев — экссудаты на листьях, их отмирание. У крупного рогатого скота это выражается в снижении упитанности, продуктивности, что вызвано расстройством функций органов и систем. Далее отмечается белокровие и гибель.

Таким образом, при использовании организмами ионизирующего излучения, а также для различных источников электромагнитного излучения вообще (в том числе ЛЭП, электроприборов, компьютеров, мобильных телефонов и пр.) требуется неременное соблюдение закона оптимума и в растительном и в животном мире.

2.2.3.

ТЕПЛОВАЯ ЭНЕРГИЯ

Без тепла нет жизни — этот тезис знаком нам с детства. Действительно, тепловая энергия нужна организмам для поддержания их температурного режима, который требуется для нормального протекания физиологических и биохимических процессов.

Известно, что высшие животные делятся на теплокровных и холоднокровных. Эти организмы относятся соответственно к следующим группам:

- *гомойотермные* — те, у которых температура организма постоянная,
- *пойкилотермные* — те, у которых температура организма равна внешней.

У разных животных тепловой режим отличается. При этом взрослым и молодяку требуется различная температура окружающей среды. Так, для коровы оптимальный режим $10\text{--}15^\circ\text{C}$, а телят нужна более высокая температура — $18\text{--}20^\circ\text{C}$.

У разных видов растений также свои тепловые режимы. Так, например, табаку требуется температура $20\text{--}24^\circ\text{C}$, томатам — 26°C , огурцам — $25\text{--}30^\circ\text{C}$. При этом недопустимо как снижение ниже $12\text{--}15^\circ\text{C}$, так и повышение выше 35°C . И то и другое вызывает торможение их роста.

Повышение температуры выше нормы вызывает у организмов (в результате изменения скорости ферментативных реакций (рис. 5), конформации белков, распада их комплексов) нарушение клеточных функций, влекущее за собой нарушение структуры и функций органов и тканей, в частности фотосинтетического аппарата растений. Внешне это проявляется в ряде признаков.

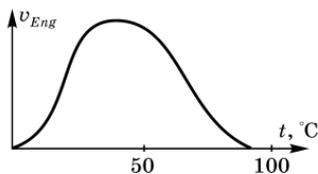


Рис. 5
Зависимость скорости ферментативной реакции от температуры

Например, у пшеницы на листьях появляются желтые пятна, а у овса — красные. При этом у растений наблюдается трещины и ожоги.

То же у животных. Кроме того, в гипертермальных условиях у них снижается аппетит. В результате длительного перегрева организма, особенно на фоне высокой влажности, наблюдается изменение состава крови, а также активности ЦНС и мозга. Это может привести к тепловому удару. Наблюдается задержка развития и роста животных, снижение их продуктивности, вплоть до бесплодия, и наконец болезни и гибель.

Но и понижение температуры ниже нормы не допустимо. В клетках снижается ферментативная активность, а следовательно и скорости процессов метаболизма (рис. 5). Замечено, что у растений к температуре наиболее чувствительны молодые побеги, которые начинают отмирать на холоде. Вместе с тем следует отметить, что известны

холодо- и даже морозостойкие растения. Они растут в северных широтах.

У животного охлаждение организма вызывает дрожь. Оно съеживается, стараясь согреться. Длительное охлаждение особенно губительно при высокой влажности, оно приводит к бронхиту, простуде, которые часты у молодняка. Гипотермия (переохлаждение) вызывает нарушение обмена веществ и деятельности различных органов, например воспроизводства. В результате наблюдаются болезни, обморожения, паралич и далее гибель. Закон оптимума здесь проявляется наиболее отчетливо. Он требует поддержания оптимальной температуры тела, а значит, и оптимального теплового режима в данном регионе.

Сегодня в процесс сохранения теплового баланса Земли внедряется антропогенный фактор. Пока количество производимой нами энергии измеряется сотыми процента от солнечной, но оно удваивается каждые 12–15 лет. И не за горами то время, когда искусственная энергия начнет сказываться на тепловом равновесии планеты. Это относится к любому источнику энергии — от АЭС до тепловых электростанций. Кстати, для последних необратимо изымаются полезные ископаемые (уголь, нефть и другие), что, с одной стороны, приводит к их исчерпанию, а с другой — к нарушению определенного равновесия в природе. Только более полное использование энергии Солнца позволит их сохранить.

Тем не менее в настоящее время на планете растет средняя температура и меняется ее распределение. Например, среднегодовая температура над городами может превышать на 3–4° температуру окружающих территорий. Здесь проявляется так называемый парниковый эффект, приводящий к локальному нагреванию атмосферы. Это отражается не только на организмах, но и на процессах переноса воздушных масс и влаги. В результате отмеченного повышения температуры в районах с достаточной влажностью продуктивность биоты может увеличиться, но в сухих зонах есть вероятность их превращения в пустыни. По предварительным оценкам, в благоприятных условиях окажутся Европа и запад Северной Америки, а, например, Передняя и Средняя Азия — под угрозой.

Сама природа стремится к поддержанию теплового баланса и температуры по принципу обратной связи. Так, из астрофизики известно, что с момента зарождения жизни на Земле интенсивность солнечного излучения повысилась на 25%. Однако, несмотря на это, температура поверхности Земли остается постоянной в течение почти четырех миллиардов лет. Как это понять? Оказывается, не последнюю роль здесь играют организмы. Чем интенсивнее солнечный свет, тем активнее бактерии почвы и выше скорость ее эрозии. Это позволяет интенсивнее удалять углекислый газ из атмосферы, снижая парниковый эффект и тем самым охлаждая планету.

2.2.4. ВОДА

В воде зародилась жизнь. Сегодня она нужна растениям и многим простейшим для фотосинтеза, а любому организму — как растворитель и переносчик веществ, температурный демпфер, среда и участник многих процессов. Есть основания полагать, что она может являться также приемником, хранителем и переносчиком информации в организме. Животным необходима как газообразная влага, жидкость в составе пищи, так и питьевая вода. Она влияет на процессы пищеварения и обмена. Вода во многом определяет рост, развитие, продуктивность и естественную резистентность животных.

Вода занимает 2/3 поверхности Земли, находясь и в ее глубинах. Ее основная экологическая функция — осуществлять растворение и транспорт органических и неорганических соединений. В природной воде содержится около 60 химических элементов в виде ионов, а также газы — кислород, азот, углекислый газ и пр. Заметим, что вода находится также в почве и в воздухе (в тропосфере). Причем его влажность колеблется в широких пределах: от 90% в районе Амазонки до 20% и ниже в пустынях.

Вода уникальна тем, что находится сразу в трех агрегатных состояниях: жидком, твердом и газообразном. Ее особенностью является аномалия ряда физико-химических свойств, например увеличение объема и снижение

плотности при замерзании (минимум при 4°C). Именно низкая плотность льда по сравнению с жидкой водой, т. е. его образование на поверхности водоемов, позволяет сохраниться водным растениям и животным в зимний период.

Еще одним важным ее свойством является высокая теплоемкость — в 3000 раз большая, чем у воздуха. Это означает, что при охлаждении одного объема воды на один градус выделяется количество тепла, достаточное для нагревания на один градус 3000 объемов воздуха. Таким образом, аккумулируя тепло, вода оказывает смягчающее влияние на климат (так называемый температурный демпфер), не позволяя резко изменяться температуре, например при переходе от дня к ночи.

Вода составляет от 60 до 90% животных тканей. Максимум ее у нас в слюне (около 100%), меньше в крови (около 90%), еще меньше в мышцах (70–80%) и костях (22%), а минимальное количество в составе зубов (менее 2%). Но она есть везде. В частности, в клетках, их цитоплазме ее содержится около 90%, причем это не та вода, которая находится в водоемах или льется из крана. Вода в цитоплазме — это на 90% структурированная жидкость, связанная с биомолекулами и отличающаяся по свойствам от обычной.

Уже отмечалось, что вода — непреременный участник процессов обмена веществ, которые в организме идут постоянно. Например, кукурузе в вегетативный период нужно около 3,5 млн л воды на гектар, а корова в течение 5 лет жизни потребляет около 100 000 л воды. Однако на синтез фитомассы у растений ее расходуется всего 0,5–1%, а на образование биомассы у животных — около 1%. Остальное идет на выделение и испарение.

Различные организмы по-разному относятся к воде. По этому показателю они делятся на следующие категории:

гидрофиты — постоянно живущие в воде (рыбы, водные растения и животные),

гигрофиты — влаголюбивые (например, рис, осока, а из животных — амфибии, буйвол),

ксерофиты — предпочитающие засушливый климат (ковыль, верблюжья колючка, длительно переносит засуху верблюд),

мезофиты — все остальные, кому требуется определенное среднее количество влаги (например, сельскохозяйственные культуры, домашние животные).

У организмов существуют собственные пределы количества потребляемой воды. Недостаток у растений приводит к нарушению обмена веществ, снижению скорости фотосинтеза, торможению роста и развития. Особенно это сказывается в критический период — от выхода в трубку до цветения. В результате снижается урожайность, зерна становятся мелкими, отмечается пустоколосица, а в случае засухи — гибель.

У животных нехватка 10% воды вызывает экзикоз. Он выражается в общей слабости, вялости, сухости слизистых и кожи.

Потеря организмом 20% воды (в течение 4–8 суток) приводит к гибели, главным образом в результате ослабления деятельности органов дыхания на фоне сгущения крови, нарушения водно-солевого баланса, расстройства пищеварения.

Избыток влаги также ухудшает рост и развитие растений, главным образом в результате нарушения ферментативных процессов в клетках. В частности, вместо синтеза органических молекул (полипептидов, полинуклеотидов) происходит их гидролиз, а также гидролиз так называемых запасных веществ, например полисахаридов. В результате резко увеличивается процент сахара внутри клеток и возрастает осмотическое давление, что отражается на их структуре и функциях. Это может даже вызвать осмотический шок и гибель клеток.

Увеличение влажности воздуха выше нормы у животных нарушает водообмен, что приводит к перегреву. При этом (после первичного повышения) резко снижается частота дыхания и скорость кровообращения. Это приводит к заболеваниям, в первую очередь кожным, а далее и к другим, вплоть до гибели.

Таким образом, любому организму требуется нормальное количество воды, а нарушение водообмена ведет к негативным последствиям. Здесь также проявляется закон оптимума.

2.2.5. ВОЗДУХ

Современная атмосфера, свойства которой изменяются во времени (в течение суток, сезонов, лет) и пространстве, образована при участии фотосинтезирующих организмов. Она защищает нас от космических лучей и поддерживает температуру на Земле.

Жизнь организмов, в том числе человека, невозможна без воздуха. Если без пищи мы можем прожить несколько недель, без воды — несколько дней, то без воздуха — 4–5 мин. Воздух состоит из азота, кислорода, аргона, углекислого газа. В нем содержатся и другие газы, в том числе пары воды. Его состав в атмосфере практически идентичен в разных областях земного шара вследствие интенсивных процессов диффузии и массопереноса. Однако зачастую наблюдаются локальные нарушения.

В частности, содержание кислорода и углекислого газа в воздухе должно быть постоянным, однако промышленность и транспорт снижают количество первого и увеличивают количество второго. Результат — кислородное голодание (его ощущали те, кто подымался на горные вершины), уменьшение озона в атмосфере (озоновые дыры), увеличение интенсивности ультрафиолетового облучения (в первую очередь т. н. жесткого коротковолнового ультрафиолета, являющегося мутагенным фактором) и повышение температуры (парниковый эффект). Следствием этого являются различные заболевания, в первую очередь дыхательных путей, отравления и другие.

Закон оптимума в этом случае связан с реакцией организма на недостаток и избыток воздуха, в первую очередь кислорода. У животных недостаточное поступление воздуха в организм и затруднение дыхания наблюдается при отеке гортани, спазме бронхов и т. д. В результате кровь не насыщается кислородом (гипоксемия) при задержке углекислого газа (гиперкапния). При прекращении дыхания наступает асфиксия с летальным исходом (через 5–10 мин). По поводу верхнего предела по концентрации кислорода в литературе нет отчетливых данных. Вместе с тем имеются основания предполагать негативные последствия перенасы-

щения им воздуха. Даже кислородная маска может быть использована только в течение определенного времени.

Нельзя не отметить отрицательной роли загрязненного воздуха. У растений поллютанты атмосферы отражаются на фотосинтезе, подавляя его. Это вызывает торможение роста, цветения, плодоношения растений. Опадают листья и плоды, не достигнув спелости. У животных загрязнения воздуха приводят к раздражению слизистых оболочек, губ, дыхательных путей (воспаления). Это отражается на обмене веществ, подавляет его и приводит к интоксикации. В этом случае особенно опасны химические препараты, особенно пестициды.

Движение воздуха, т. е. ветер — это тоже фактор экологии. Умеренный ветер нужен всем. У растений он активирует водообмен и фотосинтез, что вызывает ускорение их роста и развития. Немаловажные следствия — воздушное опыление и перенос семян. Однако сильный ветер приводит к полеганию посевов, избыточному испарению влаги с их поверхности. В результате снижается урожайность, в первую очередь зерновых, у которых уменьшается число и качество зерен в колосе. Очень сильный ветер вызывает эрозию почвы.

Животные на умеренном ветру чувствуют себя комфортно, а для многих он является жизненно необходимым. Так, паукам он помогает расселяться. С ветром переносятся запахи, что способствует ориентации животных. То есть воздушные потоки несут информацию. Но сильный ветер травмирует животных, загрязняет корма. Это приводит к нарушению работы пищеварительных систем, снижает упитанность и воспроизводство. Часто вызывает болезни легких.

Следует заметить, что влияние ветра во многом зависит от температуры и влажности воздуха, т. е. экологические факторы работают одновременно. И обезвоживание, и переохлаждение — все небезопасно для организма. В частности, как уже отмечалось, простуда снижает аппетит, а значит, и упитанность животного. Таким образом, любой закон, в том числе закон оптимума по данному фактору — воздуху — справедлив в любых условиях, но применять его надо грамотно, учитывая и другие воздействия.

2.2.6. ПОЧВА

Почва (эдафический фактор) — это биокосное природное тело (по Вернадскому). Она сформировалась в результате взаимодействия живой и неживой природы в течение длительного времени и состоит из них. Из почвы растения берут азот, фосфор, калий, кальций, магний, а также большинство микроэлементов, необходимых для нормальной жизнедеятельности.

Азот в водорастворимой форме — основной из потребляемых элементов. Его содержание, например, в растительных белках около 16%. Дефицит азота в почве (азотное голодание) отражается на растениях. Это видно по мелким листьям, тонким стеблям и т. д. Избыток азота также вызывает негативные последствия — увеличение сроков созревания, снижение морозостойкости, а внесение в почву избытка нитратов и нитритов приводит к отравлению животных содержащими эти вещества растениями.

Что касается других элементов, то их содержание в почве также должно быть в пределах нормы. Выход за нее и в ту и в другую сторону приводит к нарушениям в растениях, изменению химического состава растительной пищи. Это отражается на обмене веществ растительной и животной, их продуктивности и воспроизводстве.

Например, недостаток кальция приводит к пожелтению листьев растений, их загниванию и отмиранию, а у животных — к нарушению обмена веществ, заболеванию желудочно-кишечного тракта, увеличению ломкости костей. Увеличение кальция выше нормы вызывает у первых хлорозы и некрозы, а у вторых — поражение костей.

Еще несколько примеров по микроэлементам. Снижение содержания меди приводит к сухости растений (цветоносов) и нарушениям структуры костей, малокровию, снижению мозговой активности у животных. Недостаток никеля вызывает болезни и у растений и у животных, в частности у последних нарушения в эпителии и слизистой оболочке. Увеличение содержания никеля вызывает появление некротических пятен на листьях растений и кожные болезни у животных.

Многие заболевания вызваны химическими загрязнениями почвы. Например, содержание фтора в ней редко бывает выше нормы. Но когда это случается, то отражается на внешнем виде деревьев, в первую очередь фруктовых. У них наблюдается отмирание листьев. А у животных, получивших избыточную дозу фтора, резко ухудшается состояние зубов (фтороз) и другие нарушения.

Говоря о почве, нельзя не отметить ее связи с водой (например, водная эрозия) и потоками воздуха (например, ветровая эрозия), а также с животными, в том числе с антропогенным воздействием. Все эти факторы работают в совокупности. В частности, на фоне вырубки лесов и расширения посевных площадей идет их непрерывное сокращение, например в результате опустынивания. Этот процесс ежегодно изымает из производства около 6 млн га полезной почвы. Наиболее заметен он в бассейне реки Амазонки и в Юго-Восточной Азии, где идет наиболее интенсивное уничтожение главных мировых лесных массивов.

Почва, ее происхождение напрямую связаны с ландшафтом местности.

Ландшафт — это конкретная территория, однородная по своему происхождению и истории развития, не делимая по зональным признакам, обладающая единым геологическим фундаментом, рельефом, климатом, сочетанием почв, биоценозов и пр.

Кроме естественных, в природе все чаще встречаются культурные ландшафты (парки, сады, поля, водохранилища и т. д.), и с ними связан ряд экологических проблем.

Требования к культурному ландшафту следующие (Исаченко):

- обеспечение максимальной производительности возобновляемых ресурсов;
- более полное использование чистых источников энергии;
- предотвращение негативных стихийных природных процессов;
- оптимизация санитарно-гигиенических условий;
- обеспечение оптимальной окружающей среды.

Нарушение этих требований влечет за собой самые непредсказуемые последствия, приводящие к разрушению как искусственных, так и естественных ландшафтов. Именно по этой причине естественные ландшафты на Земле постепенно исчезают. Здесь не последнюю роль играет человек. В результате меняются климат, вода и почва, состав растительного и животного мира. Все это приводит к исчезновению не только отдельных организмов и их видов, но и целых биогеоценозов.

Что мы оставим потомству? Об этом пора задуматься всерьез. И не спасут нас ни заповедники, ни национальные парки, если не будет общим мировым приоритетом сохранение природы.

2.2.7. ОРГАНИЗМЫ

Любой организм — это компонент биогеоценоза и экологический фактор одновременно, так как он воздействует на окружающую среду, а она на него. В частности, растения образуют органические вещества (около 177 млрд т суши производят растения ежегодно), потребляя углекислый газ и выделяя кислород. В результате они формируют окружающую среду, влияя на состав атмосферы, водный и тепловой режим, почвенный покров, а также на численность и состав животных. Являясь фильтром различных загрязнений воздуха, растения одновременно выделяют фитонциды, обеззараживая его.

Здесь также проявляется закон оптимума, связанный, в частности, с плотностью насаждений, необходимой для данного вида. Но он может выразиться и в другой косвенной форме, когда одно и то же растение для одних организмов является полезным, а для других — вредным. То же отмечается и у животных. Например, птицы весной поедают насекомых, что, безусловно, положительно, а осенью питаются полученным нами зерном.

Особый интерес к взаимодействиям самих организмов. Они могут быть положительными и отрицательными как вне, так и внутри вида. Начнем с внутривидовых. Так называемый групповой эффект улучшает условия существова-

ния организма. Более эффективной становится борьба с конкурентами и хищниками, добывание пищи, сохранение потомства и пр. В то же время как повышение, так и снижение численности ниже нормы чревато негативными последствиями, т. е. здесь работает принцип оптимального размера популяции (закон оптимума), о чем уже говорилось. Например, в стае волков оптимальное количество — 5–10 особей, в стаде слонов — 25, а у оленей — 300–400 голов.

Снижение численности популяции увеличивает имбридинг (близкородственное скрещивание), ослабляет ее сопротивление внешним конкурентам, а избыток приводит к увеличению риска заболеваний и к внутривидовой борьбе за жизненные ресурсы в данном биогеоценозе: это и пространство, и свет (растения в поле или в лесу), и пища, и возможность продолжения рода. Так, увеличение плотности растений выше оптимума приводит к их гибели, а животных — к перенапряжению защитных механизмов, стрессовым реакциям, снижению воспроизводства (порой даже к каннибализму). Например, эпизоотия бесплодия отмечается в крупных сельскохозяйственных комплексах.

Взаимодействия организмов разных видов следующие.

Конкуренция — например, борьба культурных и сорных растений за площади, борьба животных за пастбища (буйволы и антилопы).

Сотрудничество (протокооперация) — например, птицы, выклеывающие кожных насекомых у бегемота; козел, ставший вожаком стада овец.

Комменсализм — отношения, при которых для одного — польза, а для другого — нет. Например, ягнята, питающиеся молоком козы; животные (зайцы и др.), объедающие наш огород.

Мутуализм (симбиоз) — плодотворное сотрудничество для обоих видов.

Например, деревья и грибы, растения-цветоносы и опыляющие их насекомые, микрофлора в организме животных.

Амменсализм — когда один подавляет другого. Например, яблоня подавляет картофель, малина — облениху, а та — картофель и томаты.

Хищничество — когда один поедает другого. Первый в этом случае агрессор, а второй — жертва. Примеров здесь масса.

Паразитизм — когда один существует на (в) другом. Например, клещи, гельминты, вирусы, бактерии и прочие, живущие внутри и на коже животных. При этом часто паразиты бывают патогенными, т. е. вызывают болезни у хозяина.

В природных биоценозах в процессе эволюции установилось экологическое равновесие, в том числе в системе «паразит–хозяин». Но человек нарушает это равновесие, и причин достаточно много. Это создание культурных, но ослабленных видов; нарушение сложившихся сообществ; неоправданное уничтожение флоры и фауны (около 27 млн т рыбы и млекопитающих ежегодно добываются напрасно); торговля редкими животными и растениями (третий источник нелегальных доходов после наркотиков и оружия); создание благоприятных условий, в том числе для паразитов (например, парники, фермы), повышение пищевой ценности растений (и для человека и для паразита) и прочее.

Все это приводит к массовым заболеваниям и гибели растений (эпифитотии), животных (эпизоотии) и человека (эпидемии). Заболевания вызывает также борьба паразита с иммунной системой хозяина. Причем, заметим, что паразит по ряду причин часто оказывается победителем. Так, грибок — стеблевая ржавчина за 5 лет полностью уничтожает растение-хозяина.

Кроме того, идет исчезновение видов и меняется видовой состав. Так, крупные животные и растения (наиболее истребляемые) сменяются более мелкими, копытные — грызунами, а последние — растительноядными насекомыми. Следовательно, надо осуществлять меры по охране организмов, в том числе от паразитов.

Химические методы борьбы с теми же вредителями в ряде случаев не эффективны и даже зачастую приводят к негативным последствиям (уничтожение полезных организмов, мутационные изменения паразитов и пр.). Более разумными в этом плане являются биологические мето-

ды. Они основаны на использовании хищных организмов и паразитических насекомых против самих паразитов. С этой целью предлагается применение клещей и нематод, болезнетворных микроорганизмов (вирусов, грибов, бактерий), птиц, пресмыкающихся. В частности, разработаны методы с использованием насекомых-энтомофагов — жужелиц, божьих коровок, стрекоз, муравьев и др. Особо следует отметить рыжих лесных муравьев, которые за сезон уничтожают до 8 млн насекомых-вредителей в расчете на один муравейник.

2.2.8. ИНФОРМАЦИЯ

Информация — это сведения, которые несет тот или иной сигнал (звуковой, световой, электрический, химический) или объект природы.

Источником информация является вся биота (растения, животные), в том числе процессы внутри организма, а также окружающие его объекты. Информация всегда содержит смысловую составляющую, т. е. не отделима от самого организма и не существует без него. Даже машины, обменивающиеся сведениями без человека, созданы им и работают для него. По мнению некоторых ученых, информация лежит в основе самой жизни.

Внутренняя информация передается в виде сигналов, отражающих взаимодействия между структурами организма, его органами, тканями, системами и т. д. К ней относятся генетическая информация, а также другие, более сложные информационно насыщенные процессы, протекающие с участием нервных импульсов, например мыслительная деятельность. Но заложенная в геноме информация может относиться и к внешней. Интересным примером является наличие специфической защитной реакции при виде хищника у только что вылупившихся цыплят, гусят или утят.

Внешняя, или экологическая, информация осуществляется, как правило, без значительных энергетических затрат. Это смена сезонов, дня и ночи, приливы и отливы, температура, рельеф, влажность, освещенность и пр. Важнейшими

источниками информации являются свет и магнитное поле Земли. Они необходимы для коммуникации, ориентации, направленного движения, например для миграции рыб, птиц. Таким образом, внешняя информация воздействует на растения и животных, но существует и обратная связь. Примером ее являются инфразвуки ночных животных (летучих мышей и пр.), аттрактанты и репелленты, локация рыб на больших глубинах.

Экологическая информация в процессе эволюции записывалась в генетическом коде простейших, животных, растений на клеточном уровне. В результате этого, например, уменьшение долготы дня и снижение температуры приводят к пожелтению и опаданию листьев, увеличению меха у животных, собиранию в стаи и миграции птиц на юг. При этом ряд факторов можно изменять искусственно, управляя организмами. Так, ускорение смены света и тьмы в два раза увеличивает яйцекладку кур, правда ненадолго.

И растения, и животные воспринимают специфическую внешнюю информацию, источниками которой являются сами организмы. Она подразделяется на внутри- и межвидовую. Касательно внутривидовой информации интересным примером является прямой обмен генетическим материалом между бактериями. В результате они могут выполнять функции, не заложенные в их геноме, и «переписывать» на него необходимые биты (путем рекомбинации ДНК). Таким образом, каждая бактерия имеет доступ к общему «банку информации» и адаптивным механизмам всего царства бактерий.

В процессе эволюции у животных сформировались специальные принимающие внешнюю информацию системы (органы слуха, зрения, обоняние, осязание и др.). Однако с их помощью организмы воспринимают не всю информацию. Идет ее жесткий отбор по принципу полезности. Возможно, поэтому, в частности, глаз пчелы работает в красной области спектра, а у собаки зрение черно-белое (сегодня имеются определенные сомнения на этот счет).

К специфическим информационным факторам относятся феромоны.

Феромоны — химические соединения, выделяемые организмами для осуществления определенных сигнальных функций. *Аттрактанты* — притягивающие, *репелленты* — отталкивающие.

Например, аттрактанты самки привлекают и активизируют самца, а аттрактанты самца возбуждают самку, вызывая в ней состояние стресса. Репелленты обладают прямо противоположным, часто защитным действием.

Источником информации, вызывающим стресс, может быть вид хищника, его поведение. Классические примеры — завораживающее влияние змеи на лягушку и удава на обезьяну. Пожар в лесу, наводнение также приводят к стрессу, появлению и развитию невроза у животных. При этом их поведение может существенно изменяться. Например, лиса не нападает на зайцев, оказавшись с ними на одном островке во время наводнения.

Важнейшим информационным фактором являются звуки, в частности шум (табл. 1). Естественный шум реки, леса или поля оказывает положительное влияние. Но вспомним, что бывает, когда лес замирает перед грозой.

Таблица 1

Уровень шума и его воздействие на человека

| Звук | Интенсивность, дБ | Физиологическое действие |
|---------------------------|-------------------|----------------------------------------------------------|
| Шелест листьев. Шепот | 20–30 | Жизненно необходим |
| Улица ночью. Тихая речь | 30–40 | Стимулирует процессы возбуждения в коре, головного мозга |
| Учреждение. Разговор | 40–60 | |
| Улица днем. Громкая речь | 60–70 | Выделение гормонов |
| Автомобиль. Оркестр | 70–80 | |
| Поезд. Мотоцикл. Крик | 80–90 | Провоцирует |
| Водопад. Фабричный цех | 90–100 | Психические реакции |
| Авиамотор. Выстрел орудия | 100–120 | Вызывает нарушения |
| Реактивный двигатель | 120–140 | Тяжелые последствия |

Птицы перестают петь, животные настораживаются. Снижение уровня естественного шума отражается на нервной системе животных, но и его усиление оказывается раздражителем, подавляющим обмен веществ, продуктивность и т. д. В частности, изменяются нормальные физиологические процессы и активность ЦНС у человека.

Касательно сильных звуков: на Руси запрещалось звонить в колокола в период нереста, и, наоборот, звонили во время эпидемий. Сегодня установлено, что это подавляет активность простейших. Но звук может и активировать организмы. Одним из любопытнейших воздействий в этой связи является музыка. В Китае, Индии, на некоторых островах ее издревле использовали для увеличения урожайности сельскохозяйственных культур.

Еще одним информационным фактором является наличие сородичей. Это так называемая внутривидовая информация. Многие животные (стадные, или общественные) вообще не могут существовать без вожака и популяции. При этом дефицит внутривидовой информации также опасен для них, как и ее избыток. В этом проявляется закон оптимума. Так, изоляция новорожденных соболят приводит к погрызанию ими конечностей и заболеваниям. О скучивании мы уже говорили выше, отмечая, что оно у растений приводит к торможению роста, снижению урожайности, а у животных — к стрессу и падению воспроизводства.

2.2.9. ЧЕЛОВЕК

Человек — это компонент биосферы, и его деятельность является экологическим фактором. Рост населения, который не проходит незамеченным для окружающей природы, увеличивает роль этого фактора. Население Земли 10 тыс. лет назад составляло около 5 млн человек, к первому тысячелетию н. э. оно стало 100–200 млн, к 1950 году — около 2,5 млрд, а сегодня — более 6 млрд человек. Расширилась и сфера влияния человека. Мы достигли Северного и Южного полюсов Земли, проникли в ее глубины и глубины океана, вышли в космос.

Каковы же итоги? Антропогенный фактор сегодня играет преимущественно отрицательную роль в экологии, и тому есть ряд подтверждений.

Например, мы неконтролируемо изменяем окружающую нас природу. Хотя человек потребляет не более 1% продукции биосферы, сегодня на планете исчезновение угрожает одному из четырех видов млекопитающих, одному из трех видов рыб и двум из пяти видов амфибий. Почему?

Во-первых, уменьшение лесной растительности (Африка, Канада — в 3 раза) привело к обмелению и исчезновению рек, понижению грунтовых вод. Климат в ряде регионов стал суше. Эрозия почв, вызванная нашей агрономической деятельностью, привела к тому, что многие поля стали степями и пустынями. Ирригация, мелиорация привели к заболачиванию и засолению почв, а создание каналов, забирающих воды больше, чем приносят реки, — к обмелению морей. Так, Аральское море — когда-то четвертый по величине внутренний водоем, потеряло две трети своей площади. То есть человек изменяет естественные природные условия.

Во-вторых, наша хозяйственная деятельность привела к возрастанию в воздухе концентрации углекислого и других парниковых газов. В результате температура на планете сдвинулась вверх, что не проходит бесследно. Оценки показали, что к 2050 году повышение средних температурных значений повлечет за собой гибель от 15 до 37% видов организмов на Земле. Только в отдельных регионах, где возрастет количество пыли в воздухе, экранирующей Землю от Солнца, несколько похолодает.

А загрязнение природы выбросами и отходами производства! Ежегодно только пластиковые отходы становятся причиной гибели 1 млн птиц, 100 тыс. морских млекопитающих и неисчислимого количества рыбы, а от грязной воды заболевает и умирает около 5 млн человек. Более 50% рек в мире загрязнены. В Европе только 5 из 55 крупных рек не несут промышленных и бытовых стоков. В результате придонный слой воды в морях и океанах насыщен поллютантами.

А нефть? А грунтовые воды? Подсчитано, что к 2025 году две трети населения Земли будет страдать от дефицита воды. Этому процессу, похоже, нет конца. А отходы? Изыскиваются все более изощренные методы захоронения, например, радиоактивных отходов — на дне морей (только один ядерный реактор производит около 20 т отходов в год!). К чему это приводит — известно.

Кроме того, мы занимаемся прямым уничтожением организмов как в результате их добычи, так и путем вытеснения другими завезенными видами (например, собаки в Австралии, мангусты на Антильских островах). В том числе негативными оказываются последствия как непродуманного истребления хищников (волков и других), так и создания условий для развития паразитов (водохранилища, парниковые хозяйства и пр.). В результате, например, численность промысловой рыбы сокращается. Здесь и перелов, и гидротехнические сооружения, и обмеление водоемов, и их загрязнение. А изменение природы организмов и новые ослабленные виды?

Есть ли выход? Он есть всегда, когда люди стремятся его найти. Можно привести много фактов, связанных с разумной, рачительной деятельностью, но отметим только несколько.

1. Организация природных заповедников и национальных парков.

2. Восстановление численности видов, их подкормка, а также защита от хищников и паразитов.

3. Внедрение промышленных производств, основанных на безотходных технологиях.

Здесь главное — законодательная деятельность и строгое соблюдение юридических норм и законов, которые соответствуют законам самой природы. Это законы об охране природы и животных, об особо охраняемых территориях, об охоте и промышленной добыче растений и животных и т. п.

В частности, сегодня в большинстве стран, в том числе и в России, создана т. н. «Красная книга», куда заносятся редкие и исчезающие виды, чтобы принять срочные меры по их сохранению.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Классификация экологических факторов по Реймерсу. Важнейшие экологические факторы.
2. Как делят организмы по их отношению к свету, теплу, воде?
3. Перечислите способы взаимодействия между организмами.
4. Какие экологические нарушения связаны со светом и ионизирующим излучением Земли?
5. Какие экологические проблемы объединяют такие факторы, как вода, воздух и почва?
6. Организмы, человек, информация — в чем экологическая общность и отличия?
7. Какой фактор становится все более определяющим в плане нарушений окружающей среды? Дайте мотивированный ответ, используя все экологические факторы.

ЭКОХИМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ И ПРОБЛЕМЫ АТМОСФЕРЫ

3.1. АТМОСФЕРА. СОЛНЕЧНАЯ РАДИАЦИЯ

Атмосфера — это газовая оболочка Земли. Ее толщина (1000–1500 км — ограничена магнитопаузой) в среднем составляет одну четвертую от радиуса Земли, а плотность в тысячу раз меньше плотности воды. Ее масса оценивается в $5 \cdot 10^{15}$ т. Состав атмосферы приведен в табл. 2. Следует отметить, что баланс газов в ней поддерживается за счет постоянных процессов их поступления и использования, например, организмами, в том числе человеком. В частности, на сгорание топлива уходит до 25% кислорода, выделяемого растениями. Но их количество все время сокращается, а следовательно, сокращается и выделение кислорода, и поглощение углекислого газа. В результате только

Таблица 2

Состав сухого воздуха, % объемн.

| Постоянные газы | | Переменные (следовые) газы | |
|-----------------|---------|----------------------------|------------|
| N ₂ | 78,08 | H ₂ O | 0 – 4 |
| O ₂ | 20,95 | CO ₂ * | 0 – 0,034 |
| Ar | 0,93 | CO | 0 – 0,01 |
| Ne | 0,0018 | SO ₂ | 0 – 0,001 |
| He | 0,00052 | NO | 0 – 0,001 |
| CH ₄ | 0,00015 | NO ₂ | 0 – 0,0001 |
| Kr | 0,00011 | O ₃ | 0,000001 |
| H ₂ | 0,00005 | | |

* Постоянно растет (около 0,3% в год)

за прошедшее столетие содержание последнего возросло на 10–15% и продолжает линейно расти.

Если говорить об экологической роли атмосферы, то наряду с процессами дыхания, поддержания теплового режима, переноса веществ и защиты биоты от опасных лучей и холода космоса, она защищает нас и от метеоритов.

Воздушная оболочка — это наиболее динамичная часть природы нашей планеты. Наряду с переносом в самой атмосфере, между ней, поверхностью Земли, гидросферой и биосферой происходит постоянный обмен газами, водой и теплом. С атмосферой связана также циркуляционная и циклоническая деятельность.

Структура атмосферы приведена на рисунке 6.

Наиболее экологически важными компонентами атмосферы являются следующие:

1) вода, отражающая и поглощающая тепловое излучение Земли и тем самым сохраняющая температуру в нижних слоях атмосферы;

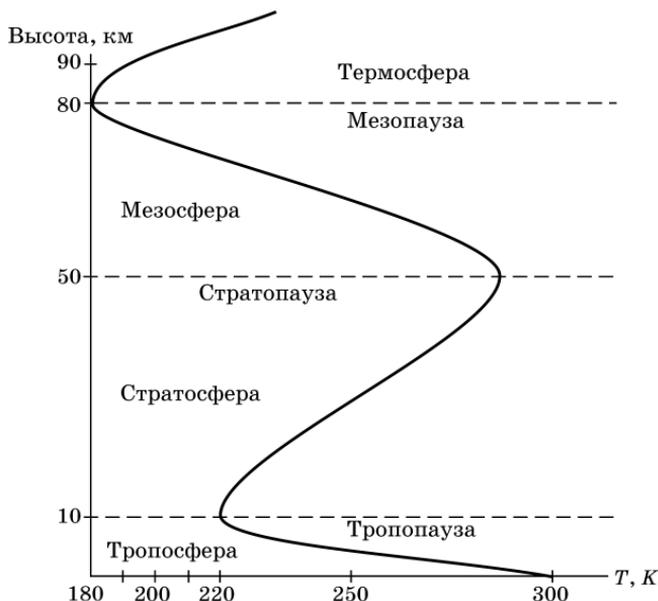


Рис. 6.
Структура атмосферы

2) озон, поглощающий жесткое ультрафиолетовое излучение Солнца, защищая биоту и нагревая стратосферу;

3) углекислый газ, отражающий тепло Земли и создающий парниковый эффект.

Как видно из рисунка, в зависимости от характера изменения температуры в атмосфере различают следующие основные слои:

- тропосферу (около 80% массы атмосферы). Здесь живет большинство организмов;
- стратосферу (около 20% массы). Здесь находится так называемый озоновый слой;
- мезосферу (около 0,3%). Здесь наблюдается свечение атмосферы;
- термосферу (около 0,05% массы). Здесь идет ионизация воздуха;
- экзосферу. Здесь находится граница газов, откуда идет их утечка в космос, в первую очередь водорода.

Важно отметить, что солнце нагревает Землю, а она атмосферу (точнее, тропосферу) неравномерно. Это связано с углом падения его лучей, в результате экватор нагревается больше, полюсы — меньше. Но атмосфера стремится усреднить температуру (и состав) за счет диффузии, конвекции и переноса воздушных масс. Вместе с тем солнечная активность — это, как отмечалось, важнейший экологический фактор на Земле. Ее изменения существенно отражаются на биоте. Так, высокая активность солнечного излучения в 1957 году привела в Амурской области к росту клещей, а следовательно, и энцефалитных вирусов, а также к увеличению численности белок (в 250 раз) и азотфиксирующих бактерий и в результате к росту растительности.

Интересно, что максимум активности солнца положительно отражается на лиственных, в частности, на плодовых деревьях, и на поголовье мышей; а минимум — на хвойных деревьях и численности зайцев. При этом солнечные бури приводят к нервным расстройствам, инфарктам, инсультам. Причем их воздействие на человека существенно зависит от того, был он рожден в период максимума или минимума активности. В последнем случае защитная реакция организма больше, но его силы быстрее истощаются.

3.2. ХИМИЯ АТМОСФЕРЫ

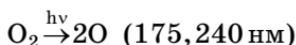
Верхние слои атмосферы определяют условия жизни на Земле. Это связано с тем, что они являются защитным барьером для рентгеновского, жесткого ультрафиолетового излучения и космических частиц. Рассмотрим последовательно эти слои.

3.2.1. ТЕРМОСФЕРА

В экзосфере газов мало, они чрезвычайно разрежены и поэтому не имеют решающего значения для химии атмосферы. Здесь преимущественно находятся атомы водорода, гелия, а ниже — кислорода.

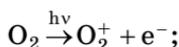
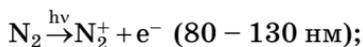
Химические процессы в атмосфере начинаются примерно с высоты 250 км. Здесь находится азот и кислород и отсутствуют, например, пары воды и углекислый газ. С этой высоты начинается, но активно осуществляется гораздо ниже (90–100 км) поглощение жесткого, т. е. коротковолнового УФ. Основные типы реакций в термосфере следующие:

а) гомолитический распад молекул O_2 и других, например

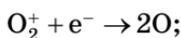
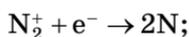


(реакция идет и в обратном направлении
с выделением тепла);

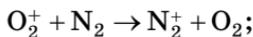
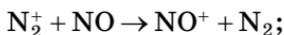
б) ионизация:



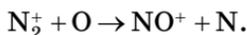
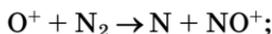
в) восстановление:



г) перенос заряда:



д) обмен:



Для восстановления частицы NO^+ требуется высокая энергия, поэтому она накапливается в верхних слоях термосферы, которые называются ионосферой.

На высоте до 90 км поглощается значительная часть коротковолнового УФ, хотя основная реакция, ответственная за это, идет ниже.

3.2.2. МЕЗОСФЕРА. СТРАТОСФЕРА. ЦИКЛ ОЗОНА

В мезосфере идут сложные фотохимические процессы с участием свободных радикалов и возбужденных частиц, определяющих свечение атмосферы. С высоты около 50 км и до 20 км включительно протекают реакции с участием кислорода, относящиеся к циклу Чэпмена (рис. 7).

Цикл Чэпмена — процессы образования и разложения озона.

Основные реакции образования озона в этом цикле:

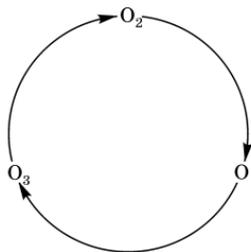
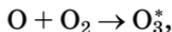
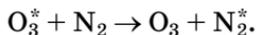


Рис. 7
Цикл Чэпмена

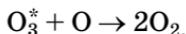


(начинается в термосфере, она обратима)

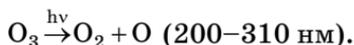


Звездочка (*) обозначает активированную частицу.

На высоте 20–25 км в стратосфере находится максимальное количество озона. Здесь с его участием протекает экзотермическая реакция образования молекулярного кислорода:

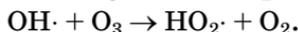
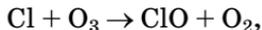
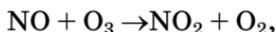


а также основная реакция цикла Чэпмена, важная для сохранения жизни на Земле, поскольку она идет с поглощением основной доли жесткого УФ:

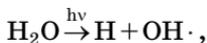


Многие реакции цикла Чэпмена протекают с выделением тепла, что приводит к росту температуры в указанных слоях.

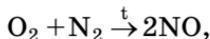
Ряд соединений удаляет озон из атмосферы, что приводит к образованию так называемых озоновых дыр. К таким соединениям относятся оксид азота (II), атом хлора и перекисный радикал:



Откуда же берутся эти вещества в атмосфере? Во-первых, они появляются в результате природных явлений, например испарения воды:



и, во-вторых, в результате антропогенной деятельности. Так, полет ракеты или самолета разрушает озоновый слой в результате протекания высокотемпературной реакции в сопле:



а фреоны (CF_2Cl_2 , $CFCl_3$ — хладагенты, газы-распылители в баллончиках) образуют под влиянием ультрафиолетового облучения атомарный хлор:



По расчетам, одна молекула оксида азота способна разрушить до 10 молекул озона, а хлор гораздо больше.

Таким образом озоновая дыра образуется как в результате естественных процессов (ее появление и увеличение наблюдается весной над Южным полюсом), так и антропогенных загрязнений. В последнее время в атмосфере над Антарктидой отмечается все большее содержание фторхлорпроизводных органических соединений (фреонов). Так, в 2005 году площадь озоновой дыры в Южном полушарии достигла 27 млн км². Это в три раза превышает площадь США.

К чему приводят озоновые дыры? Главное — это увеличение потока жесткого ультрафиолетового света (длина волны 297 нм) на Землю, являющегося мутагенным и канцерогенным фактором (провоцирует рак кожи). По данным специалистов, уменьшение озонового слоя до 10% десятикратно увеличит этот поток, что вызовет многократное возрастание числа таких заболеваний. Кроме этого, в результате интенсивного облучения нарушится облачный покров, а значит, и тепловой баланс в данном регионе. Сегодня мировое сообщество приняло решение прекратить выброс разрушающих озон фреонов в атмосферу.

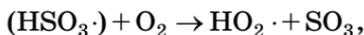
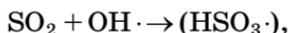
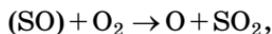
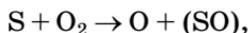
Но есть и противоположное явление, связанное с повышенным содержанием озона в воздухе. Не будем забывать, что это высокоактивный окислитель, который в больших концентрациях вызывает отек легких и кровоизлияния. В альвеолах он может образовать различные токсичные соединения с другими газами, переносимыми кровью. У растений озон поражает поверхность, т. е. растительные ткани. Таким образом, как и во всех остальных случаях, здесь надо учитывать действие закона оптимума.

3.2.3. СТРАТОСФЕРА. ЦИКЛ СЕРЫ. КИСЛОТНЫЕ ДОЖДИ

В стратосфере важнейшим для экологии Земли является цикл серы, приводящий к образованию серной кислоты и кислотных дождей (рис. 8).

Важнейшие реакции этого цикла, часто начинающиеся с превращения карбонилсульфида (COS) — продукта

вулканической и антропогенной деятельности, а также серы и сероводорода, следующие:



Реакция окисления диоксида серы (сернистого ангидрида SO_2) до триоксида (серного ангидрида SO_3) протекает только в присутствии в воздухе окислителей: кислорода, озона, пероксида водорода. Она инициируется солнечным излучением, а способствует ей наличие катализаторов — оксидов металлов и воды, растворяясь в которой серный ангидрид превращается в серную кислоту.

Образующаяся в каплях воды в облаках (аэрозолях) кислота далее выпадает вместе с осадками на землю (кислотные дожди). Серноокислые (плюс азотнокислые дожди — 30% от всего количества кислотных дождей) нарушают кислотный и солевой баланс в водоемах (в кислой среде растворяются минералы, в результате в воду переходят тяжелые металлы), разрушают почву и растительные ткани, а также покрытия (коррозия металлов) и строения, приводят к заболеваниям дыхательных путей и гибели многих организмов. Так, например, при pH водоема менее 5 погибают ракообразные, лосось, форель, плотва.

Заметим, что присутствие в воздухе аммиака или, например, катионов кальция также может изменять кислотность воды, но в щелочную область. Тем не менее такие осадки также относят к кислотным дождям.

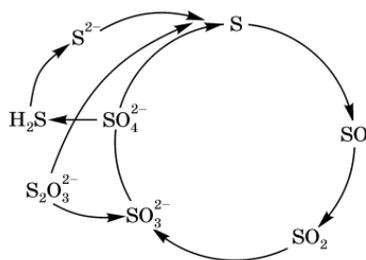


Рис. 8
Цикл серы

3.2.4. ТРОПОСФЕРА. ЦИКЛ ПЕРЕКИСНОГО РАДИКАЛА

После поглощения жесткого или дальнего ультрафиолетового излучения остальной поток солнечного света (ближний ультрафиолет, видимый и инфракрасный свет) активизирует процессы в тропосфере — той области атмосферы, в которой мы существуем. Ключевые процессы здесь связаны с циклом $\text{OH}\cdot$ (перекисного радикала) (рис. 9).

Он появляется в результате следующих реакций:

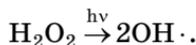
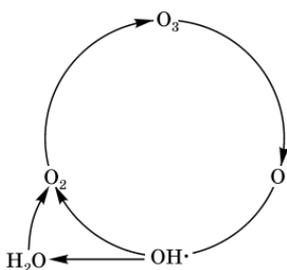
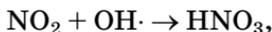
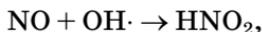
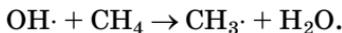


Рис. 9
Цикл перекисного
радикала в атмосфере

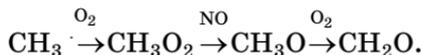
Роль перекисного радикала связана с его высокой окислительной активностью. В частности, с его участием в атмосфере протекают следующие каталитические реакции:



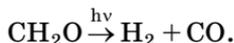
Кроме того, перекисный радикал активно окисляет органические соединения, в частности углеводороды, появляющиеся в тропосфере, например метан:



Далее образующийся алкильный радикал в цепочке реакций превращается в токсичный формальдегид (CH_2O):



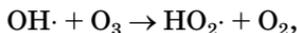
Таким образом, выброс углеводородов в атмосферу чреват самыми серьезными последствиями для организмов, кстати, не только вследствие появления альдегидов и других окисленных углеводородов, но и CO:



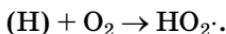
3.2.5.
ТРОПОСФЕРА.
ЦИКЛ
ГИДРОПЕРЕКИСНОГО РАДИКАЛА.
СМОГ

Еще одним продуктом реакций с участием перекисного радикала является гидроперекисный радикал $\text{HO}_2\cdot$. Цикл его приведен на рис. 10.

Он образуется в результате следующих реакций:



а также реакции



Сам гидроперекисный радикал способен образовать $\text{OH}\cdot$, например, в результате следующей реакции:



Он же образует пероксид водорода — источник перекисного радикала:



Кроме того, этот радикал активно участвует в образовании так называемого фотохимического смога.

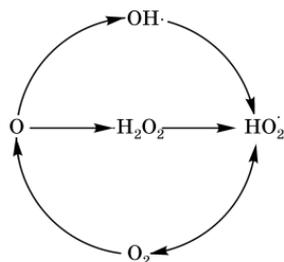


Рис. 10
Цикл гидроперекисного радикала

Смог — сочетание газообразных и твердых примесей с туманом.

Различают два вида смога, названных именами тех городов, где они привели к наиболее серьезным последствиям.

Лондонский, или химический, смог впервые наблюдался в 1952 году. Он привел к гибели около 3200 человек. Сжигание мазута и угля, традиционно используемых лондонцами для каминов и печей, плюс высокая влажность и отсутствие ветра — все это привело к накоплению в воздухе сажи, диоксида серы, оксида углерода и других опасных соединений, а также пыли. В частности, концентрация сернистого ангидрида SO_2 достигала 10 мг/м^3 . В результате — одышка, отравление (в том числе угарным газом CO), заболевание дыхательных путей, поражение легких и т. д. Причем, наиболее уязвимыми оказались старики и дети. Отмечалась также гибель растений и разрушение поверхности сооружений.

Важно отметить, что отравление угарным газом определяется его высокой связывающей способностью с гемоглобином крови, которая в 210 раз выше, чем у кислорода. В результате образуется карбоксигемоглобин (COHb) (табл. 3). Это понижает снабжение организма кислородом. Например, если в воздухе содержится 0,1% CO , то в течение нескольких часов у человека на 60% снижается способность гемоглобина переносить кислород.

Таблица 3

Содержание карбоксигемоглобина в крови человека*

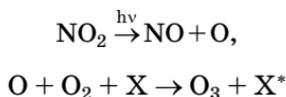
| Условие | COHb, % |
|---------------------------------------------------------------|---------|
| Длительное нахождение в атмосфере, где содержание CO | |
| 10 млн д. | 2,0 |
| 30 млн д. | 5,0 |
| В городе: некурящий | 2,0 |
| курящий | 5,8 |
| В селе: некурящий | 1,1 |
| курящий | 5,0 |

* При норме 0,3–0,5%

Из данных таблицы следует, что содержание угарного газа в воздухе коррелирует с его наличием в крови. Здесь же важно отметить, что курение не только ведет к отравлению, но и снижает мыслительную способность, а также реакцию организма на внешнее воздействие. Кроме того, оно перегружает сердце и вызывает ряд заболеваний, в том числе онкологических (легких и дыхательных путей).

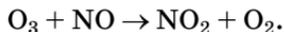
Лос-Анджелеский, или фотохимический, смог наблюдался неоднократно и продолжает наблюдаться не только в этом, но и в других городах, например в Лондоне, Париже, Нью-Йорке. Погибших в результате гораздо больше. Он связан с наличием в городе огромного количества транспорта, полным безветрием и высокой активностью солнца, в частности коротковолнового излучения, при низкой влажности воздуха.

Одним из активных «участников» образования смога в этом случае, наряду с перекисным и гидроперекисным радикалами, является озон. Он появляется в результате реакции атомарного кислорода (продукта фотоинициируемого расщепления оксидов в воздухе) с молекулярным кислородом, например:

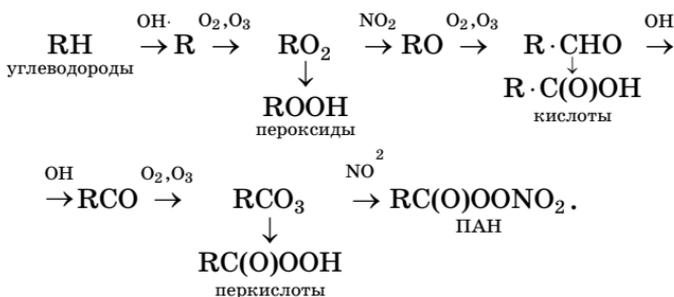


(X — посторонний атом или молекула).

Озон, как уже отмечалось, обладает чрезвычайно высокой окислительной активностью. Это видно на примере следующей реакции:



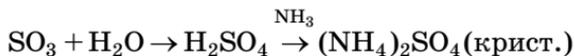
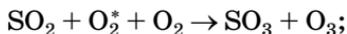
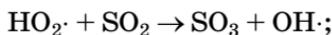
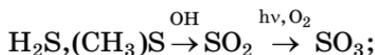
Этот и другие активные окислители (оксиды азота, нитраты и пр.), взаимодействуя с углеводородами (выхлопы машин), в первую очередь с непредельными, приводят к образованию в воздухе высокотоксичных пероксидов и перкислот, а также пероксилацетилнитратов (ПАН). Последние могут образоваться в результате следующей цепочки превращений, началом которой является окисление углеводородов:



Образовавшиеся токсичные продукты приводят к раздражению слизистых оболочек (глаз, дыхательных путей, горла), поражению органов дыхания, появлению и обострению заболеваний, причем преимущественно у пожилых людей и детей. Кроме того, наблюдается увядание и гибель растений, коррозия металлов, разрушение резины и пр.

Следует отметить, что аэрозоли (твердые частицы в воздухе), приводящие к смогу, могут образоваться и в результате естественных процессов (вулканической деятельности, пожаров, пыли, захвата с водой морской соли). Так, смог часто наблюдается в хвойных лесах, где происходит окисление терпеновых углеводородов.

Однако основной причиной появления смога является антропогенная деятельность. Сегодня он не редкость во многих крупных городах мира, где, наряду с указанными процессами, наблюдается образование дымки и ухудшение видимости. Это связано, в частности, с выбросами серосодержащих соединений. В результате цепочки окислительных реакций это приводит к образованию солей, например:



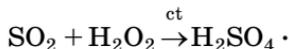
3.3. ВОДА В АТМОСФЕРЕ

Вода сосредоточена в тропосфере. Ее содержание снижается с высотой. Роль воды в атмосфере многообразна: она участвует в миграции веществ, поддерживает тепловой баланс Земли, способствует трансформации химических соединений. Перенос многих веществ, главным образом водорастворимых, осуществляется вместе с облаками (это аэрозоли, т. е. дисперсии жидкой воды в воздухе), а их осаждение — с осадками.

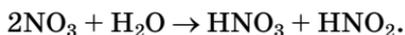
Температура планеты, ее изменение, в основном ее приповерхностного воздушного слоя — тропосферы, во многом определяются фазовым состоянием воды и ее теплоемкостью. Значительная величина последнего показателя способствует тому, что вода играет роль теплового демпфера, т. е. не позволяет температуре резко изменяться при переходе, например, от дня к ночи, от зимы к лету.

Многие превращения химических соединений в воздухе связаны с водой. Капля воды (в облаке, тумане, смоге) играет роль своеобразного микрореактора. Ее pH колеблется от 2 до 6, а ионная сила находится в диапазоне 0,001–0,01 моль/л. В такой капле содержатся как производные самой воды, например основные ионы H^+ и OH^- и так называемые активные формы кислорода (АФК): $OH\cdot$, $HO_2\cdot$, H_2O_2 , O_3 , так и другие вещества, например катионы металлов: железа (Fe^{2+} , Fe^{3+}), марганца (Mn^{2+}) и др. и анионы кислотных остатков, например: NO_3^- , SO_4^{2-} , CO_3^{2-} .

В капле воды идет окисление многих, главным образом водорастворимых, веществ. Например, здесь протекает следующая окислительно-восстановительная реакция, катализатором которой являются катионы марганца или железа:

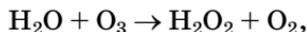


Кроме окислительно-восстановительных, в каплях воды идут реакции соединения с образованием кислот, например:



Заметим, что последняя реакция относится и к окислительно-восстановительным.

Как уже отмечалось, присутствие воды в атмосфере способствует разрушению озона, например, кроме приведенных выше, в результате следующих реакций:



и далее:



В заключение важно отметить, что постоянство содержания воды в атмосфере поддерживается исключительно гидросферой и роль человека здесь пока незначительна.

3.4. ЗАГРЯЗНЕНИЕ ВОЗДУХА

Атмосфера — это наиболее подвижная часть природы, поэтому ее локальные изменения могут приобретать глобальный характер. Основными источниками загрязнений атмосферы являются естественные загрязнители минерального и животного происхождения, сжигание топлива и отходов, промышленные выбросы.

Загрязнение воздушной среды существенно нарушает в ней баланс, в первую очередь кислорода, озона, углекислого и угарного газа, оксидов серы и азота. Это особенно важно для тропосферы, в которой существует все живое.

Согласно критериям оценки экологической обстановки, принятым в РФ, негативное воздействие загрязнений в воздухе происходит путем прямого контакта с поллютантами атмосферы, а также путем выпадения этих веществ из атмосферы и вторичного загрязнения окружающей среды.

К основным показателям такого воздействия на человека относят заболеваемость, смертность, нарушение репродуктивных функций, а также здоровья новорожденных.

Особенно тяжелая ситуация сложилась в районе городов и промышленных предприятий. В табл. 4 приведены некоторые компоненты тропосферы, их среднее содержание в природе и изменение в воздухе городов. Отчетливо

Таблица 4

Некоторые вещества в тропосфере

| Соединение | Среднее содержание, % | В воздухе города, % |
|-----------------|-----------------------|---------------------|
| CO | 0–0,01 | 1–5,0 |
| NO | 0–0,001 | 0,2* |
| O | 0,01 | 0,5* |
| SO ₂ | 0–0,001 | 0,1–2,0 |

* Во время фотохимического смога

видно завышение многих веществ, о причинах и последствиях которого мы поговорим ниже. Здесь отметим только, что наиболее опасны такие изменения над самим городом и в подветренной зоне до 150–200 км.

Кроме указанных в таблице, в воздухе могут содержаться попавшие туда органические вещества, в частности азот- и серосодержащие соединения (о кислотных оксидах и кислотах мы уже говорили выше — см. «Вода в атмосфере»), а также металлы и пыль.

На Земле наблюдается естественное загрязнение воздуха, например, в результате вулканической деятельности (сегодня существует примерно около 500 действующих активно или спящих вулканов), пыльных бурь, пожаров и пр. В частности, сильные ветры — бури, смерчи, ураганы — могут поднимать и переносить с воздухом до 50 млн т пыли. Причиной пыльных бурь в степных, полупустынных и пустынных районах являются засухи и разрушения почвы, связанные зачастую с деятельностью человека: это выпас скота, уничтожение деревьев и кустарников и пр. В результате пыльных бурь и ветров происходит загрязнение кормов, поражение органов дыхания и пищеварения, полегание и гибель посевов и многое другое.

Итак, загрязнения воздуха происходят в результате естественных процессов, но гораздо опаснее антропогенные источники. Как правило, они локальные, но мы уже отмечали способность атмосферы превращать локальные изменения в глобальные. Основные источники таких загрязнений — это энергетика, химическая промышленность и транспорт. Ближе к ним сельское хозяйство и быт.

Мы рассмотрим наиболее существенные поллютанты и их воздействие на организм, в первую очередь животных и человека. Но не будем забывать о том, что и растения подвергаются такому воздействию. В результате действия загрязнителей воздуха, главным образом промышленных газов, нарушаются процессы транспирации, изменяется фотосинтетический аппарат, разрушаются цитоплазма и хлоропласты, происходит изменение корневой системы. Особенно подвержены такому воздействию хвойные. Они первыми гибнут в промышленных районах с высоким уровнем загрязнений. В заключение важно отметить, что именно по характеристикам растений, в частности по параметрам листьев, в нашей стране сегодня проводится мониторинг поллютантов.

3.4.1. ПАРНИКОВЫЕ ГАЗЫ

Парниковые газы — это соединения, создающие в воздухе слой (защитный экран), поглощающий тепловое (ИК) излучение земной поверхности (и солнца) и вторично его излучающий, тем самым возвращая тепло в тропосферу (рис. 11). В результате этого повышается температура в данном регионе.

К парниковым относятся углекислый газ, пары воды, метан, фреоны, так называемый веселящий газ (N_2O) и ряд других соединений. Отметим, что в том порядке, в кото-

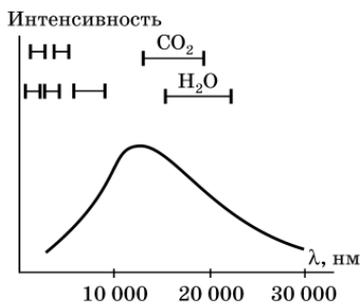


Рис. 11
Излучение земной
поверхности в ИК-области
и поглощение его CO_2 и H_2O

ром они написаны, уменьшается их содержание в воздухе, а значит, и вклад в действие защитного экрана. Важно также, что сегодня парниковый эффект на 60% зависит от углекислого газа, выбрасываемого в результате деятельности человека (выбросы более 250 млн т в год). Причем его содержание в атмосфере, как отмечалось, линейно растет со временем.

Очевидно, что многие из отмеченных соединений являются обычными компонентами тропосферы, а их побочное действие — результат повышения содержания в воздухе. С чем же это связано?

Роль паров воды в атмосфере мы уже обсудили, рассмотрим теперь следующий из газов — **углекислый** — главное «действующее лицо» среди парниковых газов. Он поступает в атмосферу из глубин Земли в результате окисления углерода осадочных пород, при вулканических извержениях и магматических процессах, а также вследствие жизнедеятельности биоты, в том числе окисления (горения) ее останков. Скорость его поступления до определенного момента была равна скорости связывания, что обеспечивало равновесие. Но его равновесная концентрация в воздухе была нарушена в XVIII веке (промышленная революция). С этого времени содержание CO_2 в тропосфере увеличивалось примерно на 0,34% в год, и сегодня оно существенно превышает норму (примерно на 31%).

Это связано со многими причинами, но главные — вырубка лесов и сжигание топлива. Так, площадь лесов, поглощающих углекислый газ, на планете сократилась к началу нашего века примерно на 20–25%. Что касается сжигания органики, то вот только несколько цифр. Самолет за 7 часов полета удаляет из воздуха 35 т кислорода, выделяя столько же углекислого газа. Автомобиль за прогон в 1–1,5 тыс. км — соответственно 1 т кислорода и 1 т углекислого газа. Кроме того, подсчитано, что все люди выделяют в год около 6 млрд т этого газа и столько же животные.

Проблема избытка углекислого газа в атмосфере сегодня приобрела международный масштаб в связи с глобальным повышением температуры и ростом атмосферных катаклизмов. Расчеты показали: чтобы сдержать глобальное потепление, надо уменьшить выбросы CO_2 втрое. Ряд государств приняли соглашение («Киотский протокол»), в котором говорится о мерах по определенному ограничению его промышленных выбросов (на 6%). Однако некоторые страны, и в первую очередь США, не присоединились к данному документу, хотя в конгрессе страны все сильнее звучат голоса о необходимости этого.

Метан — его концентрация в атмосфере с XVII по XX век возросла в два–три раза, в результате равновесие давно нарушено. Его источниками являются болота, рисовые поля, фермы, добыча полезных ископаемых. Все эти площади продолжают расти, и пока нет возможности затормозить этот процесс.

Фреоны — это смесь фторхлоруглеводородов типа CF_3Cl , CF_2Cl_2 и др. Их синтез начался в 30-х годах прошлого века. С этого времени содержание фреонов в атмосфере увеличивается на 5–10% в год. Однако попытки ряда государств сократить эту динамику за счет сокращения производства фреонов и их применения пока не дают ощутимых результатов.

Содержание в воздухе **оксида азота N_2O** с XIX века и до настоящего момента возросло более чем на 20%. Несмотря на его ничтожную концентрацию в атмосфере (менее 1%), такая динамика настораживает. Каковы же его источники? В первую очередь производство и использование удобрений, причем этот источник продолжает расти.

Все эти изменения привели к глобальному потеплению климата на планете, хотя некоторые ученые считают причиной этого процесса определенную цикличность температуры атмосферы Земли. Вместе с тем только за последние 100 лет она возросла примерно на $0,5^\circ\text{C}$, причем в последнее десятилетие температура увеличивалась в три раза быстрее, чем в среднем за прошедшее столетие.

Много это или мало? В результате такого вроде бы незначительного потепления уровень океана за счет обычного теплового расширения воды и таяния ледников (толщина арктического льда с 1960 года уменьшилась на 40%) поднялся на 10–15 см. Это привело к затоплению значительных площадей, а значит, к сокращению жизненного пространства на суше. Если темпы потепления не снизятся, то предсказывается, что средний уровень воды с 1990 по 2100 год может подняться на 50 см, что повлечет за собой тяжелые последствия для 50% населения Земли. Кроме того, смягчение климата ведет к продвижению на север южной флоры и фауны, в том числе возбудителей заболеваний.

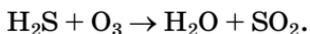
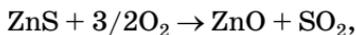
Подсчитано, что если концентрация CO_2 в атмосфере возрастет в 1,5 раза, то температура тропосферы увеличится на 1,2–2°C со всеми вытекающими последствиями. А если увеличение достигнет 4°C, то это будет критическим моментом для жизни на нашей планете. Следует отметить, что только наличие твердых частичек в воздухе, т. е. образование аэрозолей, снижает температуру в тропосфере.

3.4.2. СОЕДИНЕНИЯ СЕРЫ

Из соединений серы в воздухе наиболее распространены следующие (в порядке убывания содержания): SO_2 (до 1 мг/м³ в воздухе городов), COS , CS_2 , H_2S , $(\text{CH}_3)_2\text{S}$, SO_4^{2-} . За год в результате природных процессов в атмосферу поступает 30–40 млн т соединений серы, а деятельность человека дает вдвое больше — 60–70 млн т только сернистого ангидрида SO_2 .

К естественным источникам серы можно отнести процессы утилизации разного рода биотходов микроорганизмами, которые интенсивны в болотах, устьях рек, на побережье, а также в почве. Кроме того, значителен вклад вулканов, пожаров и в особенности процессов, происходящих на поверхности океанов.

Антропогенная деятельность связана со сжиганием топлива, металлургической, химической и нефтеперерабатывающей промышленностью, а также с предприятиями по изготовлению искусственного волокна, сахара (сероводород, сероуглерод) и др. В частности, при сжигании 1 млн т угля выделяется 25 тыс. кг серы в виде оксида. Вот только несколько реакций, которые приводят к появлению диоксида серы в воздухе:



Диоксид серы (сернистый ангидрид) вызывает раздражение слизистых оболочек носа и горла, а также глаз.

Однопроцентное содержание его в воздухе раздражающе действует на влажную кожу в результате образования кислоты. Вдыхание сернистого ангидрида вызывает болезненные явления в дыхательных путях и легких, вплоть до бронхита, отеков и паралича. Оценки показывают, что его содержание в воздухе в количестве 6 мг/м^3 вызывает недомогание. При этом наблюдаются не только легочные, но и сердечно-сосудистые заболевания.

Триоксид серы (серный ангидрид) также является газом, раздражающим слизистые. При относительно небольшой концентрации (около $0,001\%$) он вызывает ощущение удушья. Его появление во влажном воздухе приводит к образованию серной кислоты и соответственно кислотных дождей, последствия которых напомним кратко: подкисление водоемов (гибель рыбы и др.), коррозия металлов (разрушение покрытий, конструкций), растворение минералов в воде (ухудшение ее качества), нарушение структуры почв (гибель растений, в первую очередь хвойных). Отметим, что в окрестностях заводов по производству серной кислоты наблюдается гибель садов и виноградников.

Сероуглерод CS_2 ($0,03\%$ и выше) вызывает головные боли, сопровождающиеся галлюцинациями и другими психическими расстройствами, а концентрация на порядок выше приводит к помешательству. Постоянное нахождение в атмосфере, содержащей даже относительно низкие дозы CS_2 , вызывает то припадки истерии, то сонливость, а более высокие — тяжелые нервные расстройства, ослабление умственной деятельности и зрения.

3.4.3. СОЕДИНЕНИЯ АЗОТА

Наиболее распространенными соединениями азота, встречающимися в воздухе, являются N_2O , NO , NO_2 , HNO_3 , NH_3 , NO_3^- , NH_4^+ . Многие из них разрушают озоновый слой, а оксиды азота приводят к появлению фотохимического смога и кислотных дождей.

Их основными источниками, кроме атмосферных процессов и окисления азотсодержащих соединений бактерия-

ми в воде и в почве, являются химическая промышленность и транспорт. В частности, оксид N_2O , так называемый веселящий газ, производят как активный пенообразователь и распылитель. Монооксид азота NO образуется, например, в высокотемпературных выхлопах машин в количестве 1–2 г за 1 км пробега по реакции



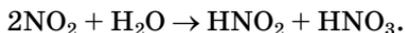
Он отрицательно влияет на эпителий органов дыхания, а при длительном воздействии нарушаются функции ЦНС.

Наиболее ядовитым из перечисленных соединений является диоксид азота NO_2 . Он получается в результате реакции окисления монооксида азота, которая спонтанно протекает в воздухе:



Его образование связано и с природными процессами (около 40 млн т в год), и с деятельностью человека (около 20 млн т в год).

Хорошо известно, что при растворении в воде он образует азотную и азотистую кислоты:



Человек, находящийся в атмосфере с высокой концентрацией диоксида азота (более 0,005%), в течение первых часов никаких недомоганий не ощущает. Примерно к восьмому часу появляется удушье, кашель, тошнота, боли в животе. При этом учащается пульс и наступает расстройство сердечной деятельности. Таким образом, диоксид в первую очередь поражает органы дыхания (слизистую, легкие), вызывая отеки, а эффект образуемых им кислот аналогичен эффекту от действия серной кислоты (см. выше). В частности, пары азотной кислоты раздражают кожу и слизистые, разрушают зубы.

Аммиак выделяется в результате биоразложения различных остатков в почве. Его концентрация высока в воздухе животноводческих ферм (коровников, свинарников и пр.), поскольку он выделяется с мочой животных, а также вблизи химических предприятий. Аммиак производят

практически во всех развитых странах, но главным производителем является Россия.

Используется он в том числе и для получения азотных удобрений, а в природе образует соли азотной и серной кислот. Биологический эффект аммиака знает каждый, кто нюхал нашатырный спирт (раствор аммиака в воде). В высоких концентрациях он чрезвычайно токсичен.

3.4.4. СОЕДИНЕНИЯ УГЛЕРОДА

Об углекислом газе мы уже говорили. Монооксид углерода, или угарный газ, в большом количестве образуется в природе (вулканическая деятельность, пожары и пр.). Это составляет примерно 0,35 млрд т в год. Антропогенная деятельность дает около 0,15 млрд т в год, причем основная доля (около 0,1 млрд т) приходится на США. Его источники — неполное сгорание топлива и твердых отходов. Монооксид углерода выделяется и в результате сжигания табака.

Как отмечалось, токсичность СО связана главным образом с его способностью к образованию прочного соединения с гемоглобином, препятствующего связыванию и переносу кислорода в организме. Это отражается на дыхании, что известно курильщикам. Даже после непродолжительного нахождения в прокуренном помещении человек начинает задыхаться и кашлять, то же в комнате, где неисправны печь или камин (можно угореть, т. е. отравиться). Заметим, что количество СО в крови курильщика может достигать десятка граммов, что на порядок выше допустимого. Наблюдается отложение липидов на стенках кровеносных сосудов, что снижает их проводимость.

Кроме угарного и углекислого газов в воздухе встречаются органические соединения и продукты их окисления. Особенно опасными являются диоксины. Основные источники органики, помимо растений (изопрен, терпены) и бактерий (выделяют метан), — добывающая, нефтеперерабатывающая и химическая промышленность, бензоколонки, быт, а также транспорт. Он дает около 50% всех органических выбросов. Причем в выхлопах авто-

мобилия встречается практически вся органическая химия. Здесь и углеводороды (в основном короткоцепные), и спирты, и альдегиды, и кетоны, и фенолы и др. Летучая органика является источником многих проблем, таких как нарушение дыхания, отравление, мутация, раковые и другие заболевания.

Промышленность (коксохимическая, металлургическая, нефтехимическая) и ТЭЦ, кроме перечисленного, в больших количествах «поставляют» ароматические соединения, из которых наиболее токсичными являются полиароматические, или конденсированные полициклические вещества — это нафталин, антрацен, пирен и их производные. Они способны накапливаться в организме (главным образом в костном мозге). Являясь структурными аналогами гормонов, они могут влиять на деятельность внутренних органов.

Один из опаснейших классов органических веществ — галогенсодержащие, в первую очередь хлорсодержащие, соединения. Они, кроме всего прочего, обладают способностью модифицировать органические вещества в организме. К ним, помимо фреонов (заметим, не являющихся высокотоксичными веществами), относятся такие растворители, как хлороформ, дихлорэтан и четыреххлористый углерод (наиболее токсичен). Здесь же мономеры для производства полимеров (хлорвинил, хлоропрен и пр.), а также хлорпроизводные ароматических соединений. Последние наиболее опасны, поскольку обладают комплексным действием и ароматических соединений, и хлора, а также кумулятивным эффектом.

Коммунальное хозяйство, свалки, стоки поставляют значительное количество не только дурно пахнущих, но и токсичных соединений. Постоянно дымящая свалка возле вашего сельского дома, дачи — это не столь безобидно, как кажется на первый взгляд. Да, «ароматы» — это неприятно, но не только. Першение в горле, затрудненное дыхание, слезоточивость, головные боли — это первые симптомы возможного серьезного отравления. Только промышленная переработка бытовых отходов — решение данной проблемы.

Еще одна проблема связана с аэрозольным загрязнением воздуха, т. е. с твердыми (дым, пыль) и жидкими (туман, смог) частицами, содержащимися в нем. Ежегодно в атмосферу поступает около 11 км^3 пыли только искусственного происхождения. Ее источники — процессы сгорания каменного угля, выплавки металлов, производства цемента и пр. В составе пыли представлено большинство тяжелых металлов, в основном в виде соединений.

3.4.5. ТЯЖЕЛЫЕ МЕТАЛЛЫ

Наличие в воздухе тяжелых металлов, из которых наиболее распространенными и опасными являются свинец, ртуть, кадмий, мышьяк, таллий, а также хром, марганец, ванадий и никель, является результатом сжигания топлива, производства стали и других металлов, а также вулканической деятельности и пожаров. Причем антропогенные источники превышают природные. В результате такой деятельности исчезли и продолжают исчезать многие виды животных и растений.

Свинца, который выделяется вместе с выхлопными газами автомобилей (250 тыс. т в год), а также с отходами топливной промышленности и энергетики, только в городах содержится в воздухе (в составе пыли) в количестве около 1%. В результате горожанин поглощает ежедневно до 45 мкг свинца, что в 10 раз больше, чем поглощает сельянин, и в 100 раз больше, чем доза первобытного человека, однако запрещение в ряде стран использования добавок соединений свинца в топливо позволяет частично решить эту проблему.

Вместе с тем следует отметить, что этот металл — один из наиболее токсичных. Он снижает активность ферментов, участвующих в насыщении крови кислородом, что влияет и на обмен веществ, способен замещать кальций в костях и нервных волокнах, что негативно отражается на их свойствах. В частности, последнее вызывает первоначальный рост нервной возбудимости (бессонница), что приводит к утомлению, депрессии. В свою очередь, нервные

нарушения влияют на мозг, а также на зрение (аналогичное влияние кадмия и ртути).

Проблема кадмия и таллия в городах сегодня выходит на первый план, вытесняя свинец. Дело в том, что только кадмия в результате антропогенной деятельности выбрасывается в воздух около 7 тыс. т в год (0,8 тыс. т дают природные источники). Это производство и использование топлива, травление металлов и др. В результате человек получает ежедневно до 59 мкг этого металла. Кадмий нарушает нервную деятельность, структуру костей, работу почек, ферментов, а таллий приводит к облысению и отравлению организма.

Токсичность ртути (источники — металлургия, химическая промышленность, в частности электрохимическая, а также текстильная) вызвана ее способностью взаимодействовать с сульфидными группами белков, нарушая их структуру и функции, а следовательно, и функции клеток. Это приводит к серьезным нарушениям в организме вплоть до гибели. Следует заметить, что органометаллические соединения ртути, используемые сегодня, например, в качестве биопротекторных покрытий (судоострое и др.), могут быть на порядки токсичнее самой ртути. Это касается и большинства других металлов.

Выбросы и отходы металлов в районах промышленных предприятий приводят зачастую к необратимым последствиям. В частности, в окрестностях заводов по производству алюминия гибнут виноградники и сады, вблизи цементных заводов — плодовые деревья и кустарники, около свинцово-цинковых — посеы и т. д.

Важно отметить также проблему радионуклидов (они в большинстве относятся к тяжелым металлам). Она встала на повестку дня в результате появления и расширения их производства и использования, в связи с авариями на АЭС и испытаниями ядерного оружия. Такие катастрофы приобретают глобальное значение из-за быстрого переноса радиоактивных изотопов на большие расстояния (вспомним аварии на ПО «Маяк» в 1957 году и на Чернобыльской АЭС в 1986 году) и с долговременным загрязнением территории. Так, период полураспада стронция-90 и цезия-137

около 30 лет. Все это привело к тому, что на территории нашей страны радиоактивный фон повышен по сравнению с нормой. Сегодня к зонам радиоактивного загрязнения относятся 14 субъектов РФ.

Радионуклиды, попадая в организм с воздухом, водой и пищей (накопление в цепях питания), не действуют избирательно, а разрушают все его системы. Даже низкие дозы провоцируют лейкозы. Наиболее подвержен такому воздействию генетический аппарат клеток, в котором в результате нарушений наблюдаются злокачественные новообразования, наследственные заболевания и уродства, а также мутации. Все это сказывается на последующих поколениях.

Еще один класс поллютантов, о котором нельзя не сказать, — микробы и вирусы, вызывающие эпидемии (эпизооти, эпифитотии). Но эта тема относится к биоэкологии.

3.5.

ЗАЩИТА АТМОСФЕРЫ

Как следует из сказанного, проблема защиты атмосферы от антропогенных выбросов сегодня стоит очень остро. И это не только парниковые газы, повышающие температуру окружающей среды. Здесь и органика, и тяжелые металлы. Так, например, атмосферой переносится до 30% ртути и до 50% свинца, поступающих в мировой океан. Загрязнение атмосферы снижает интенсивность столь важной для жизнедеятельности солнечной радиации (например, в Париже до 30%), продуктивность животных, вызывая их заболевания, уничтожает растительность, влияет на здоровье людей. Например, в воздухе наших жилищ находятся пыль и табачный дым, угарный и углекислый газы, диоксид азота, радон (выделяют бетонные конструкции) и тяжелые металлы, а также инсектициды, дезодоранты, моющие вещества, аэрозоли, микробы и бактерии.

Есть ли выход? Да, и не один. Касательно атмосферных выбросов — это, наряду с улучшением качества топлива, строжайшее законодательное их ограничение и контроль на уровне государственных органов. Здесь необходимы нормативы по предельно допустимым выбросам

(ПДВ для автомобилей введены, например, в Германии) и концентрациям (ПДК — см. табл. 12). Важно оценивать суммарные индексы допустимых загрязнений атмосферы (ИЗА), используя их объективные индикаторы (хвою, листву, мхи и др.), а также разрабатывать совершенные фильтрующие, поглощающие и пылеулавливающие системы. Но это только полумеры, как и рациональное расположение предприятий и жилых построек. Очевидно, что реальной гарантией является создание безотходных технологий, которых пока не так много.

И в быту мы должны максимально оградить себя от поллютантов и других опасных компонентов, зная их источники, снижая их использование и выбросы, проветривая помещения. В частности, японскими исследователями показано, что одна из «болезней жилищ» — бронхиальная астма может быть связана с наличием в воздухе клещей.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Состав и строение атмосферы.
2. Основные реакции, протекающие в разных слоях атмосферы.
3. Цикл Чэпмена и его нарушения. Роль антропогенного фактора.
4. Циклы перекисного и гидроперекисного радикалов, их роль.
5. Смог, его причины и следствия.
6. Кислотные дожди, причины и следствия.
7. Роль воды в атмосфере.
8. Парниковые газы, их экологическая роль и способы борьбы с ними.
9. Загрязнение атмосферы соединениями углерода, азота, серы и тяжелыми металлами. Причины и следствия.
10. Защита атмосферы.

ЭКОХИМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ И ПРОБЛЕМЫ ГИДРОСФЕРЫ

4.1. ГИДРОСФЕРА. ВОДА

Гидросфера — это прерывистая водная оболочка Земли.

Общий запас воды на нашей планете оценивается в 1389,53 млн км³, а пресной — 35,83 млн км³, или 2,58% от всего запаса. Кроме поверхностных вод, в нее включают подземные воды, лед и снег Арктики и Антарктики, а более широко — атмосферную воду и ту, которая содержится в составе организмов (табл. 5). Как следует из нее, основная масса воды, содержащей 35 г/дм³ солей, находится в морях и океанах. На втором месте — подземные

Таблица 5

Мировые запасы воды

| Источник | Объем, млн км ³ | Доля в мировых запасах, % | |
|----------------|-------------------------------|---------------------------|----------------------------|
| | | от общих запасов | от запасов пресной воды |
| Мировой океан | 1340,74 | 96,49 | — |
| Подземная вода | 23,4 | 1,68 | — |
| Пресная вода | 10,53 | 0,76 | 29,39 |
| Влага почвы | 0,02 | 0,001 | 0,06 |
| Ледники, снег | 24,87 | 1,79 | 69,49 |
| Озеро | 0,18 | 0,013 | — |
| Болото | 0,01 | 0,0007 | 0,03 |
| Река | 0,002 | 0,0001 | 0,006 |
| Организмы | 0,001 | 0,00005 | 0,003 |
| Атмосфера | 0,01 | 0,0007 | 0,03 |

источники, на третьем — замерзшие массы воды полюсов Земли, на четвертом — пресноводные бассейны суши и почвенные воды, на пятом — атмосферная вода и, наконец, на шестом — так называемая биологическая вода, находящаяся в составе организмов.

Гидросфера находится в постоянном взаимодействии с другими сферами, образуя сложный круговорот воды на планете. Ежегодно в этом круговороте только на поверхности Земли участвует более 1 млн км³ воды, что составляет около 0,1% всего активного водообмена. Циркуляция воды осуществляется в глобальном цикле, включающем (рис. 12):

- испарение воды (транспирация — ≈ 525 тыс. км³/год);
- охлаждение и конденсацию (облака, туман, смог);
- перенос в воздухе (со скоростью 0,1–10 м/с) и течение самой воды;
- выпадение в виде осадков (дождь, снег, град);
- просачивание в грунт и сток;
- потребление организмами (поглощение и выделение, например человеком около 2 л в сутки).

Интересно, что на испарение воды расходуется около 22% попадающей на землю энергии солнца.

Как отмечалось, всего 2,58% гидросферы приходится на пресную воду (содержание солей до 1 г/дм³). При этом



Рис. 12
Круговорот воды

большая часть ее (85%) сосредоточена во льдах. Возобновление пресной воды определяет доступные человечеству ресурсы, причем только артезианская вода потребляется необратимо. Скорость водообмена чрезвычайно мала у льдов и снегов планеты — 8000 лет, но у поверхностных вод она в 500 раз быстрее. Еще быстрее, примерно за 10–12 суток, обновляется вода рек, которая имеет большое практическое значение для человека.

Все население Земли использует ежегодно около 3800 км³ воды. При этом на разбавление стоков уходит почти пятая ее часть. Рост потребления пресной воды оценивается в 0,5–2% в год. При таких темпах ее запасов хватит на 25–30 лет. Сегодня, по оценкам специалистов, на одного жителя планеты приходится 1780 л воды в сутки (при потерях 30%), однако примерно 1,5 млрд человек постоянно ощущает ее недостаток и еще 500 млн страдают от низкого качества.

Проблема недостатка воды возникает по ряду причин: это и неравномерность ее распределения на планете, и рост ее потребления человечеством, и потери при использовании, и ухудшение качества в результате загрязнений. К антропогенным источникам истощения запасов воды относятся отбор поверхностных и подземных вод, разработка месторождений, урбанизация, энергетика и др. Загрязнения, наряду с природными источниками (извержения вулканов, цунами и др.), связаны с промышленной деятельностью человека, строительством, сельским хозяйством, бытом, а также с захоронениями отходов, военными испытаниями, гидросооружениями, гидропроектами (перевоска рек и пр.) и многим другим.

Роль воды на планете, в том числе в биосфере, трудно переоценить. Она — источник кислорода в фотосинтезе, компонент и среда для организмов и протекания реакций, растворитель и переносчик различных соединений, тепловой демпфер, участник геологических процессов и пр. Ее важности говорит хотя бы тот факт, что человек состоит на 80% из воды, а потеря 10–20% ведет к гибели.

Но что такое вода? На этот, казалось бы, простой вопрос ученые пока не могут дать однозначного ответа. И дело тут не в формуле, которую знают все, а в ее составе, струк-

туре и свойствах. Даже образующие воду компоненты до конца не изучены. И речь идет не о посторонних веществах, а о производных самой воды. Начать с того, что с учетом двух изотопов водорода и трех кислорода различных «вод» уже девять, а если сюда присовокупить продукты их диссоциации и окисления, то тогда состав воды практически становится задачей с большим числом решений.

Состав вещества определяет его структуру и свойства. Но структура воды, так же как и ее состав, — пока предмет споров в ученых кругах. По одним оценкам, в воде присутствует около 10% организованной жидкости, по другим — гораздо больше. Третьи говорят о том, что вода — сплошной кристалл, но обладающий высокой подвижностью, поэтому ее можно назвать жидким кристаллом. Действительно, в чистой воде находят разные надмолекулярные структуры самой воды — от простейших двойников, тройников до устойчивых пяти- и шестичленных ассоциатов. Последние складываются в блоки более высокого порядка (кластеры, клатраты и др.), которые, в свою очередь, образуют пространственные фигуры — шары, цепи и пр.

Если говорить о свойствах воды, ее аномалиях, то этому следует посвятить целую книгу. Некоторые из них, в частности высокая теплоемкость и низкая плотность льда, отмечены выше. Но мы перейдем к тому, что не менее, а может даже более важно для экологии, — это характеристика природной воды.

4.2. КОМПОНЕНТЫ ПРИРОДНОЙ ВОДЫ

Вначале определим основные группы компонентов воды.

1. Первая группа — это главные ионы. К ним относятся катионы калия, натрия, магния и кальция (K^+ , Na^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+}), а также анионы кислотных остатков, а именно: хлорид-анион, сульфат-анион, карбонат- и бикарбонат-анионы (Cl^- , SO_4^{2-} , CO_3^{2-} , HCO_3^-). Соотношение главных ионов в воде в норме практически постоянно. Ионная сила пресной воды около 0,01.

2. Ко второй группе относятся газы, главные из которых кислород, азот, сероводород и метан. Их содержание достаточно мало, например метана в воде содержится 5–9 ммоль/л.

3. Третью группу составляют биогенные вещества. Это в первую очередь соединения азота и фосфора. Сюда же включаются соединения железа.

4. В четвертой группе находятся все микроэлементы. Это катионы всех металлов (кроме железа, главных ионов, тяжелых металлов и радионуклидов), а также оставшиеся анионы, в первую очередь галогенид-анионы (кроме хлорид-аниона).

5. Растворенные органические вещества (РОВ) помещают в наиболее представительную пятую группу. Здесь находятся все классы органических соединений, важнейшими из которых являются ароматические соединения, а также гуминовые и фульвеновые кислоты.

Для оценки содержания РОВ используют различные косвенные показатели, такие как содержание органического углерода, азота, фосфора и окисляемость (ХПК — химическое потребление кислорода, БПК — биохимическое потребление кислорода — норма 1 мг/л).

6. Шестая группа — это токсичные и другие загрязнители. Здесь находятся тяжелые металлы, радионуклиды, многие органические, в частности хлорорганические и ароматические, соединения, поверхностно-активные вещества (ПАВ), полимеры и пр.

7. Наконец, седьмую группу образуют макропримеси. Это пузырьки газов, капельки масел, твердые частицы, микроводоросли, вирусы, бактерии и другие простейшие, т. е. все то, что можно увидеть невооруженным глазом или с помощью микроскопа. Последние годы в воды Мирового океана все чаще попадают нерастворимые органические соединения, например нефть и углеводороды.

В целом определить основной состав природной воды вполне реально (в пределах чувствительности существующих аналитических методов), но это совершенно не значит, что ее можно воспроизвести искусственно. Так называемая минерализованная вода часто небезопасна. Глав-

ным образом это связано с отсутствием либо наличием в ней определенных микропримесей.

Хотя природная вода представляет собой незаменимое вещество для организмов, нельзя забывать о том, что она же является переносчиком и аккумулятором загрязнений различного типа, которые накапливаются в результате попадания бытовых и промышленных стоков в водоемы. Например, реки выносят в океан около 4 млрд т различных веществ в год плюс 0,3 млрд т попадает на сушу и еще 4 млрд т выпадает в осадок.

4.2.1. КАТИОНЫ МЕТАЛЛОВ

Это важнейший компонент природной воды, содержание которого зависит от ряда условий — pH, окислительно-восстановительного потенциала, ионной силы, наличия лигандов и т. д. Например, подкисление водоема (кислотные дожди и др.) приводит к возрастанию в нем количества металлов. Причем они могут находиться в разной степени окисления и не только в виде ионов, но и в составе неорганических и металлоорганических соединений, которые образуют растворы, коллоидные частицы и взвеси.

Надо отметить, что переход катиона металла из раствора в комплекс, например с органическим лигандом, приводит к увеличению его количества в растворе, изменению скорости прохождения через биологические мембраны и токсичности. Так, многие комплексы кадмия, ртути, свинца менее токсичны по сравнению со свободными катионами. Но в случае органометаллических соединений часто бывает наоборот.

Катионы металлов и их комплексы играют важную роль в жизни водоема. Кроме прямого потребления автотрофами, они выполняют функции катализаторов различных, в первую очередь окислительно-восстановительных, процессов. Важно отметить, что в природной воде в максимальном количестве содержатся медь и железо (также встречается марганец). Какова же их роль?

Железо, как известно, занимает 4-е место по содержанию в земной коре после кислорода, кремния и алюминия.

В воде его концентрация может достигать 10^{-5} М. Реки ежегодно несут в моря и океаны 10^9 т железа. В воду оно поступает в результате растворения (выветривания) горных пород из подземных источников, а также со сточными водами.

Железо — это питательный элемент для водной биоты. В организме оно встречается в составе активного центра многих ферментов, а также в миоглобине, гемоглобине и пр. В воде оно присутствует в двух степенях окисления, в основном в виде гидроксокатионов (табл. 6), а также в виде комплексов.

Таблица 6

Основные формы нахождения металлов в природной воде

| Металл | Степень окисления | pH | Соединение |
|--------|-------------------|-------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| Fe | +3 | 4,5–5 Больше 6 | $\text{Fe}(\text{OH})^{2+}$ $\text{Fe}(\text{OH})_2^+$, $\text{Fe}(\text{OH})_3$ |
| Fe | +2 | 6–10 | FeHPO_4 |
| Cu | +2 | 7–9 Больше 9 | CuOH^+ $\text{Cu}(\text{OH})_2$ |

Меди в природной воде в 600 раз меньше, чем железа, т. е. около $3 \cdot 10^{-7}$ М. В водоемы она поступает в результате антропогенной деятельности. Ее источники — химическая промышленность, металлургия, сельское хозяйство. Она также незаменима для организмов, поскольку находится в активном центре ферментов, участвующих в синтезе белков, жиров, витаминов. В природе она встречается главным образом в степени окисления +2, причем в виде гидроксокатионов (табл. 6), а также в виде комплексов с органическими и неорганическими лигандами. Кроме того, в воде встречаются соединения марганца (II) и (IV). Причем последние выступают в роли окислителей.

4.2.2.

АНИОНЫ КИСЛОТНЫХ ОСТАТКОВ И ЛИГАНДЫ

Основная характеристика воды (заметим, связанная с металлами) — это ее комплексообразующая способность (КС).

Комплексообразующая способность воды — это максимальная концентрация катионов металлов (в г-ион/л), находящаяся в ней в виде комплексов.

Эта величина зависит от рН воды, содержания в ней анионов, лигандов и пр. Некоторые анионы воды и их концентрация приведены в табл. 7.

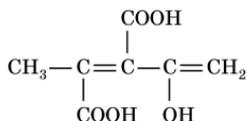
Таблица 7

Содержание некоторых анионов в природной воде

| Анион | CO_3^- HCO_3^- | HPO_4^- H_2PO_4^- | HS^- H_2S | CH_3COO^- CH_3COOH | $\text{Si}(\text{OH})_3\text{O}^-$ $\text{Si}(\text{OH})_4$ |
|----------------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------------------|---------------------------------------|-------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|
| Концентрация, $\text{M} \cdot 10^5$ | 300 | 1 | 1 | 10 | 50 |

* Кислотой не является. В воде присутствует в коллоидном состоянии.

Кроме анионов, в воде содержатся органические лиганды — аминокислоты, пиридин, карбоновые кислоты, этилендиамин, сероорганические соединения и пр. Важнейшими природными лигандами являются фульвенные кислоты. Условная формула такой кислоты:



Она образует с металлами два вида комплексов салцилатного (связи образуют гидроксогруппа и близлежащая карбоксильная группа) и фталатного типа (связи образуют две карбоксильных группы).

К лигандам и солеобразующим группам относятся также гидроксильные группы в составе гидроксидов кремния, алюминия, железа, которые встречаются на поверхности минералов и в виде коллоидных частиц в воде, а также ряд групп (гидроксильная, карбоксильная, аминогруппа и др.) на поверхности гумуса, клеток и т. д.

4.2.3.

ЦИКЛ ПЕРОКСИДА ВОДОРОДА

Природная вода, как правило, имеет положительную величину окислительно-восстановительного потенциала, т. е. является окислителем. Гораздо реже она восстановитель.

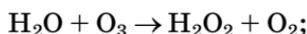
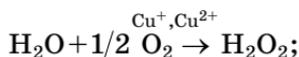
Если последнее связано с наличием в ней таких соединений, как сероводород, то окислительная способность в первую очередь результат растворения в воде активных форм кислорода (АФК), таких как озон и пероксид водорода.

Пероксид водорода появляется и накапливается в воде главным образом в результате естественных процессов (рис. 13):

1) из атмосферы;

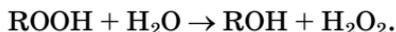
2) в результате радикальных процессов в воде, например: $\text{HO}\cdot + \cdot\text{O}_2 \xrightarrow{\text{hv}} \text{O}_2 + \text{HO}_2$ (анион, образующийся при диссоциации H_2O_2);

3) в процессе окисления самой воды озоном или кислородом, например:



4) в результате фотохимических реакций с участием водорослей и других фотосинтезирующих организмов;

5) вследствие превращений органических гидропероксидов в воде, например:



Содержание пероксида водорода в воде может достигать 10^{-4} М, а суточные колебания его концентрации составляют менее 10^{-5} М. Как видно из рис. 14, максимум концентрации H_2O_2 в воде наблюдается около 6 часов, ко-

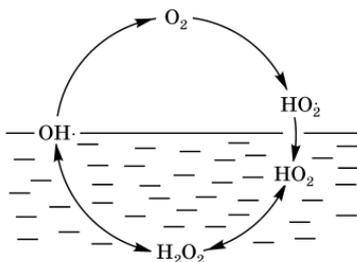


Рис. 13
Цикл пероксида водорода

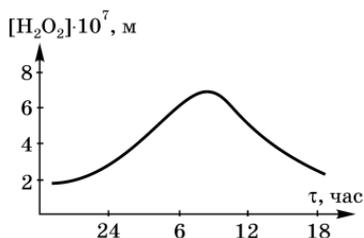
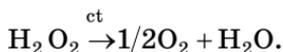


Рис. 14.
Динамика пероксида водорода
в природной воде

гда значительна активность солнца, инициирующая окислительные реакции, но еще не включились процессы распада пероксида водорода.

Существует несколько путей удаления H_2O_2 из воды.

1. Каталитический распад в результате реакции, где катализаторами служат катионы металлов — железа и меди, а также ферменты в составе водорослей:



2. Реакции с восстановителями, например с сульфидными группами тиолов, продуцируемых сине-зелеными водорослями. Заметим, эти водоросли «не любят» пероксид водорода, поскольку он снижает их токсичность и подавляет жизнедеятельность.

Пероксид водорода снижает токсичность воды, повышая ее ОВП, что способствует выживанию рыб, в особенности молоди. Заметим, что в этом же направлении действуют и другие окислители, например катионы Cu^{2+} , Fe^{3+} , Mn^{4+} (в составе MnO_2).

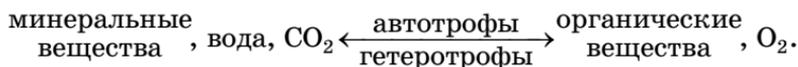
4.3. ОСНОВНОЕ РАВНОВЕСИЕ В ВОДОЕМЕ. ТРОФИЧЕСКИЕ ЦЕПИ. ТРЕТЬЕ ПОЛОЖЕНИЕ ЭКОЛОГИИ

Любой водоем представляет собой реактор открытого типа.

В нем в норме наблюдается равновесие всех компонентов. Оно обеспечивается равенством скоростей их поступления (образования) и удаления (исчезновения, см. рис. 15):

$$V \text{ поступления} = V \text{ исчезновения}.$$

К важнейшим относится равновесие между органическими и неорганическими компонентами. Оно поддерживается равными скоростями их производства и потребления:



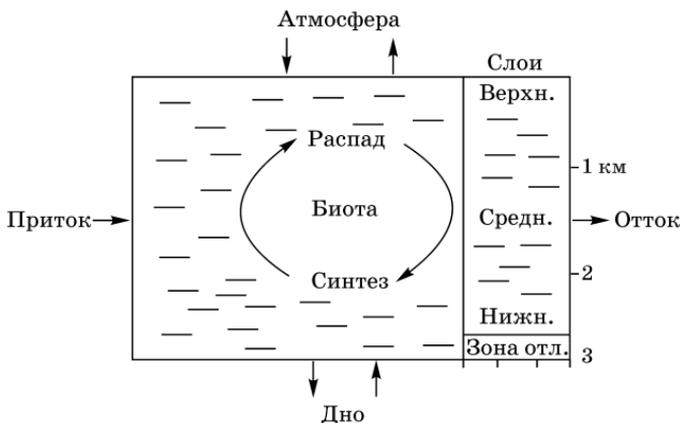


Рис. 15
Водоем-реактор открытого типа

О равновесии неорганический углерод–органический углерод, речь уже шла выше, когда мы обсуждали равновесие в природе в целом. В данном случае оно относится к водным растениям (водорослям) и потребляющим их организмам (зоопланктону, рыбам), т. е. метаболиты первых (и они сами) потребляются вторыми, и наоборот.

Важно отметить, что водоросли, по последним научным данным, являются основными производителями биомассы и кислорода на Земле. В Мировом океане они подразделяются следующим образом:

- фитопланктон* — взвешенные в воде водоросли;
- микрорфиты* — закрепленные водоросли.

Говоря об углероде и его роли в циркуляции водорослей, надо отметить, что растворимость углекислого газа в соленой воде больше, чем в пресной. В результате его содержание в морской воде превышает в 15 раз содержание кислорода и в 30 раз азота. В этой связи лимитирующим фактором в процессе фотосинтеза водорослями органического вещества являются соединения азота, а также фосфора. Причем, соотношение этих элементов в органическом веществе фитопланктона постоянно и равно $C : N : P = 108 : 16 : 1$.

Исследования показали, что вообще соотношение различных органических соединений, или метаболитов, в природной воде в среднем постоянно и близко их соотноше-

нию в крови. Таким образом, речь может идти о гомеостазе в широком смысле слова, т. е. о постоянстве среды обитания в природе и внутренней среды в организме.

Но вернемся к водорослям. Следует обратить внимание на то, что общая их масса на Земле составляет около 1 млрд т. Они производят основную долю кислорода, а также около 400 млрд т органического вещества (метаболита) в год, что превышает их количество, производимое растениями суши. Образовавшаяся органика потребляется гетеротрофами, в первую очередь бактериями, выделяющими минеральные соли, воду и углекислый газ (метаболиты). Заметим, что зеленые растения (главным образом высшие), по существу, сами являются не только продуцентами (производящими органические вещества), но и консументами, т. е. их потребляющими, например гуминовые и фульвеновые кислоты (а также кислород).

Из сказанного видна важная роль водорослей и водных организмов в экологии Земли, что позволяет сформулировать следующее положение.

Третье положение экологического учения. *Основа экологического метаболизма на Земле — обмен веществ в водных экосистемах (заметим, и в организме тоже) с участием органических и неорганических метаболитов.*

Обратим внимание на то, что время жизни водорослей составляет часы, а бактерий — около часа. Они являются пищей для зоопланктона (рачков, дафний, циклопов и др.). Зоопланктон — пища для мелких рыб, а они — для более крупных. Те, в свою очередь, потребляются морскими животными и птицами. Здесь мы встречаемся с понятием «трофическая цепь».

Трофическая цепь — это передача вещества через биологические подсистемы, когда одни организмы являются пищей для других.

Правило накопления токсикантов в трофических цепях (*правило экологического усиления*). *В процессе питания в трофической цепи происходит увеличение локальной концентрации поллютанта.*

Это правило связано с видоспецифичностью процессов усвоения определенных веществ разными организмами. Например, одноклеточные водоросли, поглощая воду, как правило, увеличивают концентрацию находящихся в ней загрязнителей на один–два порядка. Зоопланктон, поглощая их, — еще на столько же и т. д. В результате рыба или птица, попадая на наш стол, может содержать значительное количество поллютантов, опасное для здоровья. Это отражено на примере известного ядохимиката ДДТ (дихлордифенилтрихлорметилметана) в трофической цепи гидробионтов ($\text{ppm} = 100$ млн д.): вода — $0,00005 \text{ ppm}$ → → планктон — $0,04 \text{ ppm}$ → планктоноядные организмы — $0,23 \text{ ppm}$ → хищные рыбы: щука — $1,33 \text{ ppm}$, рыба-игла — $2,07 \text{ ppm}$ → птицы: цапля — $3,57 \text{ ppm}$; крачка — $3,91 \text{ ppm}$; серебристая чайка — $6,00 \text{ ppm}$: крохаль — $22,8 \text{ ppm}$; баклан — $26,4 \text{ ppm}$.

Кроме передачи вещества по трофической цепи происходит и передача накопленной энергии. С ней связано следующее правило.

Правило 10% (Лидермана). *В процессе пищевой цепи от одного звена (трофического уровня экологической пирамиды) к другому более высокому переходит около 10% энергии.*

4.4. ДОННЫЕ ОТЛОЖЕНИЯ. ЭВТРОФИРОВАНИЕ ВОДОЕМА

Любой водоем содержит несколько слоев, каждый из которых имеет определенный состав и свойства и выполняет конкретные функции (рис. 16). Поверхностный слой связан обменными процессами с атмосферой и поверхностью Земли (поступление стоков). В результате он насыщен биогенами и находится под влиянием солнечного облучения, т. е. наиболее активен в плане химических превращений. Чем глубже, тем ниже температура, освещенность и стабильнее состав воды. На определенной, достаточно значительной глубине (около 1 км) он практически постоянный, но вблизи дна опять претерпевает изменения, связанные с поступлением органи-

ческих (метаболиты микрофлоры и микрофауны донных отложений) и неорганических (из литосферы) соединений.

В частности, любое звено трофической цепи после своей гибели, а также его метаболиты в конце концов оказываются на дне водоема. Образующиеся донные отложения, в свою очередь, являются источником биогенов. Они играют существенную роль в формировании водной среды, поддержании в ней равновесия.

Экологические функции донных отложений следующие:

- 1) аккумулируют осадки (тяжелых металлов, органического вещества и др.);
- 2) при определенных условиях (см. ниже) они сами служат источником загрязнений;
- 3) в них протекает ряд химических и биохимических реакций, приводящих к трансформации веществ. Например, они поставляют в воду такие катионы, как Fe^{2+} и Mn^{2+} ;
- 4) участвуют в процессе обмена азотом и фосфором между дном и водоемом;
- 5) играют существенную роль в цикле пероксида водорода, способствуя его восстановлению.

Таким образом, донные отложения характеризуются восстановительной средой, которая, особенно опасна для молодняка рыб. К увеличению токсичности приводит также трансформация ряда веществ в этих отложениях, но некоторые, например красители и ДДТ, могут переходить в менее токсичную форму.

Следует отметить, что для рыб и других организмов опасна как восстановительная, так и сверхокислительная среда, вызванная наличием марганца в степени окисления +4 и +6, радикалов, активных форм кислорода (АФК) и пр. В этих условиях разрушается дыхательный аппарат рыб, что приводит к их массовой гибели. Здесь также отчетливо проявляется действие закона оптимума.

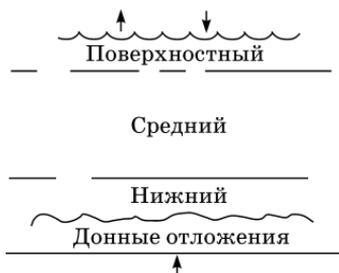


Рис. 16
Слои воды

Накопление донных отложений может привести к такому явлению, которое известно как эвтрофирование (эвтрофикация) водоема.

Эвтрофирование водоема — это его цветение (заполнение фитопланктоном), старение и наконец гибель (заболачивание).

Например, в Японском море сущим бедствием стали так называемые красные приливы — бурно развивающиеся микроскопические водоросли, удаляющие кислород из воды. Это приводит к гибели водных животных, образуя огромные массы гниющих останков, отравляющих воду и атмосферу.

Что же этому способствует? Во-первых, антропогенное увеличение поступления соединений азота, фосфора и других биогенов, т. е. переход от олиготрофных условий (нехватка N, P) к аутотрофным (их избыток). Во-вторых, это сокращение водообмена (плотины, застойные зоны) и, наконец, третье — повышение температуры водоема (и освещенности).

Основные источники органических и неорганических веществ, вызывающих эвтрофирование, — это удобрения и сточные воды. Весенние паводки смывают оставшиеся на полях удобрения и пестициды, которые частично накапливаются в стоячих водоемах — озерах, прудах и застойных зонах рек (затоны, заводи).

Наличие питательных веществ плюс повышение температуры способствуют бурному росту растительности. Это сокращает в водоеме содержание кислорода и жизненное пространство для других организмов, понижая их воспроизводство. Так, в Каспийском, Черном и Балтийском морях за последние 10–20 лет биомасса микроорганизмов выросла почти в 10 раз. В конце концов, заполнение водоема зеленой массой приводит к нарушению в нем жизнедеятельности как в результате снижения кислорода (и аэробных организмов), так и в результате выделения ядовитых газов анаэробными.

Действительно, если аэробные водоросли и бактерии используют кислород воздуха для получения соединений углерода, водорода, азота, серы и фосфора (соответственно

CO_2 , H_2O , NO_3^- , SO_4^{2-} , PO_4^{3-}), то в условиях недостатка кислорода в водоеме становятся активными и размножаются гетеротрофные организмы, продуцирующие соответственно CH_4 , NH_3 , H_2S , PH_3 (см. также 5.3.1.). Эти газы не только являются токсичными, но и обладают дурным запахом (болота).

Заметим, что для анаэробных, в частности гнилостных, бактерий подходит образовавшаяся в этих условиях в водоеме восстановительная среда. Наряду с ними отмечается увеличение патогенных микроорганизмов, в первую очередь в районе донных отложений, где для них идеальные условия: пища, тепло, отсутствие хищников. Среди них различают:

сапробионты — организмы, живущие в загрязненных водоемах,

сапрофиты — организмы, питающиеся останками других организмов.

Заметим, что в мире ежегодно около полумиллиарда человек страдает от инфекций, получаемых через воду. Это холера, гепатит, сальмонеллез и другие, а токсины, выделяемые простейшими, вызывают токсикозы, цирроз печени, аллергию, дизентерию и пр. Одними из наиболее опасных простейших являются сине-зеленые водоросли.

4.5. СИНЕ-ЗЕЛЕННЫЕ ВОДОРΟΣЛИ

Особый вид цветения, по поводу которого ученые ряда стран бьют тревогу, это сине-зеленые водоросли (цианобактерии, строматолиты). Они являются древнейшими из существующих ныне организмов, может быть, одними из первых фотосинтезирующих организмов на Земле — промежуточной формой между бактериями и водорослями. За столь долгий срок существования эти водоросли стали практически неуязвимыми. Так, они выживают в условиях пониженной концентрации и даже полного отсутствия кислорода в воздухе; переносят засуху, отсутствие света, различные загрязнения, а также температуру от 0 до 80°C.

Скорость их размножения фантастическая: за месяц из одной клетки образуется 10^{20} клеток. Такую огромную

величину даже представить трудно. Они способны дышать углекислым газом, кислородом, азотом, сероводородом. Их мало кто потребляет, зато они уничтожают практически все живое вокруг, поскольку способны выделять токсины, которые не имеют ни цвета, ни запаха, хорошо растворимы в воде, устойчивы при кипячении.

Именно токсичность большинства сине-зеленых водорослей является причиной многочисленной гибели птиц, животных, а в ряде случаев и людей. Эта проблема стала острой в последние годы для внутренних водоемов, а также для побережья многих стран (Италия и др.), где сине-зеленые водоросли вытеснили другие водные растения, завоевав целые акватории. В результате промышленные, жилые зоны и зоны отдыха оказались под угрозой.

Главные причины этого те же, что и при эвтрофировании водоемов, т. е. застой воды, стоки биогенов и загрязнений, повышение температуры до 20–30°C и выше. Эффективных методов борьбы с сине-зелеными пока нет, хотя отмечается, что имеются организмы, которые их потребляют. Но такие организмы не всегда удается адаптировать к условиям данного региона.

4.6.

ЗАГРЯЗНЕНИЕ ВОДОЕМОВ И ИХ ОХРАНА

Подводя итог, следует отметить, что токсичность воды в водоеме с ограниченным водообменом может быть вызвана следующими факторами:

- 1) наличием восстановителей;
- 2) отсутствием пероксида водорода;
- 3) переводом ряда катионов (например, Cu^{2+}) в недоступную форму;
- 4) возникновением условий для развития патогенной микрофлоры (сине-зеленых и др.);
- 5) снижением способности воды к самоочищению.

Как уже отмечалось, вода становится опасной главным образом в результате попадания в нее со стоками, сбросами, отходами и прочими разного рода поллютантов, в первую очередь антропогенных. При анализе их биологического действия учитывается следующее:

- собственная токсичность вещества, зависящая от его химической формы;
- превращение вещества в другие формы, иногда более токсичные;
- его накопление в трофических цепях.

В частности, ртуть подавляет развитие фитопланктона и по трофическим цепям, начинающимся с донных отложений, попадает в рыбу, которая вызывает у человека серьезные заболевания (например, болезнь Минимата). Повышение ее содержания в организме приводит к нервным расстройствам, параличу, слепоте, сумасшествию, вызывает врожденные дефекты. Еще более опасен ее переход в органометаллические соединения, при котором токсичность ртути многократно возрастает.

Свинец, попадая в организм с пищей или водой, приводит к анемии, почечной недостаточности, поражению кровеносной системы, судорогам и даже умственной отсталости. Его избыток вызывает тяжелое заболевание — плумбизм. Кадмий ингибирует и разрушает ряд ферментов, снижает гемоглобин в крови, замещает кальций в костях, вызывая их нарушения (как и свинец). Он провоцирует гипертонию и болезни почек. Соединения хрома обладают аллергическим, мутагенным и канцерогенным действием. Мышьяк вызывает почечную недостаточность, приводит к умственным расстройствам. Селен и медь влияют на печень, серебро обесцвечивает кожу и глаза, а железо в избытке увеличивает восприимчивость организма к заболеваниям.

Все загрязнения природной воды можно разделить на несколько основных групп.

1. Консервативные поллютанты. К ним относятся разлагающиеся медленно и вовсе неразлагающиеся соединения. Это катионы металлов, в том числе радионуклиды, неорганические соли, хлорорганические пестициды и углеводороды, в частности нефть. При этом устойчивость органических соединений в природе снижается в следующем ряду: алкены > алканы > ароматика > алогенопроизводные.

В то же время эта группа загрязнений практически не удаляется в результате естественных процессов самоочищения. Однако их концентрация может снижаться за счет

разбавления, переноса, перераспределения, например между дном и водой.

2. Биогенные поллютанты. Это соединения азота и фосфора, а также большинство органических веществ. В водоеме очистка от них осуществляется за счет биохимических реакций и других процессов.

3. Водорастворимые вещества, не участвующие в биологическом круговороте, (например, ксенобиотики). Это в основном отходы промышленности, сельского хозяйства и бытовые сбросы (в развивающихся странах 90% сточных вод сбрасывается без обработки). Они удаляются в результате химических и биохимических процессов.

Загрязнение водоемов приводит к ряду экологических последствий:

- нарушению устойчивости экосистем;
- прогрессирующей эвтрофикации, появлению «красных приливов»;
- накоплению химических поллютантов и токсикантов в биоте;
- снижению ее продуктивности;
- провоцированию в ней мута- и канцерогенеза;
- микробиологическому загрязнению.

В частности, установлено, что многие микроорганизмы (например сине-зеленые водоросли) в водоемах обладают устойчивостью к тяжелым металлам, что способствует их размножению на фоне гибели остальных. При этом они способны выделять сероводород и другие опасные вещества, а также соединения, взаимодействующие с катионами металлов. Их метаболиты, как и сами паразиты, попадая в организм или на кожу, могут вызывать тяжелые заболевания (холеру, брюшной тиф, дизентерию и пр.), особенно характерные для жарких стран. Кроме того, загрязнения уничтожают саму водную флору и фауну. Так, за 20 последних лет 25% коралловых рифов исчезли и около 50% находятся под угрозой. А проблема загрязнения Байкала, Аральского моря и других внутренних водоемов, где на глубине около 10 м начинается слой мертвой воды? Ее решать надо срочно, иначе мы их просто лишимся.

Важнейшими принципами охраны вод являются следующие (по Константинову):

- предупреждение негативных последствий истощения и загрязнения источников чистой воды;
- водоохранные меры;
- повсеместность и местная дифференцированность;
- ориентация на специфические источники и причины загрязнений;
- научная обоснованность и действенный контроль водоохраных мероприятий.

Сами мероприятия по охране вод, в первую очередь подземных, подразделяются на профилактические, специальные, общие и конкретные. К профилактическим относятся:

- выбор места строящегося объекта;
- учет степени защищенности вод;
- оснащение специальным оборудованием;
- создание и соблюдение зон санитарной охраны;
- соблюдение режимов и норм;
- организация и ведение мониторинга.

Одной из современных проблем стало наличие в водоемах нефти и нефтепродуктов. Они попадают в воды Мирового океана в результате добычи и перевозки нефти, очистки от нее, от топлива танкеров и пр. В результате гибнет рыба и птица, от инфекционных заболеваний кожи, злокачественных опухолей и деформации скелета страдают морские животные. Наблюдается распространение ядовитых водорослей. Как итог — заболевают и гибнут, что особенно страшно, жители прибрежных территорий.

Международное сообщество бьет тревогу, принимая ряд соглашений и конвенций по защите водных бассейнов: в 1983 году принята Международная конвенция по предотвращению загрязнений морской среды, в 1984, 1992 годах — Конвенции по защите Балтийского моря и т. д.

Еще одной проблемой является сброс и захоронение радиоактивных отходов и ядерных реакторов, а также аварии судов и подводных лодок с такими реакторами. В частности, тяжелая обстановка сложилась в Баренцевом, Карском, Японском, Охотском и других морях, а также в

Северном Ледовитом океане. В итоге в 1972 году в Лондоне была подписана конвенция, запрещающая сброс на дно морей и океанов радиоактивных и химических отходов, а в 1982 году — Конвенция ООН по мирному использованию Мирового океана.

Но сброс поллютантов происходит не только в моря и океаны — сотни рек и озер сегодня стали токсичными как в результате сбросов и стоков, так и аварий на предприятиях. В России тяжелая ситуация отмечается на Волге, Амуре, в Северной Двине и ряде сибирских рек. Рейн стал для Европы чрезвычайно опасным. Только пожар 1986 года на складах химико-фармацевтической компании в Базеле (Швейцария) привел к гибели всего живого до города Карлсруэ (Германия). Даже подземные, в том числе артезианские источники оказались незащищенными от токсичных сбросов (тяжелых металлов, нефтепродуктов, нитратов и пр.). В результате в 1996 году 20 стран Европы договорились объединенными усилиями бороться за сокращение вредных выбросов в реки и озера (120 рек и 20 озер). Сегодня принятые рядом стран меры по очистке сточных вод приводят к заметному улучшению ситуации. Но и сами водные бассейны обладают способностью к самоочистке.

4.7. ОЧИСТКА И САМООЧИСТКА ВОДЫ

4.7.1. ОЧИСТКА ЗА СЧЕТ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

В целом все процессы очистки можно разделить на физические (физико-химические), химические и биохимические (микробиологические).

К физико-химическим процессам очистки относятся:

1. Испарение газов, в том числе поллютантов. При этом действует следующее правило.

Правило. *Чем ниже растворимость газа и выше давление его пара, тем легче он испаряется.*

К быстро удаляемым в результате испарения веществам относятся короткоцепные углеводороды и ароматиче-

ские соединения. В то же время медленно испаряются конденсированные циклы (полиароматические соединения), ДДТ, гексахлорбензол и пр.

2. Сорбция поллютантов. Это, как известно, связывание соединений с поверхностью или объемом сорбента (твердой фазы). Здесь действует следующее правило.

Правило. *Чем выше коэффициент распределения вещества между сорбентом и раствором, тем больше его связывание.*

Этот способ особенно важен для поверхностно-активных веществ (ПАВ, чем выше гидрофобность, тем больше сорбция) и веществ с растворимостью менее 0,001 М. К ним относятся различные детергенты, ароматические соединения, пестициды и другие вещества.

На примере хлорорганических соединений показано, что связывание путем сорбции приводит к их удалению из воды на 40% (в донные отложения), 10% оказывается в составе жировой ткани рыб, а остальные 50% выносятся со стоком воды.

3. Осаждение поллютантов. С процессом образования осадков связано следующее правило.

Правило. *Чем ниже произведение растворимости вещества, тем больше его в осадке (при данной концентрации ионов в растворе).*

Осаждением удаляются в первую очередь нерастворимые и малорастворимые соли (например, тяжелых металлов), реже кислоты и гидроксиды металлов. Заметим, что процесс осаждения нерастворимых гидроксидов алюминия или железа, захватывающих большинство примесей, лежит в основе очистки природной воды на станциях водочистки.

Обратный процесс растворения осадков интенсивно происходит при подкислении водоема (например, кислотными дождями) или при наличии в нем лигандов, образующих водорастворимые комплексы с катионами металлов (например, гуминовых и фульвеновых кислот).

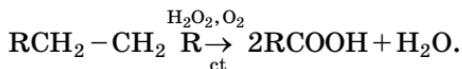
4.7.2. МИКРОБИОЛОГИЧЕСКАЯ ОЧИСТКА

Этот способ является одним из основных при самоочистке водоемов (главным образом от органики). Он заключается в превращении веществ посредством биохимических реакций с участием организмов, главным образом микроорганизмов. Здесь действует следующее правило накопления вещества в организме.

Правило аккумуляции. *Любое соединение поглощается организмом, если его концентрация в нем (так называемое сродство) может быть выше, чем в окружающей природе.*

В основе способа лежат ферментативные, главным образом окислительно-восстановительные, реакции и реакции гидролиза, протекающие активно в интервале температур 25–30°C (см. рис. 5).

Очевидно, что интенсивность удаления поллютантов данным способом зависит от численности микроорганизмов в водоеме, которая, в свою очередь, связана со многими факторами — температурой, рН, ОВП, наличием и составом пищи и др. Во многом она зависит и от природы (состава, структуры) самого загрязнителя. Так, данным способом нормальные алканы удаляются примерно за 3 недели, разветвленные углеводороды и циклоалканы значительно медленнее (месяцы), а ароматические соединения гораздо быстрее (до суток, кроме конденсированных циклов). Наиболее устойчивые алифатические связи способны разрушать гидробийонты, содержащие окислительные ферменты, в частности пероксидазы, например, по реакции



Особым случаем являются ароматические соединения, содержащие в своем составе амино- (NH₂), нитро- (NO₂) или диазогруппы (N = N). Такие вещества в результате микробиологических процессов способны превращаться в более токсичные формы, что представляет несомненную опасность (токсификация водоемов).

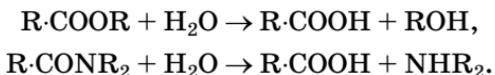
4.7.3. ХИМИЧЕСКАЯ ОЧИСТКА

К реакциям, лежащим в основе химической самоочистки природных вод, относятся реакции гидролиза, фотолиза, окисления–восстановления, а также процессы с участием свободных радикалов (так называемая радикальная самоочистка). Рассмотрим их последовательно.

Гидролиз. Гидролизу в основном подвергаются сложные эфиры и амиды фосфорной и карбоновых кислот, а также некоторые соли, для которых известно следующее правило.

Правило. *Гидролизу подвергаются соли слабых кислот или оснований. Он протекает тем глубже, чем меньше растворимость образующихся соединений.*

Реакции гидролиза эфиров и амидов кислот могут протекать без катализатора, но при его наличии ускоряются во много раз. Катализаторами могут выступать катионы водорода (кислая среда), гидроксид-анионы (щелочная среда), ферменты и т. д. В частности, гидролиз фосфор- и хлорорганических соединений ускоряется в щелочной среде. Общая схема таких реакций следующая:



Образование кислоты в результате таких реакций снижает рН водной среды, что может привести к ряду изменений в ней (см. — кислотные дожди).

Реакции гидролиза обычно протекают с невысокой скоростью. Время полного превращения исходных соединений — от нескольких часов до суток. Очевидно, это зависит от природы самих веществ, подвергающихся гидролизу. Например, тиофосфаты гидролизуются быстрее фосфатов.

Фотолиз. Фотолизом, как известно, называются реакции, протекающие под действием света. Здесь надо учитывать следующее правило.

Правило. *Скорость фотолиза тем выше, чем больше интенсивность освещения, время его действия, а также светопоглощающая активность раствора.*

К реакциям фотолиза относятся процессы с переносом заряда, гомо- и гетеролитического разрыва химических связей, образования возбужденных частиц и другие. Наиболее активным в этом плане является диапазон длин волн ультрафиолетового излучения 300–350 нм. Различают прямой фотолиз и сенсibilизированный. Последний протекает с участием определенных соединений (фотосенсibilизаторов), образующих в результате облучения активные формы, например активные формы кислорода (АФК), радикалы и др. Часто в роли сенсibilизаторов выступают гуминовые и фульвенные кислоты, максимум поглощения которых находится в области 365 нм.

Прямой фотолиз происходит интенсивно, когда соединение способно поглощать свет, например когда оно окрашено. Скорость реакции определяется также концентрацией поглощающего свет вещества и сенсibilизатора. Очевидно, что возрастание указанных показателей уменьшает время реакции.

Вода и содержащийся в ней кислород также способны подвергаться фотолизу при определенных условиях. Например, молекула воды может распадаться на водород и кислород при локальном повышении энергии в растворе (Воейков). Одним из основных продуктов фотолиза в воде является так называемый синглетный кислород ($^1\text{O}_2$) — мощный окислитель для соединений, содержащих в своем составе непредельные группы, ароматические циклы, тиольные группы и др. К этим соединениям относятся липиды, стероиды, аминокислоты, а также пестициды (фурановые, сульфидные соединения и пр.). Однако синглетный кислород практически не затрагивает алифатические углеводороды, эфиры и спирты. Еще одним продуктом фотолиза воды является перекисный радикал $\text{OH}\cdot$. О нем речь пойдет дальше.

В заключение заметим, что поскольку речь идет о фоточувствительных процессах, то наиболее интенсивно они протекают в дневное время на солнце. Облачность, пыль, дым в воздухе резко снижают их скорость. Понижается она и с увеличением толщины слоя воды. На глубине в несколько метров такие реакции практически не наблюда-

ются. Следовательно, они характерны в основном для поверхностных слоев воды и неглубоких водоемов.

Окисление. Как известно, в природе не бывает отдельно окислительных и восстановительных процессов, а протекают только окислительно-восстановительные реакции. Здесь действует следующее правило.

Правило. *Чем выше окислительно-восстановительный потенциал соединения (чем больше разность потенциалов двух участников реакции), тем больше его окислительная активность.*

В качестве окислителей в природной воде могут выступать:

- 1) катионы металлов переменной валентности, находящиеся в высокой степени окисления (в основном Fe^{3+} и Cu^{2+} и их комплексы);
- 2) свободные радикалы;
- 3) кислород, пероксид водорода и другие АФК.

Первые в основном участвуют в реакциях с поллютантами-восстановителями и лигандами в комплексах, вторые реагируют с неопредельными связями, гидроксильными и другими группами в органических соединениях с подвижным водородом, третьи также обладают избирательностью. Для них одной из характерных реакций является присоединение к свободным радикалам и неопредельным связям с образованием АФК. Такие реакции наблюдаются, например, в процессе перекисного окисления липидов (ПОЛ).

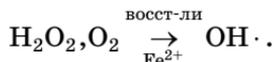
Выбор пути, по которому пойдет процесс окисления поллютанта, очевидно, зависит от его природы, наличия конкретных окислителей, их концентрации и других условий, т. е. в природе он полностью определяется данным водоемом, а в технике — создаваемыми искусственно условиями. Например, столь распространенное в ряде стран обеззараживание природной воды хлорированием может вести к образованию хлорорганических соединений, являющихся аналогами пестицидов (ядохимикатов). По данным американских ученых, использование такой воды в пищу увеличивает вероятность заболевания раком на 20–40%. Поэтому все активнее в практику внедряются методы озонирования и биоочистки воды.

Радикальная очистка. Цикл перекисного радикала.

Процессы радикального самоочищения водоемов связывают в первую очередь с наличием в них перекисного радикала $\text{OH}\cdot$. Его цикл в воде приведен на рис. 17.

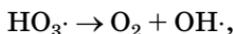
Образование перекисного радикала в воде может происходить в результате следующих процессов:

1. Каталитическое восстановление пероксида водорода (или его фотоинициированный распад) и кислорода:



2. Растворение активных газов (O_3 , $^1\text{O}_2$, NO_2 , $\text{HO}_2\cdot$ и др.) в воде с последующим превращением.

В частности, озон может накапливаться в поверхностных слоях воды до концентрации 10^{-8} М. В воде протекает цепочка его превращений с образованием АФК, в том числе перекисного радикала:



Суммарная реакция: $2\text{O}_2 \rightarrow 3\text{O}_2$.

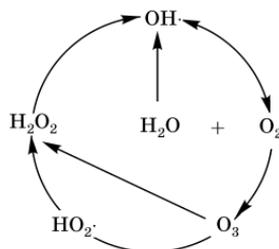
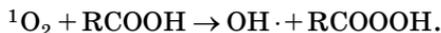


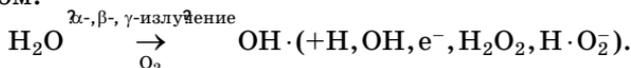
Рис. 17
Цикл перекисного радикала в водоеме

Кроме того, к образованию $\text{OH}\cdot$ часто приводит активный, так называемый синглетный кислород, например:

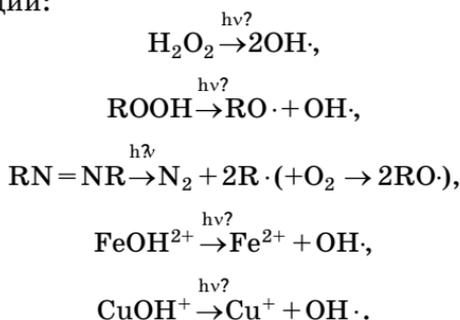


3. Радиационное инициирование. Радиоактивное излучение, приводящее к образованию свободных радикалов в воде, является естественным фоном водоема. Его возрастание связано с локальным загрязнением радионуклидами. Так, в норме скорость образования радикалов составляет около 10^{-18} М/с, однако в зоне Чернобыльской аварии она на порядки выше и достигает 10^{-9} М/с.

Суммарная реакция может быть записана следующим образом:

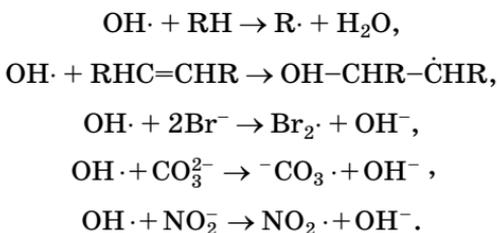


4. Фотохимическое инициирование. Под влиянием облучения, как уже отмечалось, может протекать гомолитический разрыв ковалентных связей, а также реакции с переносом электронов. Они протекают с участием возбужденных частиц. Все это может приводить к образованию $\text{OH} \cdot$ и других радикалов. Приведем несколько примеров таких реакций:



Кроме указанного к появлению перекисного радикала приводят кавитационные эффекты в воде (схлопывание микропузырьков, образуемых во время дождя, водопада и пр.) и биологическая эмиссия. В частности, некоторые водоросли и грибки способны разрушать пероксид водорода до $\text{OH} \cdot$, а бактерии превращать оксид азота в $\text{NO} \cdot$, который также образует $\text{OH} \cdot$.

К соединениям, с которыми реагирует перекисный радикал (они называются его «ловушками»), относятся хлорорганические вещества, красители, неорганические и органические восстановители. Например:



Основным показателем концентрации таких «ловушек» в воде является скорость восстановления в ней пероксида водорода:

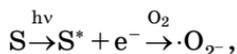
$$V = \sum k_i [S_i].$$

Здесь $[S_i]$ — суммарная концентрация всех восстановителей, реагирующих с $\text{OH}\cdot$ в воде.

Это наряду с ХПК и БПК одна из важнейших характеристик воды. В норме этот показатель составляет около 10^5 с^{-1} . Если он ниже 10^4 с^{-1} , то вода считается чистой, а если выше 10^6 с^{-1} , то грязной. Кроме того, в нормативах многих стран приведены предельно допустимые концентрации (ПДК) отдельных соединений в воде. В частности, для пестицидов в странах ЕС принята ПДК 0,5 мкг/л.

Радикальная очистка. Цикл $\cdot\text{O}_2^-$. Кроме перекисного радикала в процессах радикальной самоочистки воды участвуют и другие радикалы, например продукты гомолитического разрыва ковалентных связей в молекулах органических растворителей, часто попадающих в водоемы со стоками. Но одним из наиболее активных является супероксид анион-радикал $\cdot\text{O}_2^-$. Его цикл — один из важнейших, определяющих состояние водоема (рис. 18). Он регулирует концентрацию и окислителей, и восстановителей, в том числе поллютантов.

Его образование мы неоднократно наблюдали в различных процессах, например:



Рассмотрим важнейшие реакции с участием супероксид анион-радикала:

1. Реакции с ионами переменной валентности, например:

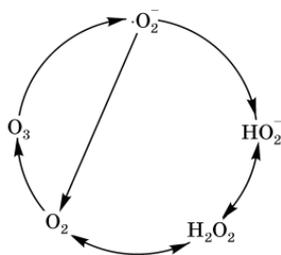
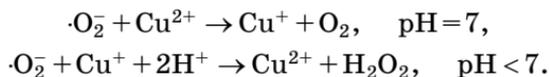
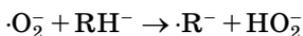
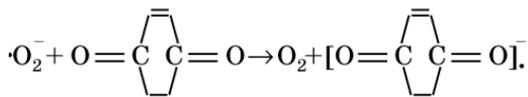


Рис. 18
Цикл супероксид анион-радикала в водоеме

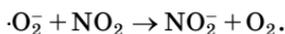
2. Реакции с донорами водорода (фенолами, аминами, спиртами и пр.):



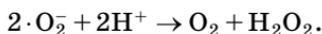
3. Реакции с окислителями, например:



4. Реакции с оксидами азота, например:



5. Реакции дисмутации (диспропорционирования), протекающие с участием катализаторов, например:



4.8. СТРАТЕГИЯ ВОДОПОЛЬЗОВАНИЯ

Обсуждая проблему очистки воды от загрязнений, не будем забывать и об их антропогенных источниках. Важно отметить, что человек несет ответственность за 80% загрязнений Мирового океана. Причем на 2,5% оно происходит из-за очистки танкеров, а на 70% и более из-за сбросов в реки. Большой вред наносят так называемые глубоководные кладбища. Так, захоронение радиоактивных отходов неоднократно приводило к массовой гибели морских животных и рыбы, а ведь на планете 439 ядерных реакторов, которые производят 10 тыс. т таких отходов в год. Следовательно, эти источники поллютантов гидросферы надо серьезно ограничивать, что и делают в ряде стран.

Водоемы способны справиться со многими загрязнителями, но их возможности не безграничны. Особенно это касается широко используемых пресноводных источников, в частности малых рек, число которых сокращается. Если количество пресной воды на планете остается постоянным, то ее качество все время снижается. Сегодня при объеме потребляемой воды от 3 до 700 л в сутки на

человека (в зависимости от региона) потребность в ней не удовлетворяется у 20% городского и 75% сельского населения.

Водопотребление существенно зависит от экономического развития региона. Например, в Канаде промышленность потребляет 84% всего водозабора, а в Индии — 1%. Всего в мире промышленность использует около 20% потребляемой воды. Наиболее водоемкие отрасли — сталелитейная, химическая и нефтехимическая, целлюлозно-бумажная и пищевая. Они забирают около 70% промышленной воды.

Но главный потребитель воды — сельское хозяйство (70–80% всей пресной воды). При этом орошаемое земледелие, занимая лишь 15–17% площади сельскохозяйственных угодий, дает половину всей продукции. Например, 70% посевов хлопчатника в мире существуют только благодаря орошению. Важно отметить, что в сельском хозяйстве большая часть воды не возвращается в реки, а уходит на испарение и образование растительной массы.

Еще раз отметим, что запасы пресной воды на Земле не безграничны, но мы их постоянно сокращаем, уменьшая количество пригодной для потребления воды, загрязняя ее. Человеку надо изменить стратегию водопользования, в противном случае ресурсы полного речного стока скоро будут исчерпаны. В первую очередь надо изолировать антропогенный цикл воды от природного. Это означает переход практически на замкнутое (маловодное, малоотходное) водоснабжение, а в перспективе — на безотходные технологии.

Но пока этого нет, надо более жестко законодательно ограничить сбросы отходов в реки и другие водоемы, осуществляя постоянный их мониторинг. Так, только с речным стоком в Мировой океан поступает ежегодно до 2 млн т свинца, до 20 тыс. т кадмия, до 10 тыс. т ртути. Это привело к тому, что первичная биопродукция океана уже сократилась на 10%, а в ближайшие 20–25 лет ожидается дальнейшее ее понижение на 20–30% в связи с прогнозируемым ростом загрязнений гидросферы в 1,5–3 раза. Причем наибольший уровень загрязнений — прибрежных

вод — и внутренних водоемов, т. е. там, где водой постоянно пользуются человек и животные.

Последствия потребления загрязненной воды самые печальные — гибель флоры и фауны. Например, чайки погибают, употребляя в пищу рыбу, содержащую ДДТ. Пестициды вызывают снижение воспроизводства из-за гибели яиц и зародышей (тонкая и хрупкая скорлупа яиц). Нефтепродукты в воде приводят к гибели рыбы и животных. Так, в Северном море практически исчезли лосось, осетр, скат и др. Многие реки нашей страны, кроме нефтепродуктов, загрязнены еще и фенолом, соединениями азота и фосфора, медью, цинком и другими тяжелыми металлами. В итоге, например, в Волге практически нельзя встретить здоровую рыбу. А человек? По оценкам ВОЗ, около 80% заболеваний вызвано потреблением некачественной воды.

4.9. ВОДОПОДГОТОВКА И ОЧИСТКА ВОДЫ

Существуют три основных метода понижения загрязненности водоемов:

- сброс загрязненной воды в более крупные водостоки (этот метод используется примерно для 10% стоков, а в некоторых регионах — до 100%);
- удаление из воды примесей в результате первичной обработки (30% стоков) — отстаивание плюс фильтрация, иногда хлорирование, вторичной обработки (60% стоков) — первичная обработка плюс аэробное разложение органического вещества (активный ил + воздух); третичной обработки (около 10%) — вторичная обработка плюс осаждение металлов и органических соединений;
- сокращение объема сточных вод путем изменения технологии (наиболее перспективный).

Таким образом, первичная очистка заключается в механическом удалении примесей, вторичная — в снижении содержания органических веществ с помощью биокомпонента, а третичная — в специальных методах, к которым

относятся также ионный обмен, добавление коагулянтов, использование активированного угля и др. Качество полученной воды, в частности степень ее загрязненности, оценивается по трем показателям вредности: санитарно-токсикологическому, общесанитарному и органолептическому. Вода считается некачественной, если превышен хотя бы один показатель.

Получение чистой, в частности водопроводной (питьевой), воды также связано с рядом процессов водоподготовки. Это очистка заборной воды, заключающаяся в механической фильтрации (часто после добавления коагулянта, например сульфата алюминия, в щелочной среде образующего нерастворимый гидроксид алюминия), отстаивании, вторичной фильтрации через слой песка, аэрации и стерилизации (хлором, хлорной известью, озоном).

В ряде случаев приходится решать проблему умягчения или обессоливания воды. Первое достигается осаждением нерастворимых соединений кальция и магния, что хорошо известно из общего курса химии как избавление от временной и постоянной жесткости. Второе заключается либо в получении нерастворимых осадков, либо в так называемом обратном осмосе (прохождении через мембрану чистой воды, но не примесей), либо в дистилляции, т. е. отгонке воды.

Безусловно, чистая вода может быть в принципе взята из незагрязненных наземных и подземных источников, но их число все время сокращается. При этом одна из проблем, связанная с забором подземных вод, вызвана понижением их уровня. Однако этот вопрос выходит за рамки данного курса.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Качественные и количественные характеристики гидросферы.
2. Основные компоненты воды, их роль.
3. Главные катионы, их функции.
4. Главные анионы, их функции.
5. Цикл пероксида водорода, его экологическая роль.
6. Основное равновесие в водоеме, его поддержание.
Трофические цепи, их функции. Примеры трофических цепей.

7. Третье положение экологии, его суть и проблемы.
8. Донные отложения, их экологические функции.
9. Эвтрофирование водоемов — причины и следствия.
10. Проблема сине-зеленых водорослей.
11. Загрязнение водоема, его последствия.
12. Сохранение водоемов и водоохранные мероприятия.
13. Самоочистка водоемов, виды и их характеристика.
14. Основные правила растворения, сорбции, гидролиза, фотолиза и окисления.
15. Циклы пероксида водорода, перекисного и супероксид анион-радикалов, их роль в водоеме.
16. Микробиологическая очистка, ее особенности.
17. Стратегия водопользования и водоподготовка.

ЭКОХИМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ И ПРОБЛЕМЫ ПЕДОСФЕРЫ

5.1. ПОЧВА

Педосфера (в некоторых пособиях — эдасфера), или *почва*, — это структурно-функциональный биокосный компонент природы.

Термин «почва» ввел наш соотечественник В. В. Докучаев. Педосфера является связующим звеном между другими сферами Земли — атмосферой, гидросферой, литосферой и биосферой, поскольку играет важную роль в процессах обмена между веществом и энергией. Например, ее «дыхание» (микроорганизмы, водоросли, простейшие) определяющим образом влияет на состав приземного слоя атмосферы, а ее влага — на состав грунтовых и других вод. Таким образом, эдафическим процессам отводится значительное место в экологии нашей планеты.

Почва сформировалась в течение примерно 400 млн лет (а нарушенная и истощенная почва восстанавливается не менее чем за 100 лет). Главными почвообразующими организмами являются растения, в наибольшей степени травянистые и листовенные, а также микроорганизмы и животные. Кроме того, в ее образовании играют роль состав и структура горных пород, рельеф местности, а также возраст поверхности и климат. С ним связана энергетика почвы, ее тепловой и водный режим, в частности запасы влаги в ней, а также глубина промерзания, развитие почвы и ее сохранение (бури, смерчи и пр.). Еще одним фактором почвообразования с недавних пор стал человек, его хозяйственная деятельность.

Чем же является почва сегодня в природе, какова ее экологическая роль? Во-первых, она — среда для микро-

организмов и, во-вторых, — источник пищи для растений, животных, человека. В процессе фотосинтеза на суше ежегодно образуется более 100 млрд целлюлозы и другого органического вещества. Почва служит источником получения 98% продуктов питания человека, которые содержат 88% необходимой ему энергии. Еще 10% энергии дают пастбища, леса и 2% — Мировой океан. Человек использует для своих нужд, главным образом в пищу, 800–900 млн органического вещества, но это вдвое ниже физиологической нормы для современного населения Земли. В результате примерно треть человечества постоянно голодает.

Может быть, больше сеять сельскохозяйственных культур? Но почва не в состоянии постоянно их питать. В частности, при урожае картофеля 136 ц/га она теряет около 48,4 кг азота, 19 кг фосфора и 86 кг калия. В результате почва истощается за несколько лет непрерывных посевов и полностью исчезает в результате ускоренной эрозии за 10–30 лет.

5.2. РЕСУРСЫ ПОЧВЫ

Сначала несколько цифр. Площадь поверхности Земли составляет 134 млн км². Из них только 86 млн км² являются продуктивными. Все сельскохозяйственные земли составляют 45 млн км², где обрабатываемая площадь — около 15 млн км², причем она непрерывно растет. Все остальное занимают леса, степи, пустыни, полупустыни и т. д. Например, ледники имеют суммарную площадь 14 млн км².

В нашей стране около 100 типов почв — от чернозема до солончаков. Из них 15% плодородные (чернозем, каштановые, серые). Однако 20% этих земель поражены эрозией и не подлежат восстановлению, 30% засолены, 30% кислые, еще 5% — заболоченные. То есть для сельского хозяйства остается только 15% потенциально плодородных площадей (рис. 19).



Рис. 19
Ресурсы почвы

По оценкам ученых, человек за время своего существования на Земле разрушил около 20 млн км² почвы. И эта цифра с каждым годом растет. Поэтому для освоения новых площадей постоянно идет вырубка лесов (со скоростью примерно 20 га в мин). В результате площадь, например, тропических лесов сокращается со скоростью 1% в год, а их общая площадь — на 16 млн га в год (это равно территории Греции). Только в XX веке было уничтожено более половины всех лесов, из них 80% девственных. Однако все это не решает проблему. Нужны мероприятия по сохранению почвы, а для этого надо знать, что же определяет ее плодородие.

5.3. ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПЛОДОРОДИЯ

Плодородие — способность почвы удовлетворять потребности растений в пище, воде, воздухе, температуре и пр., т. е. способствовать их жизнедеятельности.

В почве непрерывно протекают физико-химические, химические и биологические процессы. В результате идет ее обогащение органическими и неорганическими веществами. В то же время существует определенное равновесие между этими группами соединений, определяемое биотическим круговоротом веществ, который поддерживает ее состав неизменным (второе положение экологии). Именно постоянство состава и структуры почвы обеспечивает постоянство ее свойств, в том числе плодородие.

Почва — это многофазная гетерогенная система. Она состоит из нескольких компонентов или сред (рис. 20):

- твердого компонента (минерального «скелета») — 50–60% объема;
- органического и биокомпонента («тело» почвы) — 10%;
- жидкости (почвенный раствор — ее «кровь») — 15–25%;
- газ (почвенный воздух — ее «дыхание») — 25–35%.

Рассмотрим их последовательно.

1. Минеральный состав почвы — это в первую очередь кварц (SiO₂) и алюмосиликаты (mSiO₂·nAl₂O₃·kH₂O). Именно эти компоненты, размер их частиц (песчаная, суглини-



Рис. 20
Компоненты почвы



Рис. 21
Слой почвы

стая, глинистая почва) определяют интенсивность почвенных процессов, связанных с превращением, накоплением и переносом веществ.

2. Органический и биокомпонент.

2.1. Органический компонент — это гумусовые вещества, являющиеся питательными для микроорганизмов. Они — продукты превращения органических остатков растений и животных — играют структурообразующую роль, т. е. закрепляют почву.

Важно отметить, что плодородие определяется в первую очередь наличием гумусовых веществ в почве. Они (предшественники угля, нефти, природного газа) достаточно химически и биологически устойчивы. Эти соединения растворяются в разных растворителях (водорастворимые, спирторастворимые, растворимые в кислых или щелочных растворах), но имеют приблизительно постоянное соотношение углерода, водорода и кислорода. К ним относятся гуминовые и фульвеновые кислоты, содержащие в своем составе различные функциональные группы (ОН, СООН, СО, ОСН₃ и др.). Кроме того, они содержат азот, серу, фосфор и другие элементы.

2.2. Биокомпонент — это растения, микроорганизмы и животные. Они формируют структуру почвы, осуществляют синтез, превращение и разложение веществ, их перенос, аккумуляцию и т. д.

Любая почва состоит из отчетливо выраженных слоев, или почвенных горизонтов (рис. 21). Они отличаются по составу, структуре и свойствам.

Последовательность почвенных горизонтов называется почвенным профилем. Он характерен для каждой природно-климатической зоны и определенного рельефа местности.

Как уже отмечалось, основную почвообразующую роль на планете играет лесная растительность (ее около 10^{12} т). Здесь приоритет имеет опавшая листва, которая и формирует почву. Второй по значимости является травянистая растительность (около 10^{11} т). На третьем месте стоят микроорганизмы (бактерии, грибы, водоросли). Их содержится около 1 млрд штук в 1 г почвы, а на 1 га приходится около 2 т.

5.3.1. БИОКОМПОНЕНТ ПОЧВЫ

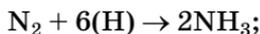
Важную роль в образовании почвы играют организмы, в частности разлагающие органические вещества (гумификация). Здесь встречаются споро- и неспорообразующие бактерии, актиномицеты и грибы (плесень), а также почвенные простейшие (амебы, инфузории, жгутиковые). Биомасса микроорганизмов составляет 10–100 г/м² (Одум). Особенно важную роль в почве играют бактерии. Они, как и другие организмы, подразделяются на гетеротрофные и автотрофные. Среди них встречаются аэробные и анаэробные, в том числе патогенные, например возбудители брюшного тифа, бруцеллеза. Из других организмов-паразитов следует отметить гельминты.

Аэробные — микроорганизмы, использующие для дыхания (окислительных процессов) кислород воздуха.

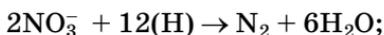
Анаэробные — использующие другие окислители, например азот, нитраты.

Гетеротрофные бактерии восстанавливают неорганику, превращая органические вещества (например, останки и продуценты автотрофов) в неорганические соединения (причем более растворимые в менее растворимые формы). Среди них различаются:

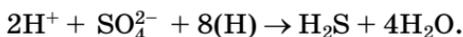
аммонификаторы, превращающие атмосферный азот в аммиак:



денитрификаторы, превращающие нитрат-анион в азот:



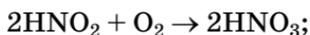
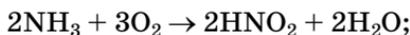
десульфификаторы, превращающие серную кислоту и ее соли в сероводород:



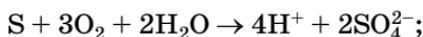
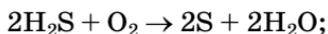
В этих реакциях используются атомы водорода (H), главным образом органических соединений.

Автотрофные бактерии окисляют малорастворимые неорганические соединения (в том числе продуценты гетеротрофов), превращая их в более растворимые формы и органику. Среди них различаются:

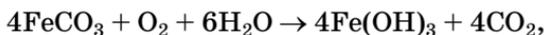
нитрофикаторы, превращающие аммиак в азотную кислоту в соответствии с реакциями:



серобактерии, превращающие серу и сероводород в серную кислоту:



железобактерии, переводящие железо (II) в железо (III):



а также *азотфиксирующие*, т. е. связывающие свободный азот, переводя его в азотсодержащие соединения.

Кроме того, в почве находятся микроскопические грибы (плесень и др.), которые в аэробных условиях разлагают клетчатку, лигнин и другие устойчивые органические соединения, т. е. минерализуют гумус, а также водоросли ($10^4 - 10^6$ клеток на грамм почвы). В результате происходит круговорот химических соединений в системе почва — растения — микроорганизмы (и животные) — почва. Это

малый, или биологический круговорот по Вильямсу. Именно он поддерживает плодородие почвы.

Еще раз отметим, что хорошая гумусовая почва формируется приблизительно за одно–несколько столетий, а порой и дольше. Например, образование плодородного гумусового горизонта мощностью 20–25 см происходит в течение 2–7 тысячелетий. В то же время ее полное разрушение, в первую очередь связанное с потерей гумуса, может происходить за несколько лет.

Дегумификация приводит к дисбалансу почвы, нарушению ее свойств, главным образом к снижению плодородия. К этому ведет распашка без внесения удобрений и посева, нарушение качества и количества поступающих в почву веществ, несбалансированные ирригационные мероприятия и т. д. В результате микроорганизмы, не получая нужных веществ, начинают использовать гумус. Это приводит к ухудшению структуры, снижению водопоглощения почвы. В итоге уменьшается плодородие и, если вовремя этот процесс не остановить, происходит эрозия почвы.

5.3.2. ВОДА В ПОЧВЕ. ЭРОЗИЯ

Эдафические экосистемы не могут существовать в отсутствии воды. Она здесь играет ту же роль, что и в экологии в целом (растворитель, переносчик, аккумулятор веществ, среда для протекания биохимических процессов, биоген, терморегулятор). В слое почвы толщиной около 2 м воды содержится около 10%, причем в профиле почвы — четыре влагосодержащих слоя (см. рис. 21):

первый — поверхностный, связанный с осадками, испарением, стоком воды;

второй — верхний, связанный с корневой системой растений;

третий — нижний, где осуществляется фильтрация воды;

четвертый — грунтовые воды.

Агрономические мероприятия влияют на почву, количество влаги в ней. Такое влияние можно разделить на две составляющие. Первая — это влияние на факторы, опре-

деляющие плодородие (органический, минеральный состав, pH, влажность), вторая — воздействие на структуру почвы. В частности, существенными воздействиями, нарушающими баланс воды, являются вырубка лесов, ирригация, осушение, полив. При избыточном поливе почва, ее гумус выносятся водой в русло рек и тем самым теряются, к.п.д. такого орошения не превышает 30–40%. Кроме потери гумуса почвы несбалансированные ирригационные мероприятия приводят к ее засолению и заболачиванию. В результате на фоне постоянного роста орошаемых земель (1 млн га в год) идет и их потеря — 8–10 лет несбалансированного орошения приводят практически к полному исчезновению почвы. Этот процесс вызывает уменьшение площади плодородных почв на Земле на 100 тыс. га ежегодно.

Поливные воды несут до 0,3 г/л солей. В результате испарения и впитывания воды они накапливаются на поверхности, причем большинство солей вредно для растений. Это карбонаты натрия, магния, кальция, а также сульфат и хлорид натрия. Наиболее опасным является засоление содой Na_2CO_3 , поскольку это приводит к подщелачиванию почвы (до pH 9–10). В результате из нее удаляется органика, что резко ухудшает структуру. Избежать этого можно, повысив культуру орошения, т. е. осуществлять дозированный полив с использованием закрытых труб, дренажей и пр.

Заболачивание характерно для лесных зон, где умеренная температура сочетается с большим количеством осадков и слабым испарением. Ему подвержены главным образом низкие участки, где высокий уровень грунтовых вод. Часто оно наблюдается в районе водохранилищ, причем к заболачиванию может приводить сплошная рубка леса в таких районах. В целом болота играют значительную гидрологическую и климатообразующую роль, но их осушение — источник дополнительного использования почв. Так что в этом случае надо соблюдать некий оптимум, главным образом не допускать дополнительного заболачивания. Предупреждающие меры связаны с рациональной мелиорацией, регулирующей водный режим.

Одним из наиболее опасных факторов, разрушающих почву, является ее эрозия.

Эрозия — это разрушение и вынос почвы и рыхлых пород водой (водная эрозия) или ветром (ветровая эрозия).

Каждые 50 лет площадь почвы, подвергнутой эрозии, на Земле увеличивается в 10 раз. Она уносит с почвой биогены (фосфор, калий, натрий, кальций, магний) в большем количестве, чем вносится с удобрениями, что также нарушает структуру почвы. Продуктивность такой почвы снижается на 35–70%, причем в течение нескольких лет.

Ветровая эрозия — это вид эрозии, характерный для засушливых районов. Рубка леса, удаление растительного покрова, неправильная обработка и перевыпас скота в такой местности приводят к возникновению подвижных участков почвы. В результате отсутствия в ней нужного количества влаги (а также органики) и сильных ветров возникает этот вид эрозии. Одна буря, по оценкам ученых, выносит до 20 см слоя почвы. Единственным способом защиты является ее закрепление. Это специальные пропитки, покрытия, лесополосы, травяной покров и пр.

Водная эрозия — это продукт как природной, так и антропогенной деятельности (вырубка лесов, выпас скота, нерациональные ирригационные мероприятия, вызывающие разрушение структуры почвы). Эта эрозия распространена гораздо шире, чем ветровая, и связана с удалением почвы путем ее смыва (плоскостная, струйчатая, овражистая эрозия), а также выщелачивания и вымывания из нее органики. На скорость этого процесса влияет характер почвообразующих пород, тип почвы, ее структура, покрытие растительностью, угол наклона поверхности. Она характерна для возвышенной местности.

Водную эрозию вызывают природные явления, связанные с интенсивным водостоком: сильные и продолжительные дожди, паводки, сели, оползни и т. д., а также обильный полив и переувлажнение. Покрытие почвы растениями является сегодня не единственным методом борьбы с водной эрозией. Задержать воды, главным образом талые, удастся посадкой лесополос, посевом многолетних трав,

севооборотом (сменой посевных культур), а снизить и направить водные потоки можно созданием валов, каналов.

Кроме эрозии прямое удаление почв связано с промышленным и жилищным строительством (во многих странах Европы до 10% земли занимают населенные пункты), созданием водохранилищ, открытой добычей полезных ископаемых, а также с массовыми лесоразработками и захоронением отходов открытым способом (свалки и пр.), т. е. с прямым ее загрязнением.

5.4. ЗАГРЯЗНЕНИЕ ПОЧВЫ

Как уже отмечалось, одним из важнейших воздействий на почву сегодня является антропогенное. Это, наряду с прочим, и применение удобрений. Их часто вносят или меньше, чем изымается биогенов с урожаем, или больше. Норма азота, фосфора и калия — 9 кг в год на человека (по нитратам — около 200 мг на 1 кг живого веса, по нитридам — около 10 мг на 1 кг живого веса). Для этого азотные, фосфорные и калийные удобрения надо вносить в количестве примерно 100 кг на 1 га в год. Но не все, что вносится, утилизируется в почве. Около 50% (а в некоторых случаях до 90%) составляют потери.

Кроме удобрений, почва загрязняется ядохимикатами, бытовыми и промышленными отходами, а также транспортом. В частности, вдоль дорог концентрация свинца в почве на порядок и более превышает среднюю по региону. Особо опасными являются радиоактивные отходы, кроме всего прочего, сохраняющиеся длительное время, т. е. десятки и даже сотни лет, а также способные распространяться как на значительные расстояния, так и вглубь (до 1 км), загрязняя грунтовые и артезианские воды.

5.4.1. ПРОБЛЕМА АЗОТНЫХ УДОБРЕНИЙ

Как известно, потеря почвой азота особенно опасна. Это приводит к торможению роста и делению растительных клеток, поскольку азот нужен для синтеза белков, хлорофилла, при этом снижается и производство органического

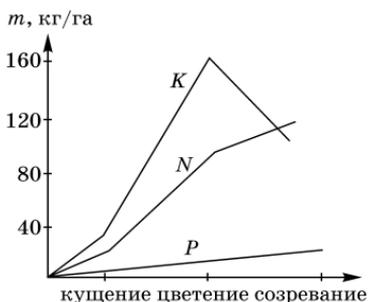


Рис. 22
Потребность растений в
элементах

вещества. Следует отметить важность внесения азота и других биогенов на определенных стадиях развития растений. Это отчетливо видно на рис. 22. Из него следует, что все удобрения особенно нужны на стадии роста.

Кроме недостатка удобрений, опасен и их избыток. Так, увеличение в 1,5 раза количества многих из них по

сравнению с нормой приводит не к увеличению, а к снижению урожайности (внешне это выражается в полегании посевов), а двойной избыток может снижать всхожесть семян. Причем такой избыток приводит к вымыванию биогенов, например азота в виде нитратов, и их попаданию в водоемы со всеми вытекающими последствиями.

Таким образом, следует уяснить, что значительный избыток удобрений не дает пропорционального прироста урожая. Так, учеными США показано, что пятикратное увеличение количества азотных удобрений даже в оптимальных условиях (нужная фаза роста, отсутствие вымывания, требуемая температура и влажность) увеличивает урожайность лишь на 30%. А ежегодный избыток азота, вносимого в почву во всех странах, составляет около 9 млн т. Куда же он девается? Кроме всего прочего, он оказывается и у нас на столе.

Проблема избыточного внесения удобрений в почву — это и проблема увеличения их производства. В результате — увеличение выбросов, например соединений азота в промышленности азотных удобрений (до 50%). А это, кроме газообразных отходов, также нитраты и нитриты, оказывающиеся в сточных водах, а следовательно, в избытке в почве и продуктах питания.

Заметим, что и те и другие оказывают серьезное негативное воздействие на животных. Причем, нитраты в организме превращаются в нитриты, которые в пять раз опаснее. Они влияют на дыхание и обмен веществ, приво-

дят к сердечной недостаточности. А сами нитриты в кислой среде превращаются в нитрозамины — сильнейшие канцерогены, вызывающие рак органов пищеварения. Подсчитано, что выброс 1500 г нитратов и нитритов в год в данном регионе может вызвать рост раковых заболеваний у населения на 5%. Кроме этого, избыток азота в почве стимулирует образование микотоксинов почвенными грибами, которые также являются канцерогенным фактором.

Важно также отметить, что наличие нитратов и нитритов в пищевых продуктах ухудшает их качество, снижает устойчивость при хранении, уменьшает пищевую ценность, например понижает процент сахара в сахарной свекле. Увеличение процента азота приводит к потере гумуса почвой, снижению доли микрофлоры в ней, а его удаление в атмосферу — к увеличению в ней концентрации оксидов азота, например веселящего газа.

5.4.2. ДРУГИЕ УДОБРЕНИЯ. ТЯЖЕЛЫЕ МЕТАЛЛЫ

Фосфор находится в почве в избыточном количестве, но доступно, т. е. в растворимой форме содержится только 10–20%. В результате его приходится вносить дополнительно в виде удобрений. Растениям он просто необходим, особенно в определенных фазах (рис. 22). Установлено, что в норме соотношение азота, фосфора и калия в почве должно быть от 1:1:1 до 1:2:2,5.

Следует отметить, что избыток фосфора нетоксичен для организмов, главным образом растительных. Но он приводит, с одной стороны, к возрастанию в почве сопутствующих ему фтора и мышьяка, а с другой — к засолению почвы (зафосфорачиванию) и выносу соответствующих соединений в водоемы со всеми вытекающими негативными последствиями.

У животных и человека хроническое отравление фосфором проявляется в желудочных болях и пожелтении кожи. При этом наблюдается потеря аппетита и замедление обмена веществ. Также отмечается повышенная

деформация и хрупкость костей, снижение сопротивляемости инфекциям.

Калий — один из самых необходимых элементов для растений. Он требуется в больших количествах на всех стадиях их развития (см. рис. 22). Увеличение внесения калия, как правило, не несет негативных последствий, однако сопровождается ростом выноса и его самого в виде катиона и его соединений.

Кроме указанных биогенов, растениям требуется сера, например в виде сульфат-аниона, особенно на стадии цветения. Однако ее избыток приводит к подавлению фотосинтеза. Органические удобрения, которые вносятся постоянно, особенно в частных хозяйствах, также вредны в избытке. Это приводит к росту микроорганизмов, в том числе патогенных, и в почве, и в воде, куда они попадают со стоками.

В составе многих ядохимикатов и отходов, главным образом промышленных, а также в природной воде часто встречается фтор и его соединения. Он вызывает поражение зубов при ежедневном поглощении с пищей (и в составе зубных паст) в количестве около 0,1 мг на 1 кг живого веса. Причем он может привести и к развитию остеосклероза (более 0,25 мг на 1 кг живого веса).

У растений фтор вызывает характерные повреждения. У хвойных наблюдается побледнение, а затем потемнение концов игл, и они начинают опадать, как листья у лиственных. При этом снижается интенсивность питания, что приводит к замедлению роста, снижению производительности, к высыханию и гибели.

У животных хроническое отравление фтором известно как промышленный флюороз. Он возникает при поглощении кормов и воды, содержащих этот элемент в избытке. Симптомы этого заболевания — разрушение зубов и костей, а последствия — нарушение приема пищи, заболевание органов пищеварения, снижение продуктивности и плодовитости.

Тяжелые металлы (ртуть, свинец, кадмий и др.) оказываются в почве главным образом в процессе внесения в нее золы, содержащей их в количестве примерно 500 г/т.

В частности, из 1 т угольной золы можно выделить 3 кг сурьмы, 7 кг хрома, 20 кг цинка, 2 кг иттрия, 2 кг кобальта, 47 кг германия, 30 кг свинца, 20 кг марганца, 16 кг никеля, 35 кг титана, 25 кг ванадия и т. д. Кроме того, они попадают в почву в результате сжигания топлива. В результате из 5 млрд т сожженного топлива на поверхность попадает 1 млн т тяжелых металлов. В результате только свинца природа получает около 250 тыс. т в год. Большинство этих металлов оказывается в воде в растворимой форме (в кислой, но не в щелочной среде!). В этом случае они попадают и накапливаются в растениях, а значит, и в нашей пище, что вызывает ряд серьезных последствий (табл. 8).

Таким образом, содержание любого вещества, в том числе тяжелых металлов, например, в почве должно быть в определенных пределах, выход за которые в ту или другую сторону чреват серьезными последствиями для организмов (закон оптимума). Это отчетливо видно в табл. 8.

Таблица 8

**Пороговая концентрация элементов
в почве и последствия их нарушений
(ниже нижней, выше верхней)**

| Элемент | Нижняя пороговая концентрация и ниже, мг/кг | Верхняя пороговая концентрация и выше, мг/кг |
|----------|-------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|
| Кобальт | 2–7. Анемия, гипо- и авитаминоз, эндемический зоб | 30. Угнетение синтеза витамина В ₁₂ |
| Медь | 6–15. Анемия, заболевания костей, полегание и невызревание злаков | 60. Поражения печени, анемия, желтуха |
| Марганец | 400. Заболевание костей, усиление зоба | 3000. Заболевания костной системы |
| Цинк | 30. Карликовый рост животных и растений | 70. Анемия, угнетение окислительных процессов |
| Молибден | 1,5. Заболевание растений | 4. Подагра, токсикоз |
| Бор | 3–6. Отмирание точек роста у растений | 30. Боровые энтериты |
| Йод | 2–5. Эндемический зоб | 40. Подавление синтеза в щитовидной железе |

5.4.3. ЯДОХИМИКАТЫ

Пестициды — это химические средства защиты растений от вредителей и болезней.

По оценкам ученых, до 50% урожая погибает от сорняков и вредителей. Во всем мире это приводит к потере ежегодно около 75 млрд долларов. В результате в середине прошлого столетия руководством ряда стран было принято решение о расширенном производстве пестицидов. Однако мало кто тогда задумывался о последствиях, в частности, о том, что это приведет к загрязнению окружающей среды, а также природы и нашей пищи.

Хотя фактически производство и применение пестицидов началось с 30-х годов прошлого века, но еще в 1873 году одним из первых был синтезирован ксенобиотик ДДТ (дихлоридифенилтрихлорметилметан). В 1937 году после относительно кратковременного исследования, где была показана его высокая эффективность как инсектицида на фоне, как тогда казалось, практического отсутствия токсичности, ДДТ начали производить и использовать в широких масштабах и в сельском хозяйстве, и в быту. Однако сегодня ситуация изменилась. В чем же дело?

Через относительно небольшой срок после начала использования ДДТ был обнаружен и в жире северных животных (тюленей, пингвинов), и в молоке кормящих матерей. Оказалось, что на фоне высокой стабильности (время полураспада около 20 лет) он обладает кумулятивной способностью, накапливаясь в жировой ткани, ЦНС, печени и т. п. (концентрируясь в пищевых цепях в степени 10^{8-10}), и рядом побочных действий (гонадо- и эмбриотоксическим, аллергенным, мутагенным, тератогенным и др.).

Сегодня в большинстве стран он запрещен, но в мире производится несколько тысяч других пестицидов, причем около 180 — достаточно широко. Их классифицируют по функциональному признаку:

- гербициды* — против сорняков;
- альгициды* — против водорослей;
- фунгициды* — против грибов;
- дефолианты* — очищают от листвы;

бактерициды — против микробов и бактерий;

акарициды — против клещей;

зооциды — против грызунов.

По химической природе ядохимикаты делятся на хлорорганические (в том числе алифатические, ароматические и др.), фосфорорганические (сложные эфиры фосфорных кислот), карбоматы (например, карбаминовые кислоты), азотсодержащие (производные гуанидина) и другие.

Все пестициды различаются по стойкости. К наиболее устойчивым относятся хлорорганические, которые обладают кумулятивной способностью и способностью концентрироваться в звеньях пищевой цепи. В результате ежегодно из-за пестицидов гибнет до 20 тыс. человек только сельскохозяйственных рабочих.

Для всех пестицидов существуют предельно допустимые концентрации (ПДК), но они, как правило, не соблюдаются. Считается, что чем больше использовать пестицида, тем выше будет урожайность. Но это не так. Эксперименты в США показали, что увеличение (в оптимальных условиях) количества пестицидов в 10 раз вызывает максимум 12% прироста урожая. Причем доказано, что из 100% использованного вещества в цель попадает не более 3%, а остальное теряется. Поэтому очень часто превышают их требуемую дозировку, что приводит к дополнительным потерям.

Кроме передозировки в районе применения, пестициды теряются при производстве, хранении, транспортировке, вызывая загрязнение воздуха, воды, почвы и пищи. В результате они попадают в организм, негативно влияя на функции печени, легких, почек, желудка и др. К наиболее опасным последствиям относятся канцерогенез и наследственные заболевания.

Заметим, что многие пестициды способны циркулировать в природе, вызывая нарушение циклов биотического и биологического круговоротов веществ. Кроме того, к негативным последствиям их применения относятся:

- подавление и снижение численности живых организмов в почве;
- ухудшение состава и структуры почвы, снижение ее плодородия;

- увеличение эрозии почвы;
- возрастание устойчивости сорняков и паразитов (мутация приводит к новым формам);
- снижение количества насекомых-опылителей;
- понижение концентрации микроэлементов в составе растений;
- ухудшение качества, устойчивости и других показателей сельхозпродукции.

5.5. СОХРАНЕНИЕ ПОЧВЫ

Загрязнение почвы отходами антропогенной деятельности, нарушение ее состава и структуры отражаются на ее продуктивности и существовании вообще. Есть ли выход? Касательно тяжелых металлов — только один: законодательно запретить их выброс, осуществляя постоянный мониторинг. Остальные загрязнения надо захоранивать и утилизировать только в строго ограниченных контролируемых местах, а сбросы подвергать очистке.

По поводу удобрений заметим, что одним из традиционных способов внесения органических веществ в почву является выпас животных на пастбищах. Однако сегодня более популярным стало их культивирование в закрытых комплексах, что резко снижает возврат органики в почву. В этом случае просто необходимо использовать дополнительные удобрения.

В то же время при этом сохраняется и даже обостряется проблема утилизации отходов животноводческих комплексов. А они немалые, если учесть, что городу с населением 250–350 тыс. требуется свинокомплекс в 100 тыс. голов или комплекс в 35 тыс. голов крупного рогатого скота. Так что же делать с отходами? Одним из перспективных решений является использование биотехнологии, т. е. таких микроорганизмов, которые эффективно перерабатывают органические отходы в доступные, дешевые и легко усваиваемые почвой удобрения.

При этом ученые предлагают использовать не распыление и рассыпание, а так называемые пролонгированные (длительного действия) формы удобрений, например, в

капсулированном виде. Эффективными оказались и хозяйства, применяющие гидропонику, где подача удобрений происходит строго по заданной программе. Полезно также развивать поликультуру, оставляя на поле органические остатки от предыдущих посевов, сохраняя почву и гумус, а химию, т. е. пестициды, использовать только в экстренных случаях.

Кто-то удачно сравнил применение пестицидов в сельском хозяйстве с лекарствами (одно лечат, а другое калечат), заметив, что увеличение числа вредителей не результат снижения количества пестицидов, как головная боль не результат понижения содержания анальгина в крови! Так есть ли выход?

Да есть, и не один. Можно вместо пестицидов использовать репелленты, отпугивающие паразитов. Можно применять *энтомофаги*, т. е. насекомых, поедающих вредителей; использовать вирусы против самих паразитов, а если и вводить пестициды, то в микроконцентрациях (гранулированные, капсулированные, эмульсионные препараты). При этом, например, весной надо создавать экраны на полях для предотвращения стоков тех же пестицидов и удобрений.

Что касается различного рода «захоронений», в том числе радиоактивных отходов, то как говорят ученые — это «бомба замедленного действия»!

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Почва (педосфера), ее характеристика и экологическая роль.
2. Ресурсы почвы и основы плодородия.
3. Классификация микроорганизмов почвы, их роль.
4. Вода в почве. Водная и ветровая эрозия.
5. Виды загрязнений почвы. Их последствия и способы борьбы с ними.
6. Экологическая проблема удобрений.
7. Ядохимикаты, виды и последствия их применения.
8. Проблемы сохранения почвы.

ЭКОХИМИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ БИОСФЕРЫ

6.1. ПРОИСХОЖДЕНИЕ БИОСФЕРЫ

Биосфера, по В. И. Вернадскому, это «оболочка жизни» на Земле, или «область существования живого вещества». Сам термин «биосфера» ввел австрийский геолог Э. Зюсс. Она включает все организмы на ее поверхности, в воде и почве, а также в воздухе, которые образуют сгущения на границах раздела сфер. Основным признаком биосферы является то, что мы называем жизнью.

«Жизнь есть свойство материи, приводящее к сопряженной циркуляции биоэлементов в водной среде, движимой в конечном счете энергией солнечного излучения по пути увеличения сложности» (Онзагер, Моровиц). В этом определении заложены основные положения экологии: и круговорот биогенов, поддерживающий равновесие в природе, и определяющая роль в нем водной среды, а также и солнечная энергия как движущая сила.

Но первый вопрос, очевидно, связан с происхождением самой жизни. Как уже отмечалось, нашей Вселенной около 6 млрд лет. Солнечная система возникла примерно 5,5 млрд лет назад, а Земля — 4,5 млрд лет. С этого момента начинается ее история (см. рис. 23): 4 млрд лет, а по последним данным американских ученых, 4,5 млрд лет назад в результате конденсации паров воды и выпадения ее из атмосферы или, по другой версии, в результате метеоритного дождя в виде частиц льда появляется первичный океан.

В нем растворяются различные вещества, в том числе органические, образовавшиеся вследствие химических

реакций в первичной атмосфере, содержащей азот, углекислый газ, метан, пары воды и водород. Эти реакции протекали в отсутствие кислорода под влиянием высокой температуры, жесткого облучения, плазмы молний. В результате (по Миллеру) появились органические соединения (их было около 1% в первичном океане), в составе которых были аминокислоты, а возможно, и азотистые основания.

Примерно 3,8 млрд лет назад из них образовались полипептиды, или прабелки, (данные Фокса и др.), и полинуклеотиды, предположительно в объединенной форме в составе одной молекулы. Они существовали сначала в виде коацерватов (Опарин), которые, объединяясь с липосомами (ассоциатами органических ПАВ), образовали сначала протобионты (промежуточное звено в процессе возникновения жизни), а потом и первые клетки (около 3,5–3,6 млрд лет назад). По данным ученых США, это были термофильные археобактерии — строматолиты. Заметим, что самый древний найденный кусок угля (продукт преобразования остатков организмов) датируется 3,5 млрд лет. С этого момента наука начинает отсчет жизни на Земле.

Какие же условия привели к появлению живой клетки?

1. Восстановительная первичная атмосфера, содержащая биогены, и высокоэнергетические воздействия на нее, что позволило осуществить синтез первичных органических молекул (так называемых мономеров — аминокислот, нуклеотидов, сахаров и др.) без последующего их сторания (в кислороде).

2. Наличие жидкой воды — «матрицы жизни», растворившей и тем самым сохранившей указанные мономеры, а также липиды, жиры и пр. от разложения. Кроме того, она способствовала формированию липидами и другими ПАВ замкнутых структур, содержащих воду (везикулы, липосомы) и способных избирательно включать в состав бислоя биополимеры, главным образом белки, а внутрь — определенные ионы (калий, магний) и определенные органические молекулы (левоповорачивающие).

3. Наличие условий для поликонденсации мономеров (Фокс) с образованием полимеров (полипептидов — белков, полинуклеотидов — ДНК, РНК, а также и полисахаридов)

и сополимеров. Полипептиды с включенными катионами металлов или без них, а также некоторые неорганические соединения здесь и далее выступают в роли катализаторов синтеза и других реакций. Полинуклеотиды являются матрицами для направленного синтеза, а полисахариды — источником энергии для этих реакций. Все они находятся в воде в виде коацерватов (Опарин), т. е. набухших в воде клубков.

4. Объединение таких коацерватов с липидными структурами с образованием безъядерных протоклеток, или протобионтов (в чем-то подобных современным вирусам), которые обладали или в процессе дальнейшей эволюции приобретали способность к метаболизму, адаптации, саморегуляции. По-видимому, для них были характерны раздражимость и другие признаки живого организма, в том числе возможность к воспроизводству, например за счет растворенных в воде органических молекул. В результате они становятся средством создания, хранения, накопления и использования информации — как мы полагаем, основного признака жизни (Тринчер, Егоров).

5. Конкуренция и жесткий отбор наиболее жизнеспособных одноклеточных форм, а далее их усложнение и совершенствование, т. е. эволюция одноклеточных (прокариоты — эукариоты, гетеротрофы — автотрофы), а затем и многоклеточных организмов (рис. 23).

При этом наряду с теорией о спонтанных мутациях, конкуренции и отборе наиболее устойчивых форм (Дарвин) наука сегодня рассматривает подход, связанный с направленным ходом эволюции. В частности, Кауфман полагает, что «большая часть порядка, который мы наблюдаем в организмах, может быть прямым результатом не естественного отбора, но естественного порядка, привилегию работать над которым получил отбор...». С точки зрения теории Пригожина об открытых самоорганизующихся неравновесно устойчивых системах, к которым относятся организмы, их способность осуществлять циклы с обратной связью может обеспечивать спонтанные переходы к структурам более высокого порядка (например, в так называемых точках бифуркации — раздвоения пути), т. е. эволюцию. Заметим, что в рамках такого подхода рассматривается и возможная предбиологическая фаза эволюции. Но это пока только теория, хотя и под-

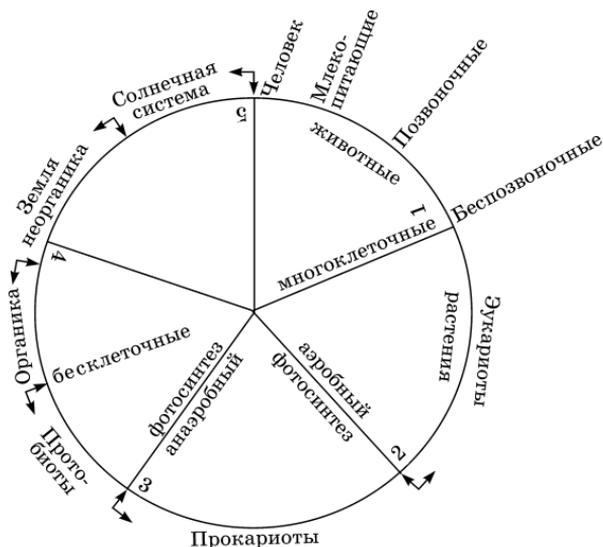


Рис. 23

Эволюция на Земле (цифры — млрд лет назад)

тверждаемая вероятностными оценками. Так, по мнению ряда ученых, возможность возникновения даже простейших клеток за обозримый период развития Земли практически равна нулю (Капра).

К своего рода точкам бифуркации часто относят и катастрофы, повторяющиеся на планете. Например, полагают, что резкое падение содержания водорода в атмосфере более двух миллиардов лет назад привело к эволюционной инновации — использованию воды в фотосинтезе, а накопление в результате этого кислорода спустя миллионы лет — к гибели одних и появлению других — дышащих им бактерий. Две последующие катастрофы — 245 и 66 миллионов лет назад — расчистили путь для эволюции млекопитающих.

Вернемся к появлению организмов. По мнению американских ученых, сначала возникли гетеротрофные фотосинтезирующие одноклеточные организмы-прокариоты — строматолиты (цианобактерии. — *Авт.*), очевидно, анаэробные (отсутствовал в атмосфере кислород), а далее — автотрофные фотосинтезирующие анаэробные и аэробные организмы, про- и эукариоты. Первые археобактерии использовали вместо кислорода для получения энергии углекислый

газ, нитрат- и сульфат-анионы, а также азот. Сегодня, как отмечалось, самыми древними из сохранившихся организмов, обладающих такой способностью, считаются сине-зеленые водоросли.

Итак, 3,5 млрд лет назад появляются первые организмы — фотосинтезирующие археобактерии, сначала анаэробные, использующие неводные окислители и водород, а далее аэробные, использующие воду как донор водорода для синтеза органики и источник свободного кислорода. До этого момента атмосфера планеты была равновесной восстановительной, но с появлением и накоплением кислорода равновесие начинает меняться. В интервале 1–2 млрд лет назад (после окончания процессов окисления в гидросфере и на поверхности литосферы) атмосфера становится окислительной, образуется озоновый слой и наступает новое равновесие (гомеостаз) в природе.

400 млн лет назад жизнь выходит на сушу, и на Земле образуется «саморегулирующаяся биогеохимическая система» (Вернадский) — биота плюс биома, т. е. современная биосфера.

Интересно отметить, что по мере появления крупных многоклеточных форм жизни и все большей специализации их клеток снижались возможности, связанные с их восстановлением и регенерацией органов и тканей. Так, если плоские черви, полипы и морские звезды могут полностью регенерировать свое тело из практически отдельных клеток, то у ящериц, саламандр, крабов и многих насекомых сохраняется способность к восстановлению только отдельных органов, а для высших животных характерна лишь возможность регенерации тканей в процессе заживления ран. Некоторые ученые полагают, что именно вследствие потери этих функций все высшие организмы подвержены старению и смерти. Лишь половое размножение как бы возвращает им восстановительный процесс.

Следует назвать четыре основных условия существования жизни на нашей планете, в том виде, в котором она представлена сегодня:

- достаточное количество кислорода и углекислого газа;
- достаточное количество жидкой воды;
- благоприятный диапазон температур;

- наличие определенного минимума минеральных веществ.

Таким образом, современная биосфера адаптирована к составу атмо- и гидросферы, а также к климату Земли, его флуктуациям. Так, средняя температура у поверхности планеты составляет $20 \pm 15^\circ\text{C}$. Ее колебания (за 1000 лет) составляют $\pm 1^\circ$. Но в течение 10 лет, а тем более одного года они бывают значительными.

В заключение данного раздела нельзя не привести мнение Вернадского о том, что жизнь на планете возникла сразу как совокупность организмов, их биоценозов, выполняющих определенные биогеохимические функции. Причем, по мнению ученого, она могла появиться как абиогенно, так и путем проникновения из космоса. Вернадский полагал, что жизнь во Вселенной существует вечно, не имея ни начала, ни конца.

6.2. ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ РОЛЬ БИОСФЕРЫ

Роль биоты в круговороте вещества и энергии определяется высоким уровнем энергетических процессов у организмов, их разнообразием и подвижностью. Живое вещество на планете постоянно обновляется, в среднем за 8 лет. Общая его масса за всю историю превышает массу самой Земли. Уже это обстоятельство определяет ту огромную роль, которую играют организмы в природе нашей планеты.

Биосфера выполняет многочисленные экологические функции, главные из которых следующие:

- активно взаимодействует с неживой природой (атмо-, гидро-, эда- и литосферой);
- осуществляет биологический и биотический круговорот веществ;
- поддерживает равновесие, главным образом биогенов.

При этом, по словам крупнейшего американского эколога Одума, «материя циркулирует, энергия рассеивается». Так, по оценкам ученых, весь кислород атмосферы оборачивается через биоту за 2000 лет, углекислый газ — за 200–300 лет, вода — за 2 млн лет. В то же время солнечное излучение, его энергия, пройдя через биотические циклы,

рассеивается в атмосфере в виде тепла, что требует постоянного ее пополнения в биоте.

Кроме этого, организмы формируют ландшафт, играют почвообразующую роль, участвуют в формировании состава воды. Они являются необходимыми звеньями в цепях питания, но они же могут оказаться вредителями как в положительном (например, уничтожение паразитов), так и в негативном плане (болезнетворные микроорганизмы, хищники и пр.). В целом можно отметить, что чем больше разнообразие организмов, чем протяженнее и сложнее цепи питания в биоценозе, тем он устойчивее (Константинов).

Таким образом, все перечисленные факторы обеспечивают устойчивость экосистем в природе. Об их высокой стабильности свидетельствуют катастрофы на Земле, которые не привели к ликвидации жизни. Одна из них произошла около 6,5 млн лет назад. Тогда метеоритный ливень привел к образованию пылевого экрана в атмосфере. Он вызвал удаление озонового слоя и снижение температуры на планете примерно на 10°C. Крупные ящеры, древовидные папоротники и хвощи практически вымерли. Но Земля восстановила равновесие. Важно отметить, что в результате каждой катастрофы происходило скачкообразное развитие биоты, ее приспособление к окружающей среде, ее изменчивость и образование новых видов, их естественный отбор (Дарвин) и проникновение в новые условия обитания.

Примерно 1 млн лет назад появляются предки современного человека (*homo erectus* и далее *homo sapiens*), пока еще не играющие заметной роли в экологии. 6 тыс. лет назад образуются первые цивилизации (в Междуречье и, предположительно, в Африке), а 300 лет назад — индустриальное общество. Именно оно, как мы видели, привело в итоге к нарушению равновесия в природе.

При обсуждении роли биосферы и влияния внешних факторов на нее нельзя еще раз не подчеркнуть, что все биохимические процессы поддерживаются солнечной энергией (рис. 24). Если бы ее не было, то в открытой устойчиво неравновесной самоорганизованной системе (Пригожин) — организме наступило бы термодинамическое равновесие, что эквивалентно его гибели.

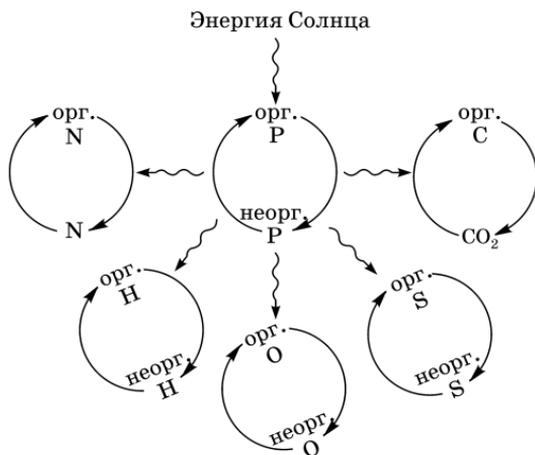


Рис. 24

Круговорот элементов в ходе биохимических процессов (по Онзагеру)

В этой связи можно сформулировать следующий закон.

Основной закон биологии (Бауэр). *Работа организма против внешних сил по поддержанию гомеостаза (и себя самого с использованием энергии солнца. — Авт.).*

В топке жизни горит солнце — так поэтически можно выразить последнюю мысль. И еще одна важная мысль. Роберт Винер еще в 1950 году писал, что организм — это в первую очередь не вещество, а так называемый паттерн организации («завихрение в потоке вечно текущей реки»), существующий по принципу обратной связи как саморегулируемая и самоорганизующаяся система. «Мы — не вещество, которое ждет и терпит; мы — паттерны, которые продолжают и утверждают себя» (Винер). И в этом процессе у организмов ключевой является роль образования и воспитания (в самом широком смысле этого слова), основанных на информации. «Взаимодействие живого организма — растения, животного или человека — с окружающей его средой есть взаимодействие познавательное... Ментальный процесс имманентен материи на всех уровнях жизни» (Капра).

Как уже говорилось, биосфера включает в себя биоту и биому. Окружающая среда, с точки зрения экологии, характеризуется условиями, необходимыми для поддержания жизни. Например, для гетеротрофных аэробных

организмов необходимы кислород и органика, которую они превращают в неорганические вещества. Для автотрофных, в том числе анаэробных организмов нужны неорганические биогены (вода, соединения азота, фосфора и др.), которые они преобразуют в органику.

При этом, как уже отмечалось, биота сама активно воздействует на окружающую среду, например, поддерживая соотношение органического и неорганического вещества в гидросфере и состав атмосферы. Именно биота океана сегодня сохраняет постоянной концентрацию углекислого газа и кислорода в атмосфере. Если она начнет исчезать, то количество первого возрастет, а второго упадет в несколько раз. Это приведет к мировой катастрофе.

Таким образом, биота активно участвует в циклах кислорода, углерода, азота, фосфора и др. биогенов, т. е. она контролирует содержание их определенных форм в природе (см. Второе положение экологии). Например, установлено, что скорость притока углерода в биому и скорость его оттока из биоты совпадают с точностью до 0,01%. Следовательно, мощная биота нужна Земле, всем ее сферам для поддержания концентраций биогенов, в частности для быстрого восстановления их нарушений (метеориты, вулканы и пр.). В самой биоме в этом плане работает известный принцип.

Принцип Ле Шателье—Брауна. *Если на систему, находящуюся в состоянии равновесия, осуществляется воздействие, то это равновесие смещается в направлении уменьшения этого воздействия.*

Однако в организме, пока он не начинает гибнуть, этот принцип не реализуется. Для биоты справедлив закон Бауэра.

Мощь биоты становится опасной в двух случаях: если она удаляется и когда она нарушает сложившееся равновесие. Так, принцип Ле Шателье—Брауна «работал» примерно до начала XIX столетия. Однако с этого момента, например, скорость выделения углерода (в виде углекислого газа) превышает скорость его поглощения. О последствиях этого мы уже говорили.

6.3. БИОГЕННЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ

Говоря об организмах, нельзя обойти вниманием вопрос, из чего они состоят, т. е. биогенные элементы. Следует отметить, что в природе в заметном количестве встречается около 50 элементов, из них примерно 25 — биогенные, остальные — второстепенные. Среди биогенных есть макроэлементы, их одиннадцать: углерод, кислород, водород, азот, фосфор, кальций, сера, хлор, магний, калий и натрий. Макроэлементы еще называют органогенами, так как они образуют биомолекулы. Ежедневная потребность человека в них высокая — более 100 мг. Их содержание в организме, с одной стороны, постоянно, с другой — выдерживает без последствий значительные отклонения.

Кроме того, в организме находятся микроэлементы: цинк, медь, марганец, йод, бром, кобальт, железо, молибден, фтор, селен и др. Они встречаются главным образом в составе органических и неорганических комплексов, выполняющих различные специальные функции: каталитические, сигнальные и пр. Потребность в них — около 1 мг в сутки, но даже небольшие отклонения в их содержании в организме вызывают нарушения и заболевания. Заметим, что у животных и растений набор макро- и микроэлементов существенно отличается. В частности, калий чрезвычайно важен для растений, а натрий — для животных; аналогично магний и железо.

Интересно сравнить содержание некоторых важнейших элементов в природе и в организме, например, человека (см. табл. 9).

Как видно из таблицы, есть определенное соответствие нахождения элемента в природе и в организме. Его выражает следующий закон.

Биогеохимический закон (Вернадского). *Чем выше атомная масса элемента, тем меньше его содержание в природе и в организме.*

У этого закона есть ряд исключений, например, «железный пик» у организмов.

Таблица 9

Содержание элементов, %

| Содержание | Элемент | | | | | | | | | | | | | |
|----------------------|---------|------|------|----|------|-----|------|------|----|-----|------|-----|-----|-----|
| | H | C | N | O | F | Na | Mg | Al | Si | P | S | Cl | K | Ca |
| в природе | 1 | 0,2 | 0,03 | 50 | 0,1 | 2,4 | 2,1 | 7,3 | 26 | ~0 | 0,11 | 0,2 | 2,3 | 3,2 |
| в организме человека | 9,3 | 19,4 | 5,1 | 63 | 0,01 | 0,3 | 0,04 | 0,01 | ~0 | 0,6 | 0,6 | 0,2 | 0,2 | 1,4 |

В целом наличие того или иного элемента в организме определяется следующим:

- функциями, которые он выполняет;
- наличием его в природе в доступной, главным образом водорастворимой форме;
- способностью организма поглощать, удерживать и накапливать этот элемент, его соединения.

Правило Бернала. *Лабильные атомы (сера, медь, железо), существенно изменяющиеся в природе, играют главную (функциональную! — Авт.) роль в биохимии, а стабильные (кремний, алюминий), образующие земную кору, — второстепенную.*

Как у любого правила, здесь имеется ряд исключений, например стабильный кислород.

Каковы же биохимические функции отдельных элементов? Отметим только важнейшие.

Железо — регулирование гемоглобина в крови (дыхание, перенос кислорода).

Кальций — образование костной ткани, свертывание крови, мышечная и сердечная деятельность (генерация электрических потенциалов, сокращение мышечных волокон), иммунитет организма.

Кислород, фосфор — энергетика биохимических процессов.

Натрий, калий — регуляция водного и солевого баланса, осмотического давления, рН, участие в проведении нервного импульса.

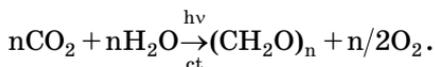
Йод — гормональная деятельность, а значит, регулирование обмена, физиологических процессов и функций.

Кобальт, марганец и медь — участие в ферментативных и обменных процессах.

Фтор — остеотропные и обменные процессы, иммунитет.

Магний — фотосинтез у растений.

Говоря о биогенах, следует отметить, что они являются связующим звеном между живой и неживой природой. Для них характерна постоянная циркуляция, поддерживаемая солнечной энергией. Например, фотосинтезирующие автотрофные организмы-продуценты (гелиотрофы, производящие органику) осуществляют следующее превращение, используя солнечный свет:



Здесь катализатором является хлорофилл, в состав которого входит катион магния.

Обратный процесс идет с участием гетеротрофных организмов-консументов (потребляющих органику). В результате окисления органических веществ сохраненная энергия (солнца) у них запасается в форме АТФ, АДФ (макроэргов), и далее она вместе с энергией мембранных потенциалов и активных частиц используется для жизнедеятельности. (Заметим, что продуценты для своего дыхания, как правило, также используют кислород.)

Однако есть и нефотосинтезирующие организмы. Это так называемые хемосинтезирующие бактерии (хемотрофы). Мы уже говорили о нитрификаторах, серобактериях и др.

Запасая энергию, организмы-продуценты в свою очередь являются пищей для более высоких форм (консументов), которые сами напрямую преобразовать энергию солнца в энергию химических связей не могут. Последние становятся пищей для высших организмов. Так формируются трофические цепи (в воде и на суше). Например, листья (продуценты) — это питательные вещества для гусениц (фитофагов — консументы первого порядка), те — для жуков

(хищников — консументы второго порядка), жуки — для животных и птиц (хищников — консументы третьего порядка), а они — для человека (хищника). Здесь все, кроме листьев (и травы), — консументы.

Кроме указанных двух типов организмов, существуют еще организмы-редуценты. Это грибы, бактерии, насекомые, черви, которые питаются органикой, например останками животных и птиц. Они выделяют углекислый газ, воду и простые органические соединения.

В заключение следует отметить, что в биосфере действует закон потребления, связывающий размеры потребляющих организмов с их численностью.

Закон зависимости потребления от численности организмов. *В потоках вещества и энергии главную роль играют мелкие организмы, а крупные — незначительную, вспомогательную.*

Так, например, главные потребители в биосфере — бактерии, грибы и простейшие. За ними стоят черви, моллюски и членистоногие. Доля потребления дикими позвоночными (земноводными, пресмыкающимися, птицами и млекопитающими) очень низка — не более 1% продукции биосферы.

6.4. БИОГЕОХИМИЧЕСКИЕ ЦИКЛЫ

Всю экосистему можно разделить на пять блоков, через них проходят химические вещества (рис. 25). Из которых три активных и два добавочных.

Все эти блоки связаны между собой с помощью циклов. Здесь уместно еще раз напомнить в краткой форме закон цикличности.

Закон цикличности (или закон биогенной миграции атомов Вернадского — см. выше). *Все биогенные элементы совершают биогеохимические циклы, проходя через биоту.*

При этом не надо забывать, что организмы являются открытыми биологическими системами. Они поглощают



Рис. 25
Схема экосистемы

а — ассимиляция продуктов; б — дыхание; выделение; в — гибель; выделение; г — детритное питание; д — окисление; разложение; вымывание; е — сжигание; ж — эрозия; з — образование торфа; угля; нефти; и — эрозия; биологическое связывание; к — осаждение.

и выделяют кислород, углекислый газ и пр., а сами образуют осадки (донные отложения, гумус, торф и т. д.). Такие открытые, неравновесно устойчивые самоорганизующиеся системы, как уже говорилось, могут существовать только за счет притока внешней энергии, т. е. энергии солнца (Пригожин).

В каждом биогеохимическом цикле различаются два фонда: резервный и обменный (рис. 25). Первый медленно движет биогенные элементы (е—к — см. схему), а второй быстро перемещает их между организмами и их окружением (а—д — см. схему 1). Любую экосистему (организм, стаю, поле, регион, биосферу) можно рассматривать с точки зрения как обмена элементами внутри, так и экспорта и импорта вещества и энергии снаружи (рис. 26). При этом, в отличие от вещества, энергия не подчиняется за-

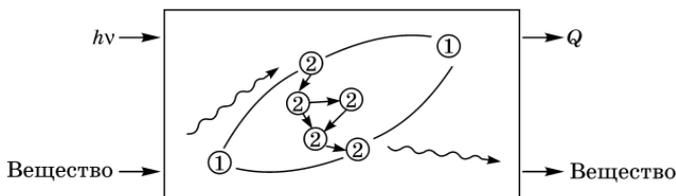


Рис. 26
Обмен веществами и энергией в экосистеме

1 — медленное движение (резервный фонд);
2 — быстрое движение (обменный фонд).

кону цикличности. Ее приток (поглощение света) сопровождается постоянным оттоком (выделение в виде тепла).

Среди биогеохимических циклов различают циклы газообразных веществ (атмосферные) и осадочных веществ (циклы гидро-, педо- и литосферы). К первым относятся циклы углерода, азота, кислорода — озона (цикл Чепмена), ко вторым — фосфора, железа, кальция и др. При этом первые хорошо забуферены, а вторые легко нарушаются.

6.4.1. КРУГОВОРОТ АЗОТА

Как известно, основное количество азота находится в воздухе (около 80%). Однако растения, кроме бобовых (и некоторых бактерий), не могут его использовать напрямую. По пищевой цепи он проходит в основном в виде детрита и мочевины (карбамида). Далее азот попадает к редуцентам, превращающим его в аммиак (точнее, в катион аммония)

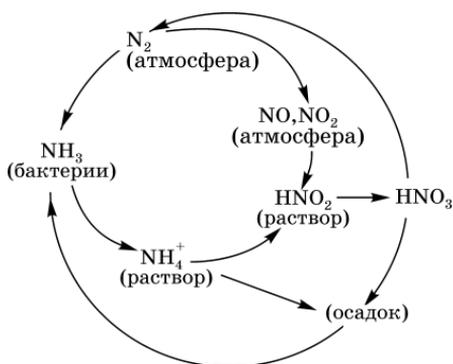
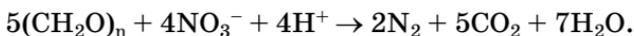


Рис. 27
Круговорот азота

или нитрат-анион, и он становится доступным для растений. После этого совершается новый круг (рис. 27).

Одной из важнейших реакций в цикле азота является восстановление нитрат-аниона до свободного азота, которая осуществляется анаэробными бактериями-денитрифи-

каторами. Более подробно ее можно записать следующим образом:



Именно она приводит к потере азота в почве и в составе удобрений.

6.4.2. КРУГОВОРОТ ФОСФОРА

В отличие от азота, движение фосфора более или менее однонаправленное. Он движется от литосферы (горные породы, откуда вымывается) к осадочным породам, в основном морского дна. Вымывание фосфатов происходит в кислой среде, где фосфор переходит в растворимые формы (гидро- и дегидрофосфаты). Цикл фосфора приведен на рис. 28.

Следует отметить, что фосфор, несмотря на его значительное количество в литосфере, является одним из самых дефицитных элементов в почве, гидро- и биосфере. Потребность в нем у организмов достаточно велика, это связано с образованием так называемых макроэргов (АТФ — аденозинтрифосфата и АДФ — аденозиндифосфата), запасующих энергию и снабжающих ею клетки, поскольку разрыв макроэргических фосфатных связей сопровождается выделением около 30 кДж/моль.



Рис. 28
Круговорот фосфора

6.4.3. КРУГОВОРОТ УГЛЕРОДА

Углерод — основа жизни, поскольку только этот элемент способен образовывать такое многообразие устойчивых химических связей и соответствующих соединений. Об основных процессах, связанных с углеродом, мы говорили выше. В их основе лежит реакция фотосинтеза, служащая для преобразования солнечной энергии в энергию

химических связей органических соединений, катализатором которой является хлорофилл.

Заметим, что ежегодное «производство» органики растениями (и некоторыми бактериями) составляет 500–600 млрд т, из них 400 млрд т — в воде и более 100 млрд т — на суше.

Цикл углерода приведен на рис. 29.

В этот цикл, как мы отмечали неоднократно, активно внедрился человек. Сжигая органику, он постоянно нарушает равновесие, главным образом углекислого газа атмосферы.

6.4.4. КРУГОВОРОТ МЕТАЛЛОВ

Из других элементов особенно важными, очевидно, являются кислород (см. выше цикл озона — цикл Чепмена), сера (см. выше цикл серы), а также ртуть и некоторые другие металлы. В частности, к относительно молодым, связанным с антропогенной деятельностью, относятся циклы радионуклидов, например ^{90}Sr и ^{137}Cs .

Циклы металлов, главным образом тяжелых и радионуклидов, можно представить схемой (см. рис. 30).

Здесь следует напомнить, что некоторые металлы, например ртуть, переходя в организм, могут трансформироваться в органометаллические соединения (CH_3Hg^+ , $(\text{CH}_3)_2\text{Hg}$), которые, как отмечалось, зачастую гораздо токсичнее самого металла, его катионов в растворе.

В заключение сделаем несколько выводов.

1. Все биогеохимические циклы существуют благодаря энергии солнца и деятельности биоты.

2. Все они связаны друг с другом.

3. Двигаясь по циклу, элементы (и биогены) проходят через организмы. Так, по оценкам ученых, весь углекислый газ оборачивается через живые существа планеты за 200–300 лет, а вся вода — за 2 млн лет.

4. Многие циклы не замкнуты. В частности, ряд элементов участвует в геологических циклах в составе полезных ископаемых.

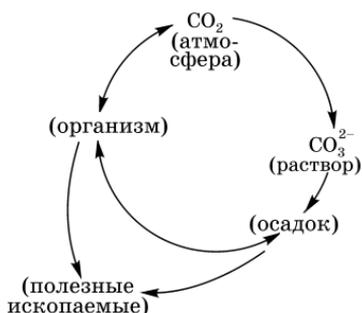


Рис. 29
Круговорот углерода

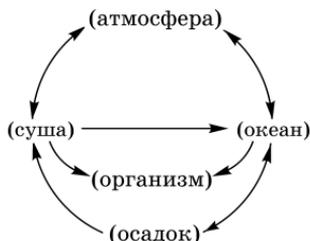


Рис. 30
Круговорот металла

5. Наличие циклов на Земле — условие существования жизни и ее эволюции.

6. Антропогенная деятельность приводит к изменению циклов, их нарушению и появлению новых.

6.5. ДЕЙСТВИЕ ХИМИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ОРГАНИЗМЫ

Мы уже не раз отмечали, что для всех экологических факторов, в том числе и химической природы, существует оптимум воздействия (закон оптимума). При этом если все, кроме одного, находятся в норме, то этот один является лимитирующим фактором (законы минимума, максимума). Например, недостаток даже одного элемента в почве — лимитирующий фактор для растений (закон минимума Либиха). Часто таковым бывает микроэлемент, например кобальт, молибден, никель. Среди макроэлементов недостаток, например железа, вызывает у растений заболевания, в данном случае хлороз. Избыток железа также приводит к нарушениям и заболеваниям.

Но многие виды любят избыток определенных элементов. Например, орхидея предпочитает кальций (кальцефит), крапива — нитраты (нитрофит), хвощи — соль (галофиты). Из рыб лосось и треска предпочитают избыток кислорода в воде (стенооксибионты), а некоторые моллюски и черви адаптируются в широких пределах его содержания (эвриоксибионты). Даже яды переносят некоторые водоросли и

черви (токсобионты). В целом, очевидно, оптимальное количество и пределы изменения (экологическая валентность) того или иного элемента или соединения зависят от вида организма, его состояния и внешних условий.

6.5.1. ХЕМОМЕДИАТОРЫ

Кроме природных веществ многие организмы сами выделяют химические соединения, имеющие разные функции.

Хемомедиаторы — вещества, выделяемые в малых количествах и осуществляющие связь между организмами, а также между организмом и средой.

Феромоны осуществляют связь между особями одного вида.

Алломоны — связь между особями разных видов. (См. также аттрактанты и репелленты.)

Кроме того, сами организмы с помощью определенных соединений реагируют на изменение внешней среды.

Эндометаболиты — вещества, выделяемые внутри организма для смягчения воздействия внешнего фактора (создания или поддержания условий внутренней среды).

В частности, криопротекторы защищают клетки от кристаллизации при охлаждении.

Экзометаболиты — вещества, выделяемые организмом во внешнюю среду для нейтрализации ее изменения.

Такие вещества способствуют поддержанию рН, окислительно-восстановительного потенциала (ОВП), ионной силы и других показателей, например воды в водоеме.

К функциям, которые осуществляют химические соединения, выделяемые организмом, относятся следующие:

1) защитная — присуща различным ядам и репеллентам (отпугивателям). Так, мухомор выделяет яд мускарин, мак — наркотик папаверин, скунс — репеллент 3-метилбутантиол. Некоторые насекомые выделяют определенные соединения в случае опасности (2-гексеналь, муравьиная кислота и др.);

2) наступательная — здесь также задействованы яды, в частности нейротоксины змей, ос, скорпионов и пр. Сюда же можно отнести и токсины сине-зеленых водорослей;

3) аттрактивная — это вещества, притягивающие либо существо другого пола, либо жертву, либо кого-то еще. Так, самка тутового шелкопряда выделяет бомбикол для привлечения самца. Цветы обладают запахом для привлечения опыляющих их насекомых;

4) индикаторная — многие животные выделяют пахучие вещества для мечения своей территории (псовые и др.), а муравьи метят свой корм;

5) сдерживание конкурентов — например, аллехопаты — вещества, выделяемые растениями для подавления роста других растений (ель подавляет рост травы, облепиха — малины и т. д.);

6) регулирование внутригрупповых взаимодействий — такие соединения характерны для организмов, живущих семьями. Например, матка пчелы выделяет «царское вещество» — 9-оксо-2-трансдеценовую кислоту, обладающую стимулирующим действием. Головастики в случае ограничения размера водоема выделяют определенные соединения, которые тормозят развитие сородичей;

7) формирование среды обитания характерно для гидробионтов — выделяемые ими метаболиты, в частности пероксид водорода, поддерживают требуемые показатели среды, в данном случае ОВП;

8) адаптационная — например, криопротекторы, или антифризы — вещества, выделяемые в организме многих животных (лягушек, белок и др.), способных переносить зимние морозы.

Некоторые вещества обладают комплексным действием. Так, гусеницы, поедая молочай, производят пирролы, служащие для отпугивания хищников и привлечения самцов.

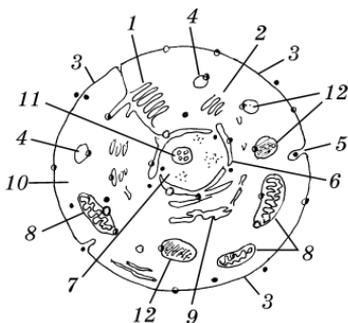
6.5.2. ПОЛЛЮТАНТЫ, ИХ КЛЕТОЧНЫЕ МИШЕНИ

Животные и растения сегодня исчезают в тысячи раз быстрее, чем это предусмотрено природой. Не последнюю роль в этом играют поллютанты, или загрязнители. Их воздействие на организм зависит не только от строения и свойств, но и от внешних условий (температуры, влажности, облучения,

рН и ионной силы воды и пр.) и внутренних факторов (природы организма, фазы его развития, состояния, питания, наследственности и др.). При этом надо учитывать возможность трансформации самих поллютантов в организме, например их превращение в токсичные вещества.

Многие организмы способны адаптироваться к поллютантам. Мы отмечали это свойство у сине-зеленых водорослей, микроорганизмов и др. При этом надо учитывать два способа адаптации: создание биохимических механизмов защиты и наследственный (мутационный) фактор. Первый срабатывает у данного организма в некоторых пределах, не сильно отличающихся от нормы, а второй — в популяции в максимуме или минимуме действия фактора, когда данный организм практически не способен к существованию, однако появляются новые особи-мутанты, более приспособленные к изменившимся условиям.

Таким образом, самую токсичность можно рассматривать



- Неорганические ионы
- Органические соединения
- ПАВ

Рис. 31

Строение животной клетки

1 — комплекс Гольджи; 2 — микросома; 3 — плазматическая мембрана; 4 — вакуоль; 5 — пиноцитарный пузырек; 6 — ядерная мембрана; 7 — ядро; 8 — митохондрии; 9 — эндоплазматический ретикулум; 10 — цитоплазма; 11 — ядрышко; 12 — лизосомы.

на уровне клетки, организма, популяции, экосистемы. Для этого надо хорошо представлять себе клеточные мишени (рис. 31) и механизмы защиты от поллютантов.

Строение типичной животной клетки представлено на рис. 31. Важнейшими ее компонентами являются мембраны, цитоплазма, органеллы и ядро. Оболочка отделяет клетку от внешней среды, способствуя поддержанию в ней гомеостаза. Ее белки — «насосы» и «каналы», а также градиент концентраций снаружи и внутри по ряду соединений способствуют переносу веществ внутрь (эндоцитоз) и наружу (экзоцитоз). Рецепторы,

находящиеся снаружи, участвуют в межклеточном взаимодействии, передаче сигналов внутрь клетки. Ее липидный бислой управляет протеканием реакций с участием интегральных ферментов, которые являются катализаторами биохимических реакций, а разность потенциалов между внутренней и внешней поверхностью мембраны является дополнительным источником энергии.

Мембрана опирается на цитоскелет (микротрубочки и микрофиламенты), который участвует во внутриклеточном переносе веществ. Мембраны отделяют различные компартменты клетки (цитоплазма пронизана трубчатыми и пластинчатыми мембранами с рибосомами или без них), а также ее органеллы и ядро. В органеллах (лизосомах, рибосомах, эндоплазматическом ретикулуме, пероксисомах, липосомах) протекает ряд специфических реакций, энергию для которых поставляют митохондрии. А некоторые органеллы (микросомы, липосомы) служат также для удаления веществ.

В ядре находится генетический аппарат, содержащий молекулы ДНК (у высших животных в хромосомах) — хранители генетической информации. На них, как на матрицах, идет воспроизведение самих ДНК и синтез РНК (соответственно репликация и трансляция), а на РНК — синтез белков (транскрипция). Заметим, что полинуклеотиды встречаются и в некоторых органеллах, например в рибосомах и митохондриях. Последние, как полагают ученые, являются самостоятельными организмами, проникшими в клетку и закрепившимися в ней в результате симбиоза.

Первым барьером на пути поллютантов является цитоплазматическая мембрана клетки. Ее рецепторы связывают большинство веществ, в том числе токсичных, посылая многократно усиленный сигнал об этом внутрь, что обеспечивает защитную реакцию клетки. Причем, заметим, что через мембрану относительно легко по градиенту концентраций проходят маслорастворимые (гидрофобные) соединения и плохо — водорастворимые (гидрофильные), например катионы водорода и металлов. Для них существуют специальные белковые «каналы» и «насосы». Другим путем попадания веществ внутрь клетки является эндоцитоз.

После прохождения через мембрану полярные соединения оказываются в цитоплазме. При этом способные к образованию комплексов и химических соединений катионы металлов связываются с белками или нуклеиновыми кислотами (например, золото, кадмий, ртуть, свинец, цинк — с тионильными группами), а амины — с металлоферментами.

Некоторые неполярные, но главным образом дифильные вещества (ПАВ) включаются в состав мембран (цитоплазматической, органелл), нарушая их структуру и свойства. Причем направленный внутриклеточный транспорт органических веществ обеспечивает их поступление в соответствующие компартменты и органеллы, где далее они подвергаются химическим превращениям. Так, определенные соединения в лизосомах расщепляются под действием гидролитических ферментов, а в пероксисомах — окисляются пероксидом водорода. Частично реакции с участием ферментов протекают и в цитоплазме.

6.5.3.

ВИДЫ ТОКСИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ ПОЛЛЮТАНТОВ

Все виды токсического действия химических соединений можно разделить следующим образом:

- цитотоксическое действие заключается в изменении проницаемости клеточных мембран, нарушении их функций и функций ферментативных систем;
- тератогенное (пороки эмбрионального развития) связано с нарушением действия генов без изменения их структуры;
- генетическое вызвано изменением ДНК и РНК, появлением мутантных форм.

Первичная токсичность определяется:

- нарушением структурной и временной упорядоченности белков, например, ферментов, в первую очередь связанных с транспортом электронов;
- вовлечением поллютанта в метаболические процессы, часто путем конкуренции с субстратами за места связывания в активных центрах ферментов, что приводит к обрыву метаболической цепи;

- химическим взаимодействием поллютантов с компонентами клетки (алкилирование, галоидирование, арилирование белков и нуклеиновых кислот), что приводит к аллергиям, мутагенезу и канцерогенезу. Например, многие соединения, так называемые мутагены, вызывают необратимые соматические мутации за счет образования аддуктов, или разрывов, в ДНК и РНК.

Очень часто наличие поллютанта можно определить визуально по его воздействию на цитоплазматическую мембрану клетки — клетка сморщивается и из овальной превращается в ежеподобную форму.

Говоря о поллютантах, необходимо отметить их избирательное воздействие на те или иные системы и процессы в организме. Виды токсического воздействия некоторых тяжелых металлов на человека приведены в табл. 10 (по данным ВОЗ 1991 года). Очевидно, что тот или иной результат воздействия определенного металла на организм зависит от его дозы, т. е. концентрации и длительности действия. В частности, тяжелое отравление свинцом наблюдается при повышении его содержания в крови человека до 0,8 части на миллион. При этом отмечаются анемия, головная и мышечная боль, потеря сознания. Сегодня наиболее высокие дозы свинца в крови у работников

Таблица 10

**Эффекты избирательной токсичности
тяжелых металлов (человек)**

| Металл | Основное действие |
|----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Мышьяк | Рак легких, кожные заболевания, изменения в крови |
| Бериллий | Дерматиты, язвы, воспаления слизистой |
| Хром | Рак легких, желудочно-кишечного тракта, дерматиты |
| Свинец | Нарушение кроветворения, повреждение почек и печени, невралгические эффекты |
| Ртуть | Действие на нервную систему и память, почечная недостаточность, сенсорные и координационные нарушения |
| Никель | Респираторные заболевания, астма, пороки развития и уродства, рак легких |
| Ванадий | Астма, нервные расстройства, изменения в крови |

бензоаправочных станций (до 0,4 части на миллион) и, что страшно, у детей в городских кварталах (до 0,6 части на миллион). Здесь сказывается повышенное содержание выхлопных газов автотранспорта.

Все поллютанты-токсиканты делятся на несколько классов по степени их опасности для организма (табл. 11). Например, среди тяжелых металлов различают самые токсичные:

1-й класс опасности: соединения ртути, свинца, цинка, мышьяка, кадмия, селена и бериллия;

2-й класс опасности: соединения хрома, никеля, молибдена, кобальта, меди и сурьмы;

3-й класс опасности: соединения марганца, бария, ванадия и стронция.

Соединения многих этих элементов ежегодно попадают в наш организм через пищу, воду и воздух. В частности, на одного жителя России в год приходится около 342 кг атмосферных выбросов, причем в 84 городах загрязнение воздуха на порядок превышает норму. В результате, по оценкам специалистов, две трети россиян живет в неблагоприятных экологических условиях. Если учесть, что, по данным ВОЗ, более чем из 6 млн известных соединений около 40 тыс. обладают вредными для человека свойства-

Таблица 11

Вещества, отнесенные к разным классам опасности

| Показатель | Норма для класса опасности | | | |
|------------------------------------------------------|----------------------------|----------|-------------|--------------|
| | 1-й | 2-й | 3-й | 4-й |
| ПДК в воздухе рабочей зоны, мг/м ³ | Менее 0,1 | 0,1–1,0 | 1,1–10 | Более 10 |
| Смертельная доза (перорально), мг на 1 кг ж. в. | Менее 15 | 15–150 | 151–5000 | Более 5000 |
| Смертельная доза (на кожу), мг на 1 кг ж. в. | Менее 100 | 100–500 | 501–2500 | Более 2500 |
| Смертельная концентрация (воздух), мг/м ³ | Менее 500 | 500–5000 | 5001–50 000 | Более 50 000 |

ми, то оказывается, что около 60 млн человек в нашей стране постоянно находится в условиях, где концентрация таких веществ выше предельно допустимых (ПДК). Аллергии, респираторные и сердечные заболевания, болезни органов пищеварения и кровообращения и многое другое — результаты их воздействия на организм. Одним из тревожных моментов является постоянное присутствие загрязнителей и токсикантов в наших домах.

6.5.4. ПОЛЛЮТАНТЫ В БЫТУ

Воздух и вода. В наших жилищах, сами того не замечая, мы сталкиваемся с многочисленными загрязнителями как естественного, так и искусственного происхождения. К первым относится радон, выделяющийся бетонными конструкциями и природным камнем, например гранитом. Обладая более высокой плотностью по сравнению с воздухом, он накапливается в нижней части помещения и на нижних этажах домов. Этот газ уже в относительно небольших концентрациях обладает канцерогенным и мутагенным действием. Эффективным способом очистки является проветривание помещений.

Одним из наиболее опасных компонентов воздуха в нашем доме является природное вещество асбест, мельчайшие волокна (кристаллики) которого обладают способностью накапливаться и вызывать рак, в первую очередь дыхательных путей и легких. Его источники — разного рода теплоизоляция (труб, стен и перекрытий, печей и каминов и др.).

Искусственными поллютантами являются растворители и другие летучие компоненты клеев, лаков, красок и смол, которыми пропитаны строительные материалы (ДСП, пластиковые покрытия, линолеум, ковры и пр.). К наиболее опасным относится формальдегид (входит в состав фенол-формальдегидных смол тех же клеев и красок). Запах его и других соединений отчетливо ощущается, когда мы приходим в новый дом. Не зря негативные последствия вдыхания таких веществ называются «болезнью новых домов». Первые ее симптомы — это раздражение слизистых глаз,

носа и горла, головные боли, головокружение, усталость. К заболеваниям, которые провоцируют эти соединения, относятся аллергия, астма, кожные, раковые и ряд других.

Фунгициды и инсектициды, используемые для защиты дерева, также относятся к поллютантам, причем высокотоксичным. Избавиться от всех этих веществ (пропиток, смол, клеев и др.) за короткое время невозможно, поскольку они достаточно длительно «выпотевают» из полимерного носителя или выделяются деревом, но снизить содержание в воздухе можно тем же проветриванием.

К загрязнителям относятся также различного рода поверхностно-активные вещества (ПАВ), или детергенты. Эти соединения находятся в составе шампуней, пен, стиральных порошков, чистящих средств, в том числе отбеливателей, эмульсий и пр. Они опасны в силу своей мембранотропности, т. е. способности встраиваться в клеточные мембраны, нарушая их структуру и свойства, а также свойства содержащихся в них так называемых интегральных белков. Такие соединения (в составе большинства ядохимикатов тератогенные) вызывают аллергические и другие заболевания, связанные с реакцией клетки на нарушение проницаемости ее мембраны. Они чаще всего попадают внутрь с поверхности рук и посуды, которую ими сегодня (благодаря рекламе) так активно моют наши хозяйки. Следовательно, надо реже использовать синтетические и больше природные мыла и шампуни, тщательно отмываясь от них.

К искусственным поллютантам можно отнести природный газ и продукты его неполного сгорания (а также угля, мазута и пр.). Последствий мы касались, обсуждая проблему смога (см. выше). К таким загрязнителям относятся пыль и дым, главным образом табачный, наиболее опасный, как широко сообщается, для некурящих (т. н. пассивное курение). В его составе, кроме оксида углерода, находится более 40 токсичных, в том числе канцерогенных соединений. Они и другие поллютанты воздуха отражаются на нашем состоянии особенно при плохой вентиляции помещений, повышенной температуре и влажности, а также при ее недостатке.

Важно отметить, что реакция на различного рода поллютанты зависит как от окружающих условий (чрезмерная или недостаточная влажность), так и от возраста человека (наиболее подвержены дети и пожилые люди), его состояния. Причем, чем длительнее контакт с вредными веществами, тем сильнее их эффект. Он может проявиться не сразу, а спустя какое-то время, что еще опаснее, поскольку это приводит к более глубоким изменениям в организме (сердечные заболевания, болезни дыхательных путей и пр.).

Обратим внимание на то, что в ряде случаев набор загрязнителей обладает более эффективным воздействием, чем сами вещества в отдельности. Здесь проявляется так называемый синергизм действия.

Кроме указанного, следует обратить внимание на биологические компоненты воздуха — бактерии и вирусы (их высокое содержание отмечается в транспорте, в частности в метрополитене), пылевые клещи, споры плесени, пыльцу, а также шерсть животных, в том числе в составе покрытий, ковров, одежды и пр. Многие из этих компонентов вызывают аллергию, некоторые типы астмы, а бактерии и плесень выделяют токсины. Ряд заболеваний, таких как корь, туберкулез, оспа, грипп, также передается через воздух. Хорошая вентиляция и оптимальный уровень влажности (30–50%) — основные способы борьбы с загрязнением воздуха.

Два слова о нашей воде. Хотя вода из-под крана относится по степени очистки к питьевой, употреблять ее напрямую не рекомендуется по ряду причин. Первая из них — это повышенное содержание ионов металлов и органики, вымывающихся из наших труб. Особенно загрязненной является горячая вода, так как в ней растворимость многих соединений выше, чем в холодной. В воде могут оказаться остатки и продукты тех веществ, которые использовались для ее очистки (например соли алюминия) и обеззараживания (соединения хлора). Особенно насыщенной примесями является вода в весенний период в связи с паводками, вызывающими накопление ряда опасных соединений в водоемах, откуда идет ее забор.

ВОЗ предупреждает, что 80% заболеваний на планете вызваны некачественной водой. Так, каждый пятый американец в 1991 году пил загрязненную воду. Ежегодно в США от этого заболевает около 900 тыс. человек. В России каждая пятая проба воды (водопроводной) не соответствует санитарным нормам, каждая восьмая — микробиологическим. А ведь такую воду употребляют жители 70% городов и населенных пунктов. Поэтому сегодня основным требованием к питьевой воде является ее очистка, например с помощью фильтров, но и к ним надо подходить избирательно. Многие фильтры не удовлетворяют стандартам, а их длительное использование приводит к загрязнению воды микроорганизмами, осевшими в самом фильтрующем патроне.

Продукты питания. Масса пищевых продуктов, как известно, контролирует численность населения и животных. При этом недостаток пищи (недокорм) приводит к снижению упитанности, продуктивности, сопротивляемости внешним воздействиям. В частности, недостаток витаминов вызывает гиповитаминоз. Например, нехватка в пище витамина А приводит к ослаблению и нарушению зрения, витамина С — к цинге, витамина Е — к дистрофии мышц и т. д.

Но и избыток пищи, ее потребление выше нормы также негативно отражаются на организме. Это ожирение со всеми вытекающими последствиями, в частности нарушениями дыхания и сердечной деятельности. У животных это может вызывать бесплодие, а избыток витаминов ведет к гипervитаминозу, одним из проявлений которого может быть аллергия.

Еще одним фактором, связанным с пищей, является наличие в ней загрязнителей. Это естественные поллютанты, такие как ингибиторы ферментов, антивитамины, агглютинины, бензопиррен и другие (в зерне), а также нитраты (в картофеле). В большинстве их суммарное воздействие не равно сумме биоэффектов соединений в отдельности (есть антагонисты и синергисты). Причем многие из таких веществ разлагаются при нагревании. Но есть группа синтетических добавок (вкусовых, красителей и пр.), которые

являются наиболее опасными как в силу своей биоактивности и устойчивости, так и неполной очистки от поллютантов, обладающих биологическим действием и способностью к накоплению в организме.

Многие поллютанты попадают в наши продукты через почву, например селен, который замещает серу в ее органических соединениях, в частности в аминокислотах. Другим источником являются сорняки (дурман, куколь). Кроме того, токсичность, например меда, может быть вызвана рододендронами, пасленовыми, жасмином. Еще источники — членистоногие и грибы, а также плесень и спорынья, выделяющие токсичные продукты (микотоксины, яды). В итоге афлатоксины могут вызвать рак, а бактериальные яды — ботулизм.

И, наконец, опасность продуктов питания может быть связана с наличием в них удобрений, ядохимикатов, а также пищевых добавок, которые сегодня используются все шире. Плюс к этому не надо забывать, что упаковка, отходы или те же продукты в копченном или сыром виде могут также содержать токсичные вещества. Медицинские синтетические препараты — это отдельный вопрос.

Следует отметить, что промышленные продукты — источники загрязнений широкого распространения — встречаются в основном в городах, а соответствующие сельскохозяйственные продукты — в сельской местности (местное распространение). В то же время на рекреационных территориях, например в курортных зонах, остро стоит проблема отходов, главным образом пищевых.

Контролируют поллютанты в составе продуктов питания в нашей стране специальные лаборатории. Соответствующие нормы их содержания разрабатываются и публикуются как в стране, так и за рубежом. Например, в 1982 году в странах ЕС был принят закон о химических продуктах, касающийся в первую очередь новых, допускаемых на рынок.

В заключение отметим, что специальная дисциплина, занимающаяся воздействием различных веществ, главным образом токсичных, на клетки, организмы, популяции называется экотоксикологией.

6.6. ЗАЩИТА БИОСФЕРЫ

Биосфера — тончайшая оболочка жизни на Земле. Она слишком слаба и чувствительна, чтобы подвергать ее таким испытаниям, о которых уже говорилось и в которых повинен в первую очередь человек. Разве разум нам дан для того, чтобы убивать себя и братьев меньших? Нет даже смысла обсуждать этот вопрос, когда для кучки обывателей деньги дороже жизни. Да, только во имя «золотого тельца» осуществляются всякого рода преступления на планете, в том числе экологические, хотя они и прикрываются лозунгом «Во имя прогресса». Пора остановить это безумие!

Если есть экологически безвредный транспорт (электрические или, например, двигатели на воде — на смеси продуктов разложения водорода и кислорода, спроектированные еще столетие назад), то давайте его производить (ограничивая вредность имеющегося транспорта, как это сделано сегодня в Германии). Если есть безотходные промышленные и сельскохозяйственные технологии, то давайте их внедрять (как это делается в Японии). Если есть возможность обходиться без синтетических химических препаратов и в поле, и в быту, в том числе медицинских (например, гомеопатия или лечение водой, которое пропагандирует американский врач иранского происхождения Батмангхелидж) — давайте так и будем делать. А не то некоторые «друзья» скоро заменят всю нашу прекрасную пищу небезопасными синтетическими пищевыми добавками.

Создание клонов и мутантов, получение генномодифицированных организмов и продуктов, выращивание органов из стволовых клеток — эти вопросы действительно интересны и для практики, и для науки. Но не будем забывать уроки истории, когда наскоро испытанные технологии быстро внедряли (опять деньги!), а потом также быстро сворачивали. Химизация народного хозяйства еще свежа в памяти старшего поколения, а ее негативные последствия, также как бурный рост ряда заболеваний, еще долго будут давать о себе знать. А ведь то, о чем сегодня

идет речь, — это внедрение в святая святых — в генетический аппарат. Последствия этого мы увидим, скорее всего, только через поколения, но тогда, может, слишком поздно будет что-то изменить.

Сегодня нужны строгие ограничительные меры и нормативы, жесткое их соблюдение, в частности ПДК. К нашей чести, предельно допустимые концентрации многих соединений в воде и пище у нас в стране (еще со времен СССР) ниже, чем во многих странах мира. Следовательно, нужны соглашения на уровне правительств. ООН, ЮНЕСКО и другие международные организации не прекращают попытки их инициировать. Но необходимо и движение снизу. Вспомним: «верхи не хотят жить по-старому, а низы не могут». Да, в настоящее время есть все условия для экологической революции, есть организации, которые могли бы ее инициировать. Возможно, это «зеленые» (Гринпис) или антиглобалисты, хотя им не хватает поддержки на уровне государств и правительств, а также понимания их методов широкими массами.

В заключение этого раздела отметим ряд мероприятий (хотя во многом это полумеры), направленных на защиту биосферы:

- замена вредных веществ в производстве менее вредными, сухих способов переработки — мокрыми;
- выпуск конечных продуктов в наименее вредной, в том числе в непылящей форме (в упаковке);
- ограничение содержания примесей в исходных и конечных продуктах;
- применение прогрессивных технологий производства, исключая контакт человека с поллютантами (замкнутые циклы, полная механизация и дистанционное управление, непрерывность производства и автоматический контроль);
- создание оборудования (в том числе вентиляции, канализации и пр.), исключая выделение вредных выбросов, его правильная эксплуатация;
- рациональная планировка и размещение промышленных площадок, зданий, помещений, в том числе жилых.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Биосфера, ее экологическая роль.
2. Происхождение и эволюция организмов.
3. Биогенные элементы, законы и правила. Биологическая роль на примере отдельных макро- и микроэлементов.
4. Биогеохимические циклы, их нарушение и поддержание.
5. Биотический круговорот элементов (примеры), его роль.
6. Хемомедиаторы, их функции.
7. Поллютанты, их токсическое действие и клеточные мишени.
8. Поллютанты в быту.
9. Защита биосферы.

РОССИЙСКОЕ ЗАКОНОДАТЕЛЬСТВО И МЕЖДУНАРОДНОЕ СОТРУДНИЧЕСТВО В ОБЛАСТИ ЭКОЛОГИИ

7.1. ПРИРОДООХРАННАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ В РОССИИ

В России создана и функционирует система экономических механизмов охраны окружающей среды. В нее включено следующее:

- введение кадастров;
- планирование;
- система платежей (за ресурсы и загрязнения);
- финансирование природоохранной деятельности (экологические фонды);
- экологическое страхование;
- эколого-экономическое стимулирование.

Одновременно с этим активно развивается экологическая стандартизация — направление нормативно-правового регулирования охраны среды и природопользования. Разрабатываются и внедряются в практику нормативно-технические документы, содержащие экологические стандарты, т. е. требования к качеству окружающей среды. Они относятся к подзаконным правовым актам. В настоящее время Госстандартом РФ разработано и утверждено более 50 отечественных экологических стандартов. Центральным является ГОСТ 17.0.0.01-76 «Система стандартов в области охраны окружающей среды и улучшения использования природных ресурсов».

Под качеством среды понимается ее соответствие потребностям человека и технологическим требованиям. В основу природоохранных мероприятий положен следующий принцип: *нормирование качества окружающей*

среды — это установление показателей (нормативов) предельно допустимых воздействий человека на природу.

Эффективные природоохранные мероприятия невозможны без установления пороговых концентраций (и физических доз, например радиации), выше которых жизнедеятельность прекращается. Очевидно, что чем они ниже, тем выше качество окружающей среды. Однако высокое качество требует больших затрат, поэтому надо руководствоваться экономической целесообразностью, как ни странно это звучит, когда речь идет о здоровье, в том числе и человека. Нормативы качества по мере развития общества становятся более жесткими. В этом плане наша страна уже сегодня выгодно отличается от ряда европейских, а тем более азиатских и африканских стран.

Согласно природоохранному закону РФ (1991), соблюдение экологических нормативов обеспечивает экологическую безопасность населения; сохранение генофонда человека, растений и животных; рациональное использование и воспроизводство природных ресурсов.

7.2. ВИДЫ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ НОРМАТИВОВ

К основным экологическим нормативам относятся:

- предельно допустимая концентрация вредных веществ (ПДК);
- предельно допустимый уровень воздействия (ПДУ);
- предельно допустимый выброс вредных веществ (ПДВ);
- предельно допустимый сброс вредных веществ (ПДС);
- предельно допустимая нагрузка на окружающую среду (ПДН).

В этом ряду ПДК и ПДУ относятся к санитарно-гигиеническим показателям, ПДВ и ПДС — к производственно-хозяйственным, а ПДН — к комплексным показателям окружающей среды.

Предельно допустимая концентрация (ПДК) — количество поллютанта в почве, воздушной или водной среде, которое при постоянном или временном воздействии не влияет на здоровье организма (человека и др.).

Максимальная разовая ПДК (ПДК_{м.р.}) — концентрация поллютанта в воздухе, которая не должна вызывать в течение 30 минут вдыхания рефлекторных реакций в организме человека (ощущение запаха и др.) (табл. 12).

Среднесуточная ПДК (ПДК_{с.с.}) — это концентрация вредного вещества в воздухе, которая не должна оказывать прямого или косвенного вредного влияния на человека при постоянном воздействии (табл. 12).

В нашей стране сегодня установлены ПДК более чем для 1900 веществ в водоемах, 1500 в атмосфере и 130 в почве. Они разработаны на основании комплексных исследований, постоянно пересматриваются, уточняются и контролируются органами Госкомсанэпиднадзора. Эти нормы являются юридически обязательными для всех организаций. Для воздуха они приведены в таблице 12. Заметим, что при оценке содержания нескольких веществ, обладающих синергизмом действия, сумма их концентрации не должна превышать единицы.

ПДК в воде означает такую концентрацию поллютанта, выше которой она становится непригодной для питья

Таблица 12

ПДК некоторых поллютантов в воздухе (1992 г.), мг/м³

| Загрязнитель | ПДК _{м.р.} | ПДК _{с.с.} |
|--------------------|---------------------|---------------------|
| Монооксид углерода | 5,0 | 3,0 |
| Бензол | 1,5 | 0,1 |
| Диоксид азота | 0,85 | 0,06 |
| Толуол | 0,6 | 0,6 |
| Оксид азота | 0,4 | 0,06 |
| Ацетон | 0,35 | 0,35 |
| Серная кислота | 0,3 | 0,1 |
| Аммиак | 0,2 | 0,04 |
| Уксусная кислота | 0,2 | 0,06 |
| Хлор | 0,1 | 0,03 |
| Сероуглерод | 0,03 | 0,005 |
| Этилбензол | 0,02 | 0,02 |
| Фенол | 0,01 | 0,003 |
| Формальдегид | 0,035 | 0,003 |
| Метилмеркаптан | 10 ⁻⁷ | — |

(табл. 13) или других видов водопользования (техническая вода, вода рыбохозяйств и пр.).

Под ПДК вредного вещества в почве понимается такая его максимальная концентрация, которая не может прямо или косвенно повлиять на среду, ее способность к самоочистке, а также на здоровье человека. Для ряда элементов ПДК в почве приведены в табл. 14.

Таблица 13

ПДК поллютантов в питьевой воде, мг/л

| Загрязнитель | ПДК |
|-----------------------------------------------|--------|
| Санитарно-токсикологический показатель | |
| Нитраты (по азоту) | 10,0 |
| Метан | 3,0 |
| Стронций | 7,0 |
| Бензол | 0,5 |
| Динитротолуол | 0,5 |
| Анилин | 0,1 |
| Свинец | 0,03 |
| Формальдегид | 0,05 |
| Хлорбензол | 0,02 |
| Ртуть | 0,0005 |
| Общесанитарный показатель | |
| Аммиак (по азоту) | 2,0 |
| Метилпироллидон | 0,5 |
| Стрептоцид | 0,5 |
| Тринитротолуол | 0,5 |
| Дибутилфталат | 0,2 |
| Бутилацетат | 0,1 |
| Органолептический показатель | |
| Дихлорметан | 7,5 |
| Бутанол | 1,0 |
| Динитробензол | 0,5 |
| Динитрохлорбензол | 0,5 |
| Диметилфенол | 0,25 |
| Бензин | 0,1 |
| Бутилбензол | 0,1 |
| Гексахлоран | 0,02 |

Таблица 14

ПДК химических элементов в почве, мг/кг

| Элемент | ПДК |
|----------|------|
| Марганец | 3000 |
| Стронций | 600 |
| Цинк | 70 |
| Медь | 60 |
| Йод | 40 |
| Кобальт | 30 |
| Бор | 30 |
| Молибден | 4 |

Предельно допустимый выброс (ПДВ) или сброс (ПДС) — это максимальное количество загрязнителя, которое может быть одновременно выброшено данным предприятием в атмосферу (ПДВ) или водоем (ПДС), не вызывая превышения ПДК или неблагоприятных экологических последствий. Такие нормативы устанавливаются для воздуха и воды водоемов в населенных пунктах, где расположены предприятия. Так, к началу 1988 года в нашей стране были установлены ПДВ более чем для 2000 предприятий. Однако сегодня рамки нормативов соблюдает не более 20% из них.

7.3. МЕЖДУНАРОДНОЕ СОТРУДНИЧЕСТВО В ОБЛАСТИ ЭКОЛОГИИ

Негативное воздействие на окружающую среду, в том числе антропогенное (например, пиролиз продуктов в процессе приготовления пищи на огне), по оценкам ученых насчитывает несколько тысячелетий. В частности, в истории известны катастрофы различного масштаба, в том числе планетарные. Но в последнее время экологические нарушения приобрели необратимый характер, что и привело к современной кризисной ситуации. Ее главные черты:

- истощение природных ресурсов;
- перенаселение;
- уничтожение биологических видов и целых экосистем;
- загрязнения, в том числе ксенобиотиками, т. е. соединениями, чуждыми природе.

Нарушение энергетического лимита и разрушение экосистем — это основные критические процессы в биосфере. По оценкам к 1990 году было разрушено около 20% экосистем, а сегодня — около 63%, и этот процесс продолжается, поскольку ежегодно гибнут тысячи видов организмов.

Создавшаяся ситуация требует соблюдения экологического императива.

Экологический императив — жесткое требование учета в хозяйственной деятельности человека экологических законов и норм, не превышающих экологическую емкость природных экосистем.

Эта емкость определяется, как отмечалось, способностью природы к самоочистке, регенерации изъятых ресурсов и восстановлению их естественных источников, а также мощностью потоков биогеохимического (биотического) круговорота. Но сегодня природа уже не справляется с антропогенным воздействием, и в результате мы оказались на пороге экологической катастрофы. Нет сомнений в том, что непереносимым условием дальнейшего существования жизни на Земле является сохранение биосферы. Для этого надо выбрать такой путь развития цивилизации, при котором как можно быстрее удастся сократить антропогенное давление на природу и тем самым оградить биосферу от разрушения.

Для этого необходимо международное сотрудничество в области охраны окружающей среды, поскольку государства находятся в экологической зависимости друг от друга. Это вытекает из того, что выбросы в атмосферу и водные бассейны не могут быть ограничены государственными границами. Мировое сообщество уже предприняло ряд шагов, направленных на решение накопившихся проблем, в первую очередь в области тех объектов, которые находятся за рамками юрисдикции одного государства. Это космос, Антарктида, атмосфера Земли и Мировой океан. Кроме того, это объекты, относящиеся к соседним государствам, такие как реки, внутренние моря, редкие и исчезающие виды животных и растений, уникальные природные объекты (заповедники, национальные парки и пр.)

В 1957 году был проведен Международный геофизический год. Он позволил создать сеть станций по наблюдению за окружающей средой. Регулярные исследования выявили ряд негативных тенденций, в частности повышение уровня углекислого газа в атмосфере и парниковый эффект. В результате в 1997 году был подписан Киотский протокол, установивший для ряда стран лимиты по выбросам этого газа, чтобы добиться их сокращения, по крайней мере, на 5%. В 1987 году 98 стран в Монреале заключили соглашение о постепенном сокращении производства хлорфторуглеродов (фреонов) и запрещении их выброса в атмосферу, а в 1990 году эти требования были ужесточены.

В 1972 году основные принципы международного сотрудничества в области экологии были обобщены в Декларации Стокгольмской конференции ООН. Их современная редакция изложена в Декларации конференции ООН в Рио-де-Жанейро (1992 год).

Суть их в следующем.

1. Люди имеют право на здоровую и плодотворную жизнь в гармонии с природой.

2. Развитие на благо нынешнего поколения не должно осуществляться во вред будущим поколениям и во вред окружающей среде.

3. Государства имеют суверенное право разрабатывать собственные ресурсы, но без ущерба для окружающей среды за пределами их границ.

4. Искоренение нищеты и неравенства в уровне жизни в разных частях мира необходимо для обеспечения устойчивого роста и удовлетворения потребностей большинства населения.

5. Государства должны сотрудничать в целях защиты окружающей среды, защиты и восстановления целостности экосистем планеты.

6. Государства развивают и поощряют информированность и участие в этом населения путем предоставления широкого доступа к экологической информации.

7. Государства принимают эффективные национальные законы по охране окружающей среды.

8. Экологическая политика не должна использоваться для неоправданного нарушения международной торговли.

9. Тот, кто загрязняет среду, должен нести финансовую ответственность за это.

10. Государства уведомляют друг друга о стихийных бедствиях или деятельности, которая может иметь вредные последствия за их границами.

11. Война неизбежно оказывает разрушительное воздействие на процесс устойчивого развития. Мир, развитие и охрана окружающей среды взаимосвязаны и неразделимы.

В заключение два слова о международных организациях, занимающихся проблемами охраны окружающей среды. Большой вклад вносит ООН. Здесь в природоохранной деятельности участвует ряд органов и учреждений, разрабатывающих соответствующие программы и документы.

ЮНЭП — Программа ООН по окружающей среде. Осуществляется с 1972 года и является основным органом ООН в данной сфере.

ЮНЕСКО — организация ООН по вопросам образования, науки и культуры. Существует с 1946 года. Самой известной является деятельность в рамках программы «Человек и биосфера», принятой в 1970 году.

ФАО — продовольственная и сельскохозяйственная организация ООН. Образована в 1945 году. Занимается вопросами пищевых ресурсов и развития сельского хозяйства в целях улучшения условий жизни.

ВОЗ — Всемирная организация здравоохранения. Создана в 1946 году. Ее главная цель — здоровье людей, что связано и с окружающей средой.

ВМО — Всемирная метеорологическая организация. Учреждена в 1951 году. Занимается глобальным мониторингом окружающей среды, в том числе вопросами трансграничного переноса веществ, озоновым слоем и др.

МОТ — Международная организация труда. Создана в 1919 году при Лиге Наций с целью создания безопасных условий труда, уменьшения загрязнений и пр.

МАГАТЭ — Международное агентство по атомной энергии. Учреждено в 1957 году. Осуществляет свою деятельность по договору с ООН.

Под эгидой ООН существует также ряд международных региональных организаций: Еврoатом, Европейский совет, Европейское экономическое сообщество, Организация экономического сотрудничества и развития, Азиатско-африканский юридический консультативный комитет, Хельсинский комитет по охране Балтийского моря и др.

В конце 1990-х годов в мире насчитывалось несколько сотен неправительственных организаций, включавших в свою деятельность и природоохранные вопросы. Отметим только важнейшие.

МСОП — Международный союз по охране природы. Создан в 1948 году. Инициатор создания «Красной книги», куда заносят редкие и исчезающие виды.

WWF (ВВФ) — Всемирный фонд охраны дикой природы. Образован в 1961 году. Занимается природоохранными мероприятиями, в том числе организацией их финансирования.

МЮО — Международная юридическая организация. Создана в 1968 году. Уделяет значительное внимание правовым вопросам охраны среды.

РК — Римский клуб. Организует крупномасштабные исследования состояния окружающей среды, изучает перспективы и пропагандирует идеи гармонического развития человека и природы.

МЭС — Международный экологический суд (1994 год).

Гринпис — Зеленый мир (1971 год). Независимая международная общественная организация, ставящая целью сохранение окружающей среды.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Экономические механизмы охраны окружающей среды (на примере России).
2. Экологические нормативы. Оценка элементов по их ПДК в воздухе, воде, почве.
3. Современная кризисная ситуация в мире, ее особенности и способы преодоления.
4. Международное сотрудничество в области экологии. Декларация ООН 1992 года.
5. Международные организации по защите окружающей среды.

СПИСОК ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Барбье Н.* Введение в экологическую химию. М.: Мир, 1978.
2. *Вернадский В. И.* Химическое строение биосферы Земли и ее окружение. М.: Наука, 1965.
3. *Реймерс Н. Ф.* Экология. М.: Россия молодая, 1994.
4. *Тиксли П.* Поведение химических загрязнений в окружающей среде. М.: Мир, 1982. 1965.
5. *Чернобаев Н. Л.* Химия окружающей среды. К.: Наукова думка. 1990.
6. *Шустов С. Б., Шустова Л. В.* Химические основы экологии. М.: Просвещение, 1995.
7. Экологическая химия / Под ред. Ф. Кортэ. М.: Мир, 1996.

ОГЛАВЛЕНИЕ

| | |
|-------------------|---|
| Предисловие | 3 |
| Введение | 4 |

Глава 1

ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И КОНЦЕПЦИИ

| | |
|---------------------------------------------------------------------|-----------|
| 1.1. Основные понятия экологии | 8 |
| 1.2. Учение Вернадского о биосфере | 9 |
| 1.3. Основы экологического учения | 12 |
| 1.3.1. Первое положение экологии | 12 |
| 1.3.2. Что нужно для выполнения первого положения экологии | 14 |
| 1.3.3. Второе положение экологии | 17 |
| 1.4. Законы экологии | 20 |
| 1.5. Правила и принципы экологии | 25 |
| Контрольные вопросы | 29 |

Глава 2

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ

| | |
|--------------------------------------------------------|-----------|
| 2.1. Классификация экологических факторов | 30 |
| 2.2. Важнейшие экологические факторы | 31 |
| 2.2.1. Солнечный свет | 31 |
| 2.2.2. Ионизирующее излучение Земли | 33 |
| 2.2.3. Тепловая энергия | 36 |
| 2.2.4. Вода | 39 |
| 2.2.5. Воздух | 42 |
| 2.2.6. Почва | 44 |
| 2.2.7. Организмы | 46 |
| 2.2.8. Информация | 49 |
| 2.2.9. Человек | 52 |
| Контрольные вопросы | 55 |

Глава 3

**ЭКОХИМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ
И ПРОБЛЕМЫ АТМОСФЕРЫ**

| | |
|------------------------------------------------------------------|----|
| 3.1. Атмосфера. Солнечная радиация | 56 |
| 3.2. Химия атмосферы | 59 |
| 3.2.1. Термосфера | 59 |
| 3.2.2. Мезосфера. Стратосфера. Цикл озона | 60 |
| 3.2.3. Стратосфера. Цикл серы. Кислотные дожди | 62 |
| 3.2.4. Тропосфера. Цикл перекисного радикала | 64 |
| 3.2.5. Тропосфера. Цикл гидроперекисного радикала. Смог | 65 |
| 3.3. Вода в атмосфере | 69 |
| 3.4. Загрязнение воздуха | 70 |
| 3.4.1. Парниковые газы | 72 |
| 3.4.2. Соединения серы | 75 |
| 3.4.3. Соединения азота | 76 |
| 3.4.4. Соединения углерода | 78 |
| 3.4.5. Тяжелые металлы | 80 |
| 3.5. Защита атмосферы | 82 |
| Контрольные вопросы | 83 |

Глава 4

**ЭКОХИМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ
И ПРОБЛЕМЫ ГИДРОСФЕРЫ**

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 4.1. Гидросфера. Вода | 84 |
| 4.2. Компоненты природной воды | 87 |
| 4.2.1. Катионы металлов | 89 |
| 4.2.2. Анионы кислотных остатков и лиганды | 90 |
| 4.2.3. Цикл пероксида водорода | 91 |
| 4.3. Основное равновесие в водоеме. Трофические цепи. Третье положение экологии | 93 |
| 4.4. Донные отложения. Эвтрофирование водоема | 96 |
| 4.5. Сине-зеленые водоросли | 99 |
| 4.6. Загрязнение водоемов и их охрана | 100 |
| 4.7. Очистка и самоочистка воды | 104 |
| 4.7.1. Очистка за счет физико-химических процессов | 104 |
| 4.7.2. Микробиологическая очистка | 106 |
| 4.7.3. Химическая очистка | 107 |
| 4.8. Стратегия водопользования | 113 |
| 4.9. Водоподготовка и очистка воды | 115 |
| Контрольные вопросы | 116 |

*Глава 5***ЭКОХИМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ
И ПРОБЛЕМЫ ПЕДОСФЕРЫ**

| | |
|-------------------------------------------------------|-----|
| 5.1. Почва | 118 |
| 5.2. Ресурсы почвы | 119 |
| 5.3. Физико-химические основы плодородия | 120 |
| 5.3.1. Биокomпонент почвы | 122 |
| 5.3.2. Вода в почве. Эрозия | 124 |
| 5.4. Загрязнение почвы | 127 |
| 5.4.1. Проблема азотных удобрений | 127 |
| 5.4.2. Другие удобрения. Тяжелые металлы | 129 |
| 5.4.3. Ядохимикаты | 132 |
| 5.5. Сохранение почвы | 134 |
| Контрольные вопросы | 135 |

*Глава 6***ЭКОХИМИЧЕСКИЕ
ПРОБЛЕМЫ БИОСФЕРЫ**

| | |
|-------------------------------------------------------------|-----|
| 6.1. Происхождение биосферы | 136 |
| 6.2. Экологическая роль биосферы | 141 |
| 6.3. Биогенные элементы | 145 |
| 6.4. Биогеохимические циклы | 148 |
| 6.4.1. Круговорот азота | 150 |
| 6.4.2. Круговорот фосфора | 151 |
| 6.4.3. Круговорот углерода | 151 |
| 6.4.4. Круговорот металлов | 152 |
| 6.5. Действие химических факторов на организмы | 153 |
| 6.5.1. Хемомедиаторы | 154 |
| 6.5.2. Поллютанты, их клеточные мишени | 155 |
| 6.5.3. Виды токсического действия поллютантов | 158 |
| 6.5.4. Поллютанты в быту | 161 |
| 6.6. Защита биосферы | 166 |
| Контрольные вопросы | 168 |

*Глава 7***РОССИЙСКОЕ ЗАКОНОДАТЕЛЬСТВО И
МЕЖДУНАРОДНОЕ СОТРУДНИЧЕСТВО
В ОБЛАСТИ ЭКОЛОГИИ**

| | |
|-------------------------------------------------------------------|-----|
| 7.1. Природоохранная деятельность в России | 169 |
| 7.2. Виды экологических нормативов | 170 |
| 7.3. Международное сотрудничество в области экологии | 173 |
| Контрольные вопросы | 177 |
| Список дополнительной литературы | 178 |

Владислав Викторович ЕГОРОВ

**ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ
ХИМИЯ**

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ

Генеральный директор *А. Л. Кноп*
Директор издательства *О. В. Смирнова*
Художественный редактор *С. Ю. Малахов*
Редактор *Р. И. Исаева*
Корректоры *В. О. Логунова, И. А. Короткова*
Верстальщик *В. В. Воскресенская*
Подготовка иллюстраций *Н. А. Платонова*
Выпускающие *Н. К. Белякова, О. В. Шилкова*

ЛР № 065466 от 21.10.97

Гигиенический сертификат 78.01.07.953.П.004173.04.07
от 26.04.2007 г., выдан ЦГСЭН в СПб

Издательство «ЛАНЬ»

lan@lpbl.spb.ru

www.lanbook.com

192029, Санкт-Петербург, Общественный пер., 5.

Тел./факс: (812)567-29-35, 567-05-97, 567-92-72;

Подписано в печать 20.11.07.

Бумага офсетная. Гарнитура Школьная. Формат 84×108^{1/32}.

Печать офсетная. Усл. п. л. 10,08. Тираж 1000 экз.

Заказ № .

Отпечатано в полном соответствии
с качеством предоставленных диапозитивов
в ОАО «Издательско-полиграфическое предприятие «Правда Севера».
163002, г. Архангельск, пр. Новгородский, д. 32.
Тел./факс (8182) 64-14-54; www.ippps.ru