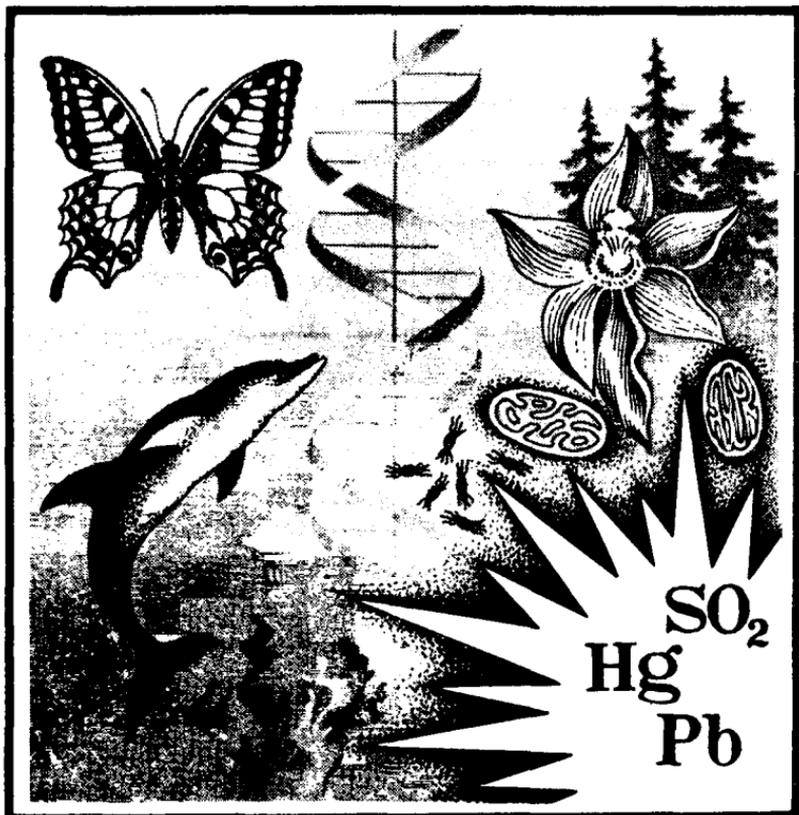


А.В.ЯБЛОКОВ,С.А.ОСТРОУМОВ

УРОВНИ  
ОХРАНЫ  
ЖИВОЙ ПРИРОДЫ



ИЗДАТЕЛЬСТВО · НАУКА ·

АКАДЕМИЯ НАУК СССР  
Серия «Человек и окружающая среда»

А. В. ЯБЛОКОВ  
С. А. ОСТРОУМОВ

# УРОВНИ ОХРАНЫ ЖИВОЙ ПРИРОДЫ

Ответственный редактор  
член-корреспондент АН СССР  
Н. Г. ХРУЦОВ



МОСКВА  
«НАУКА»

1985

К 7035479

ВОЛОГОДСКАЯ  
областная библиотека  
им. И. В. Бабушкина

5 5(069) Экология

714

Я 14 Яблоков А. В., Остроумов С. А. Уровни охраны живой природы. — М.: Наука, 1985. — 175 с., ил. — (Серия 28.08 «Человек и окружающая среда»).

В книге рассмотрены различные проблемы, связанные с охраной живой природы, по уровням организации живой материи: молекулярно-генетическом, онтогенетическом, популяционно-видовом и биогеоценотически-биосферном. Такое рассмотрение позволяет предложить некоторые пути решения проблем охраны живой природы.

20.1

Рецензенты:

Н. Н. СМИРНОВ, В. Е. ФЛИНТ

Я  $\frac{2001000000-249}{054 (02)-85}$  64-85 НП

© Издательство «Наука», 1985 г.

## ПРЕДИСЛОВИЕ

В последние годы в изучении живой природы Земли все более заметное место занимают проблемы антропогенных воздействий на биогеоценозы и другие вопросы охраны и рационального использования ресурсов. В нашей стране научно-исследовательские работы в этих направлениях координируют несколько научных советов при Отделении общей биологии Академии наук СССР. По мере расширения фронта работ по научным основам охраны живой природы такая координация становится все более сложной. Это связано с объективной сложностью и многогранностью данной области науки. Так, в состав биогеоценозов входят животные и растения, грибы и микроорганизмы, косные и биокосные компоненты. Все они в той или иной степени служат объектами антропогенных воздействий, определенным образом реагируют на них и подвергаются изменениям. Для правильного выбора стратегии охраны природы следует знать особенности реакций на антропогенные воздействия организмов самых разных таксономических групп. Фактическая информация в этой области накапливается очень быстро и актуальным становится постоянное обобщение всех этих фактов.

Как правило, обобщения в области охраны живой природы до последнего времени были основаны либо на рассмотрении отдельных групп организмов (растений, животных), либо касались оценки влияния отдельных факторов (физических, химических, по отраслям хозяйства и т. п.). В представляемой на суд читателей работе А. В. Яблокова и С. А. Остроумова сделана попытка такого обобщения на основе концепции разных уровней организации живой природы, одного из сравнительно новых общепаразитических подходов. Уже сейчас можно сказать, что интеграция на этой основе довольно разрозненных знаний по охране живой природы оказалась, несомненно, полезной для более глубокого понимания проблемы в целом.

В этой книге читатель найдет множество самых разнообразных и порой неожиданных сведений, связанных с охраной живой природы; это — еще одно достоинство этой небольшой книжки. Однако ее не следует рассматривать как справочник по охране живой природы или сводку бесспорных истин. Эта книга — часть поиска научных обобщений и подходов к таким обобщениям, который широко ведется биологами, связанными с охраной живой природы как в нашей стране, так и во всем мире. Отмечу три важные особенности такого поиска. Во-первых, острый дефицит времени, поскольку антропогенное влияние на биосферу растет крайне быстрыми темпами. Во-вторых, объективная неизбежность ошибок в отдельных оценках, поскольку факты в этой области накапливаются очень быстро. Последнее обстоятельство определяет и третью особенность теоретических исследований в области охраны живой природы: возможность резкого изменения приоритетности тематики и первоочередности решаемых проблем (например, мало кто еще десяток лет назад мог предположить, что более половины из гибнущих в Англии лебедей умирают от отравления свинцовыми рыболовными грузилами и дробью).

Возможно, не все мысли авторов найдут дальнейшее подтверждение, не все предположения окажутся справедливыми. Однако бояться этого не следует, так как иначе наука развиваться и не может. Важно то, что общий подход авторов к проблемам охраны природы, основанный на рассмотрении по уровням организации живой природы, кажется обоснованным, интересным и перспективным.

Академик М. С. Гиляров

## ВВЕДЕНИЕ

На протяжении веков, и особенно в XIX—начале XX в., усилия в области охраны природы были направлены в первую очередь на охрану от непосредственного уничтожения отдельных ценных видов животных и растений и на охрану отдельных чем-то замечательных участков территории. К середине XX в. резкое ухудшение качества среды обитания, с одной стороны, и прогресс науки — с другой, остро поставили проблему изучения влияния человека на всю биосферу. Вся природа была включена в область повышенного внимания человека к своему дому — планете Земля. Выяснилось, что у нас нет надежных данных по динамике большинства жизненных параметров нашей среды. Началось наступление в области изучения биосферы в целом. Сейчас оно вылилось в основном в изучение и контроль качества воды, воздуха и почв, мониторинг глобальных процессов. При этом живые компоненты биосферы, как правило, оказываются в стороне или на втором плане.

Такое положение возможно только потому, что с экологически безграмотной точки зрения не просматривается непосредственной и прямой связи между существованием нескольких миллионов видов живых существ и существованием и благополучием человека. Такая связь есть уже хотя бы потому, что формирование и поддержание газового состава атмосферы и чистоты пресных и морских вод, а в конечном счете и вся очистка окружающей нас среды от того многообразного и возрастающего количества отходов, которое выделяет человек в биосферу, — все это осуществляется именно живыми компонентами биосферы — растениями, животными, грибами и микроорганизмами. Добавим, что и плодородие почв — одна из основ существования человеческого общества — полностью определяется жизнью и деятельностью живых существ.

Осознание зависимого положения человека в природе означает, по существу, экологизацию мышления, сознания и как следствие — экологизацию жизни общества.

Эта экологизация жизни общества предполагает более глубокое понимание процессов и изменений в биосфере, вызванных антропогенными воздействиями. В этом направлении накапливают материал многие науки. Своё место на этом фронте исследований занимают и биологи, призванные анализировать процессы, происходящие в живой природе. Попытка обобщения и систематизации уже накопленного биологами большого фактического материала, осуществленная нами в книге «Охрана живой природы. Проблемы и перспективы» (Яблоков, Остроумов, 1983) убедила нас, что одним из наиболее перспективных оказывается подход по уровням организации живой материи. Этот подход, как нам кажется, даёт уникальные возможности как анализа, так и синтеза при разработке природоохранных проблем. При традиционном подходе, например, загрязнение среды рассматривается как монолитная, одноплановая проблема. При подходе, развиваемом в настоящей работе, оказывается, что на разных уровнях организации живого проблема загрязнения просматривается в совершенно разных плоскостях. Например, попадание свинца в организм водоплавающих птиц (через проглоченную дробь, рыболовные грузила — масштабы удивят даже специалистов) должно быть рассмотрено, во-первых, на онтогенетическом уровне (заболевания в результате отравления свинцом), во-вторых, — на популяционно-видовом уровне (как это скажется на показателях выживаемости и смертности, популяционной структуре) и, наконец, — на молекулярно-генетическом уровне (в свете метаболических процессов, связанных с судьбой свинца в организме животных).

В практическом плане всегда остро стоит задача определения природоохранных приоритетов. Программа по спасению от вымирания 25 особей калифорнийского кондора стоит 25 млн. долларов и не гарантирует успеха. Не лучше было бы направить эти средства на решение других природоохранных задач с гарантированной пользой (например, на сохранение каких-то критических местообитаний)? Для определения приоритетов в этой области необходимо охватить единым взглядом всю совокупность проблем охраны живого. До последнего времени это казалось почти невозможным из-за многообразия таксонов, разнообразия факторов антропогенного влияния, сложности связей между разными аспектами проблем охраны природы. При рассмотрении проблем охраны природы по уровням организации живой материи возникает,

как нам кажется, новая возможность систематизации и классификации проблем охраны живой природы.

Подход к проблемам охраны живой природы с позиций уровней организации живого позволяет наводить более прочные концептуальные и фактологические мосты между практической и теоретической охраной живой природы и всеми биологическими дисциплинами, включая биохимию, физиологию, молекулярную и популяционную биологию, биологию развития и др.

Этот подход определяет и необходимость широкого обращения к данным, накопленным при изучении человека; проблемы протекания многих заболеваний, связанных с влиянием загрязнений среды, в ряде случаев лучше и подробнее исследованы на человеке, и эти выводы вполне приложимы к животному миру.

Основу книги составляют четыре главы, посвященные рассмотрению проблем охраны живого на четырех главных уровнях организации живой материи: молекулярно-генетическом, онтогенетическом, популяционно-видовом и биогеоценотически-биосферном. В первой, вводной, главе, предшествующей поуровневому рассмотрению проблем, предельно кратко характеризуются масштабы антропогенного изменения биосферы Земли. Сделать это оказалось необходимым, чтобы дать читателю возможность оценить относительную важность тех или иных антропогенных влияний при дальнейшем знакомстве с проблемами по уровням. Книга завершается главой, в которой мы также кратко говорим о некоторых важных перспективах в охране живой природы.

Из сказанного ясно, что эта книга не может рассматриваться как исчерпывающая сводка данных по охране живой природы: из многих фактов по каждому вопросу мы даем лишь некоторые. В то же время мы надеемся, что в книге нашли отражение почти все или многие основные проблемы охраны живой природы, и что любой читатель — от впервые знакомящегося с задачами охраны живой природы до специалиста в этой области — найдет что-то интересное, полезное в предлагаемом нами подходе к анализу всей проблемы.

В процессе работы над книгой мы пользовались советами многих коллег, в том числе А. С. Антонова (МГУ), Е. В. Гвоздева (АН КазССР), Т. Г. Гильманова и А. М. Гилярова (МГУ), Р. Г. Маева (Институт химической физики АН СССР), В. Н. Максимова (МГУ), С. Г. Приклонского (Окский заповедник), И. А. Рапо-

порта (Институт химической физики), Л. М. Сущени (АН БССР), М. М. Телитченко, О. Ф. Филенко (МГУ), Ф. Р. Штильмарка (ИЭМЭЖ АН СССР), М. В. Черкасовой (ВНИИ природа), Н. Н. Щербака (АН УССР), а также зарубежных ученых, и в первую очередь В. Клаве (Interamerican Tuna Tropical Comission, Scripps Institution, США), К. Стивенс (Animal Welfare Institute, США), Дж. Барздо (IUCN Conservation Monitoring Center, Великобритания), Х. Хекстра (European Information Center for Nature Conservation, Страсбург), М. Сулея (Michigan State University, США) и Д. Симберлофа (Florida State University, США). Всем им мы выражаем искреннюю благодарность. Мы глубоко признательны также В. Е. Флинту и Н. Н. Смирнову, много сделавшим для улучшения книги на завершающих этапах ее создания.

Авторы посвящают эту книгу светлой памяти академика Меркурия Сергеевича Гилярова, многие годы возглавлявшего Научный совет по проблемам биогеоценологии и охраны природы Академии наук СССР и активно способствовавшего появлению этой книги.

## Глава I

# БИОСФЕРА СЕГОДНЯ: МАСШТАБЫ АНТРОПОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

Основное содержание этой книги — рассмотрение проблем охраны живой природы на разных уровнях организации живой материи. Однако прежде чем перейти к этому анализу по уровням, необходимо предельно кратко оценить степень антропогенной трансформации биосферы. Среди важных работ последних лет на эту тему надо назвать «Всемирную стратегию охраны природы» (1980), «Мир в 2000 году» (1979), «10 лет после Стокгольма» (1982), а также сводки Ф. Рамада (1981), Д. П. Никитина и др. (1977), В. Ф. Бартова и др. (1981), Ю. А. Исакова и др. (1980), А. М. Алпатьева (1983) и целый ряд других. К ним и должен будет обратиться читатель, который захочет получить более подробную информацию об изменении лица Земли в результате развития человечества во второй половине XX в. Мы же здесь приведем лишь некоторые примеры, говорящие о масштабах этого процесса. При этом мы остановимся только на использовании территории и на общем уровне загрязнения окружающей природной среды.

### 1. Использование территории планеты

Около 9—12 % поверхности Земли распахано, еще 22—25 % представляют собой полностью или частично окультуренные пастбища. Если к этому добавить еще около 2—3 % поверхности Земли, занятых транспортной сетью, крышами наших домов и промышленностью, и около 1 % территории планеты, нарушенной разработками полезных ископаемых, то окажется, что около 40 % поверхности Земли к середине XX в. было существенно (а в большинстве случаев — кардинально) преобразовано деятельностью человека (рис. 1).

В конкретных регионах планеты ситуация, конечно, различается. В одних местах сложились мегаполисы —

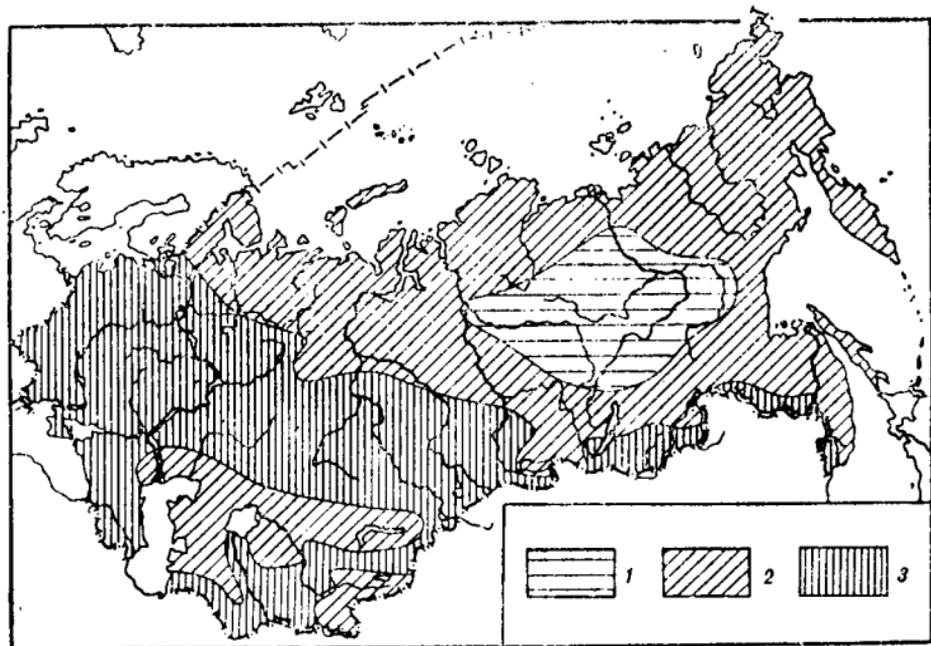


Рис. 1. Степень антропогенной трансформации биомов на территории СССР. 1 — 0—35 % площадей испытывают воздействие человека; 2 — 36—75 %; 3 — 76—100 % (Исаков и др., 1980)

сплошные человеческие поселения городского типа, тянущиеся непрерывно на сотни километров (Рур в ФРГ, Лос-Анджелес с пригородами в США, Токио—Иокогама в Японии и т. п.), в других — сохранились безлюдные пространства (песчаные и арктические пустыни, высокогорья). К 80-м годам XX в. различные типы антропогенных систем, по-видимому, следующим образом распределялись на поверхности Земли (%):

Пашня	11
Пастбища	24
Урбанизированные территории и дороги	2,5
Открытые разработки	1

*Примечание.* Данные разных авторов значительно расходятся. Здесь и далее в этой главе часто приведены усредненные показатели.

Во всех развитых и многих развивающихся странах большинство рек зарегулировано, созданы водохранилища с очень существенным суммарным зеркалом водной поверхности более 350 тыс. км<sup>2</sup> (свыше 0,4 % территории суши), проведены осушительные и оросительные работы на территории, превышающей суммарную площадь нескольких крупных европейских стран, вместе взятых.

Огромные масштабы открытых разработок полезных ископаемых, равно как и широкое использование глубинных (артезианских) вод, также существенно сказывается на гидрологическом режиме огромных территорий. Так, открытые разработки в Курском железорудном бассейне сказались на понижении уровня грунтовых вод за многие десятки километров от карьеров. Уровень воды в одном из самых крупных в мире бассейнов пресных подземных вод Огаллала, расположенном под Великими Равнинами в США, в XX в. понизился на десятки метров. Все это свидетельствует об изменении гидрологического режима больших территорий, нарушении нормальных путей миграции веществ в биосфере.

Несомненно, уже к концу нашего века около половины поверхности суши будет существенно преобразовано человеком практически с полной ликвидацией или перестройкой на этой территории природных экосистем. К этому следует добавить, что не менее четверти береговой линии (побережий) континентов и островов также будет коренным образом трансформировано: уже в 1981 г. до 40 % всей нефти добывалось на шельфе, а уничтожение мангровых зарослей в тропиках достигло опасных размеров во всех тропических странах.

## **2. Использование некоторых природных ресурсов и загрязнение биосферы**

В 1980 г. в мире производилось около 2 млрд. т различных продуктов, для чего из Земли извлекалось и собиралось около 100 млрд. т руд, горючих ископаемых и другого сырья (более 25 т на каждого жителя Земли). Более 96—98% добываемого сырья выбрасывается в окружающую среду в виде отходов производства и потребления. Отсюда следует, что на каждую тонну промышленной продукции приходится 20—50 т отходов. О скорости нарастания образования отходов, пропорционального увеличению промышленного производства, можно судить по следующим цифрам: с 1950 по 1983 г. производство промышленной продукции в развитых капиталистических странах возросло в 3,8 раза, а в социалистических странах СЭВ — в 14 раз.

На одного человека в крупных городах приходится до 1 т пищевого и бытового мусора в год. В середине 70-х годов в океан ежегодно выбрасывалось более 6 млрд. т твердых отходов; это составляло в среднем более 17 т/км<sup>2</sup>!

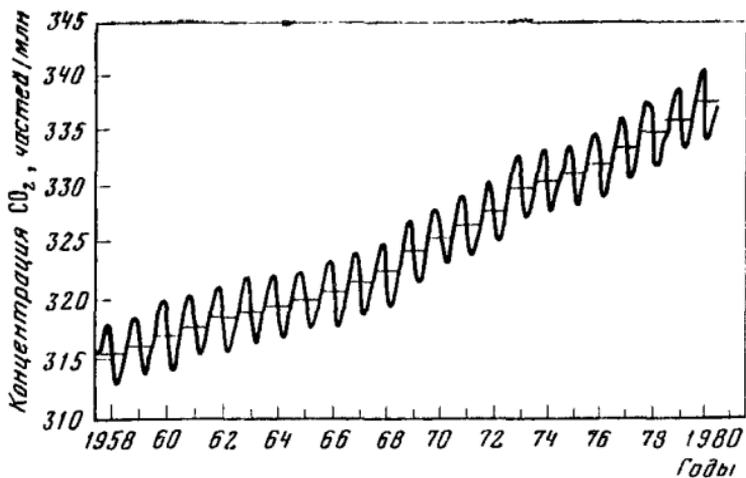


Рис. 2. Изменение концентрации  $\text{CO}_2$  в атмосфере за последние десятилетия (по измерениям в обсерватории на Мауна Доа, Гавайские острова)

О возможности глобального перемещения в биосфере загрязняющих ее предметов говорит тот факт, что выброшенный в водах Новой Зеландии пластиковый мусор был встречен у берегов Канады.

Весь речной сток на большей части Европы и США проходит через промышленные предприятия, канализацию и оросительные системы. В среднем в мире на хозяйственно-бытовые нужды в 70-е годы использовалось 12 % речного стока. Англичане мрачно шутят, говоря, что воды Темзы, прежде чем попасть в океан, проходят через организм 7—8 человек.

Ежегодно в конце 70-х годов в биосферу попадало 65—90 млн. т нефти и нефтепродуктов, в том числе в наземные экосистемы около 19 млн. т, в океан — около 2 млн. т (оценки разных авторов расходятся) и в атмосферу — 44—68 млн. т, т. е. порядка 1 т/км<sup>2</sup> для всей поверхности суши. По наблюдениям со спутников единовременная площадь загрязнения охватила около 10—15 % Мирового океана (Алпатьев, 1983).

На дне некоторых районов Мирового океана в результате концентрации загрязняющих веществ начинается сероводородное брожение и возникает «бентическая пустыня». В Балтийском море в 1929 г. эта зона занимала 6 % поверхности дна, а в 70-е годы — более 20 % (Рамад, 1981).

Ежегодное поступление в атмосферу  $\text{CO}_2$  в результате сжигания ископаемого топлива составляет ныне более 20 млрд. т. Кроме того, поступление  $\text{CO}_2$  в атмосферу

увеличивается за счет сведения лесов, окисления фитомассы (в том числе сжигания древесины), распашки земель (которая увеличивает окисление органического вещества почв). За последние 130 лет (от начала промышленной революции до 1980 г.) содержание  $\text{CO}_2$  в атмосфере выросло по объему от 265—290 частей на миллион до 338 ч/млн., т. е. примерно на 17 %, и продолжает увеличиваться со скоростью около 0,3—0,5 % в год (рис. 2). Это увеличение составляет около 600 кг/год на человека.

Сжигание ископаемого топлива является и главной причиной выбросов окислов серы в атмосферу (табл. 1).

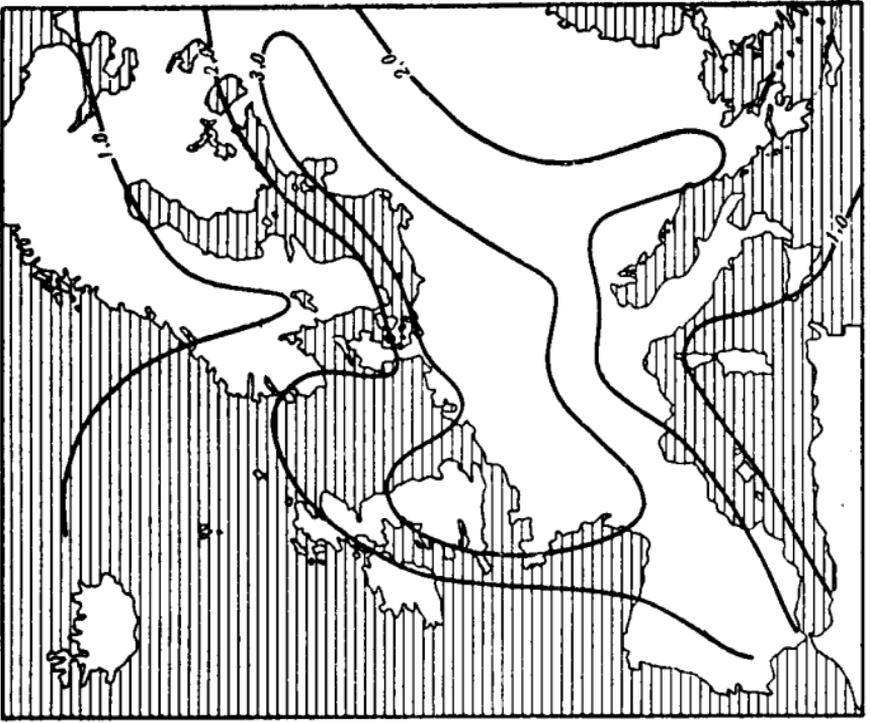
Таблица 1

Сравнительный объем антропогенного и природного поступления наиболее объемных загрязнителей атмосферы на начало 70-х годов (по: Алпатьев, 1983, с изменениями)

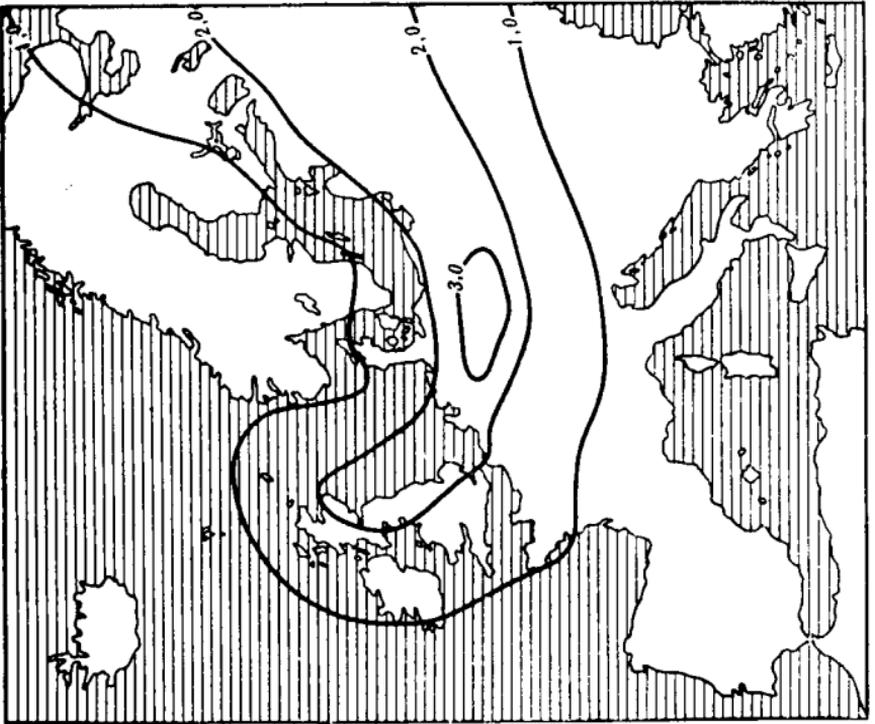
Выброс	Окись углерода	Окислы серы	Окислы азота	Углеродороды	Взвешенные твердые частицы
Природные источники, %	9	61	70	63	71
Антропогенные источники, %	91	39	30	37	29
Всего, млн. т	300—350	166—250	130—170	180—290	240—280

Эти выбросы ежегодно растут на 5 %. В результате взаимодействия с водой окислы серы превращаются в серную кислоту, которая выпадает с осадками на землю (так называемые кислые дожди). В штате Мэн (США) за последние 80 лет дожди стали в 40 раз более кислыми, в Италии за период с 1967 по 1982 г. кислотность дождей увеличилась в 10 раз (рис. 3). К концу 70-х годов в странах Европы на одного человека приходилось около 47 кг серы в виде выбросов в атмосферу, в Норвегии на человека приходилось 16, в ФРГ — 24, в Италии — 28, в Польше — 92, в Швеции — 200 кг. При этом некоторые промышленные регионы оказываются «экспортерами» этого вида промышленного загрязнения. Так, например, более 70 % серы, приходящейся на Швецию, и более 80 % «норвежской» серы оказываются принесенными из других стран. Считается, что около 20 % кислых дождей в Европе вызваны выбросами окислов серы в Северной Америке.

6



a



Суммарный мировой выброс некоторых обычных соединений сравним, а иногда и превосходит природные источники (см. табл. 1).

Изъятые для промышленных целей из литосферы вещества в значительных количествах рассеиваются в воздухе, воде и почве. Так, например, в 1750 г. в Западной Европе кадмия с осадками практически не выпадало вообще, в 1930 г. его выпало уже 3,8 г/га, а в 1980 г. — 5,4 г/га. Содержание этого элемента в коре надпочечников человека увеличилось с 1897—1914 по 1980—1981 гг. в 70 раз: с 0,6 до 40,7 мкг/г. Резко растет концентрация ртути в живых организмах. Так, у ястреба-тетеревятника (*Accipiter gentilis*) в перьях средняя концентрация ртути за период от начала XX в. увеличилась в 13,2 раза: от 2,2 до 29 мкг/г. Анализ льдов в ледниках Памиро-Алая показал пятикратное увеличение содержания ртути за период с 1875 по 1975 г. (Николишин и др., 1979).

Резко растет и концентрация свинца в биосфере (в значительной мере в результате сжигания бензина с добавлением соединений свинца). Микроанализ дал возможность сравнить содержание свинца в годовых кольцах одного и того же дерева за разные годы (табл. 2).

Таблица 2

Концентрация свинца в древесине трех видов деревьев на равном удалении от полотна шоссе (яя Николишина и др., 1979)

Вид	1910— 1920 гг.	1962—1972 гг.	1910—1920 гг.	1962— 1972 гг.
	10—30 м от дороги		100 м от дороги	
Клен остролистный	1,00	5,20	0,25	1,25
Дуб черешчатый	0,50	5,50	0,40	0,75
Сосна обыкновенная	1,00	5,00	0,50	2,00

В крови детей в Нидерландах за последние десятилетия содержание свинца, по данным некоторых авторов, увеличилось примерно на два порядка, а ткани организма жителей индустриальных центров США содержат свинца в 50—1000 раз больше, чем ткани людей, живших несколько тысяч лет назад. Масштабы антропогенного по-

Рис. 3. Ежегодная средняя концентрация серы (сульфатов) в осадках (серы мг/л) в Европе в 1954—1959 (а) и 1972—1976 (б) гг. Ten years. . . , 1982

ступления некоторых веществ в биосферу приведены в табл. 3.

В последние десятилетия в связи с интенсификацией сельского хозяйства в биосферу в огромном количестве стали поступать различные крайне устойчивые (перси-

Таблица 3

Объем ежегодного антропогенного и естественного поступления в окружающую среду некоторых загрязняющих веществ и соединений (по данным разных авторов)

Вещество	Объем антропогенного поступления	Объем естественного поступления	Год
Цинк	Свыше 6000 тыс. т	Около 769 тыс. т	1982
Медь	56 тыс. т в атмосфере 77 тыс. т с мусором 94 тыс. т с удобрениями	18,5 тыс. т	1979
Свинец	Около 4000 тыс. т	160—180 тыс. т	1980
Ртуть	10,6—38 тыс. т, в том числе: производство 9—10 тыс. т, в виде отходов 1,5—20 тыс. т, при сгорании топлива — 0,1—8 тыс. т	Около 4 тыс. т	1980
Кадмий	17—18 тыс. т производство, с удобрениями значительно больше	—	1980
Никель	43 тыс. т в атмосфере	Около 8,5 тыс. т	1980
Фтор	2—3 млн. т с удобрениями	—	1979
Фосфор (в пересчете на $P_2O_5$ )	Около 35 млн. т с удобрениями и моющими средствами	—	1979
Пестициды	Около 2,8 млн. т	Нет	1978
Полихлорбифенилы	Более 500 тыс. т за 1930—1970 гг.	»	1982
Бензо(а)пирен	5 тыс. т	Нет данных	1980
Фторуглеводороды 11 и 12	Более 680 тыс. т	Нет	Конец 70-х годов

млн. т

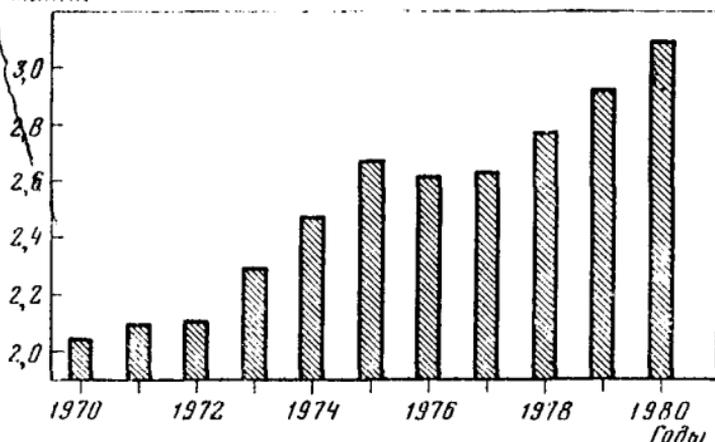


Рис. 4. Мировое производство пестицидов, гербицидов, фунгицидов и других химических средств борьбы для сельского и лесного хозяйства, а также для медицинских целей (Ten years . . . , 1982)



Рис. 5. Связь количества пыли, оседающей на ледниках Кавказа, и объема промышленного производства СССР в 1930—1965 гг. (по: Рамад, 1981)

стентные) хлорорганические пестициды. Общее количество ДДТ, внесенного в биосферу, по разным оценкам составляет от 1,5 до 4,5 млн. т (Лекавичус, 1983), т. е. до 1 кг на каждого жителя Земли (рис. 4). Количество используемых пестицидов в отдельных регионах с интенсивным сельским хозяйством достигает ныне 5—

6 кг/чел./год. Глобальный же перенос пестицидов с воздушными массами ведет к тому, что на Земле сейчас нет районов, свободных от них, и даже там, где они никогда не использовались; с осадками выпадает от нескольких десятков до нескольких сотен г/км<sup>2</sup>/мес.

Немалый вклад в глобальное загрязнение биосферы вносят и другие вещества. Например, до того как в 70-е годы были выявлены сильные канцерогенные свойства этилендихлорида, его было произведено около 50 млн. т — около 14 кг на каждого человека. Около 70 тыс. химических веществ, созданных человеком, ныне числятся в списках коммерчески распространяемых соединений, и это число ежегодно увеличивается более чем на 1000. И хотя около 25 тыс. веществ являются потенциальными канцерогенами, достаточно полные экологические и токсикологические испытания проведены лишь для 7 тыс. веществ (для более чем 1500 веществ при этом доказана их канцерогенность в опытах на животных); по некоторым оценкам, около 80 % случаев рака у людей вызываются прежде всего факторами окружающей среды (подробнее см. гл. II и III).

Еще один аспект загрязнения биосферы, становящийся особенно важным по мере роста населения и необходимости увеличения продукции животноводства, — образование экскрементов домашнего скота. При современной технологии содержания скота и использовании гидросмыва образуются жидкие фекальные отходы в огромном количестве, которые далеко не всегда в полном объеме удается использовать в качестве удобрения (так, в СССР пока лишь четвертая часть ежегодного объема жидких стоков крупных животноводческих комплексов направляется на удобрение сельскохозяйственных угодий). В развитых капиталистических странах объем отходов животноводства превышает количество коммунальных стоков в 5 (ФРГ) — 10 (США) раз. Особо сложные природоохранные проблемы связаны с удалением свиного навоза.

Велико не только химическое, но и физическое загрязнение биосферы: шумовое, тепловое, световое, микроволновое и др. В ФРГ на территории 250 км<sup>2</sup> поступление антропогенной тепловой энергии в атмосферу превышает тепловой поток солнечного излучения, а в еще более обширных районах выделение антропогенного тепла в зимний период составляет около 50 % тепловой энергии, получаемой от Солнца. Показательно, что среднего-

довая температура многих участков р. Сены (Франция) повысилась с начала XX в. более чем на  $5^{\circ}\text{C}$ .

С развитием человеческого хозяйства резко растет загрязненность атмосферы (рис. 5). В Европе и США в начале 70-х годов ежегодно на каждый квадратный километр территории оседало от 0,4—0,5 (Швеция, США) до 6,1—6,9 (ФРГ, Бельгия) т пыли.

Велики масштабы радиоактивного загрязнения биосферы. Значительная доля радиоактивных отходов подвергается захоронению в океанах. Хотя контейнеры стремятся сделать по возможности прочными, приходится помнить, что период полураспада углерода-14 — 5730 лет, плутония-239 — 24 500 лет, йода-129 — более 10 млн. лет. До 1975 г. Международным агентством по атомной энергии допускался ежегодный сброс в Атлантический океан до  $10^{10}$  Ки радиоактивных изотопов, являющихся  $\alpha$ -эмиттерами, до  $10^{13}$  Ки  $\beta$ - и  $\gamma$ -эмиттеров и до  $10^{15}$  Ки трития. В 1973 г. эти «стандарты» были снижены, но все равно остались достаточно высокими — для  $\beta$ - и  $\gamma$ -эмиттеров допускается сброс до  $10^{11}$  Ки. По оценкам, некоторые корабли с атомными силовыми установками в год сбрасывают в океан до  $10^6$  Ки радиоактивности вместе с ионообменными смолами,  $5 \cdot 10^3$  Ки жидких отходов и еще некоторое количество радионуклидов при утечках. Антропогенное поступление ряда радионуклидов в атмосферу (от сжигания угля, ядерной энергетики, испытания и производства ядерного оружия) превышает их поступление из естественных источников: для  $^3\text{H}$  — более чем в 130 раз, для  $^{14}\text{C}$  — в 4 раза, для  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{239}\text{Pu}$  — на несколько порядков.

### 3. Заключение

За кажущимися нам медленными изменениями природного окружения мы не ощущаем, как правило, невероятных по масштабам и интенсивности изменений всего лика Земли, качественной и количественной перестройки всей биосферы планеты. Осознанию масштабов этих изменений препятствует крайняя инерционность многих биосферных процессов, в результате которой последствия антропогенного воздействия могут проявляться спустя лишь длительное время, порой в неожиданных местах, вне прямой связи с когда-то действовавшей причиной.

Несомненно, человечество уже существенно изменило ход течения целого ряда процессов в биосфере, в том

числе биогеохимического круговорота и миграции ряда элементов. Человек в глобальных масштабах рассеивает прежде сравнительно редкие в биосфере элементы и вещества, на больших площадях планеты заменил естественные природные системы искусственными со значительно обедненным составом биоты. Непреложным фактом является и то, что сейчас практически любая точка планеты подвержена антропогенному влиянию (в первую очередь химическому загрязнению). Даже в таких удаленных от промышленных центров местах, как Антарктида и Гренландия, фоновые концентрации некоторых тяжелых металлов повышены на 1—3 порядка. Во все увеличивающемся числе регионов планеты загрязнение некоторыми элементами на 3—5 порядков превосходит их естественные (фоновые) концентрации до начала промышленной революции. Антропогенное поступление в биосферу целого ряда широко распространенных соединений превосходит их естественное поступление.

В промышленно развитых и густонаселенных районах планеты к химическому добавляется и разнообразное физическое загрязнение биосферы. Под все усиливающимся давлением человека оказывается и Мировой океан, прибрежные зоны которого превращаются во всемирную свалку разного рода отходов, а открытые части загрязняются как непосредственно, так и в результате атмосферного переноса углеводородов, тяжелых металлов, хлорсодержащих органических соединений.

Рост численности населения, удельная интенсификация природопользования в условиях НТР (увеличение потребления ресурсов и образования отходов на душу населения), урбанизация — все это обостряет природоохранные проблемы.

Все упомянутые, как и многие другие, антропогенные влияния сказываются на биоте, причем проявляются, как показывают последующие главы, на всех основных уровнях организации живой материи.

## Глава II

### МОЛЕКУЛЯРНО-ГЕНЕТИЧЕСКИЙ УРОВЕНЬ

На молекулярно-генетическом уровне элементарной единицей являются гены — элементы наследственной информации, передаваемой от поколения к поколению,

представляющие собой участки ДНК (или РНК у некоторых вирусов). Элементарными явлениями на этом уровне является конвариантная редупликация («самовоспроизведение с изменениями») генов, происходящая по матричному принципу. В процессах реализации хранящейся в ДНК информации и ее передачи внутриклеточным управляющим системам участвуют молекулы информационной РНК и других соединений, ферменты, рибосомы и другие структуры клетки, в том числе биологические мембраны.

Многие проблемы охраны живой природы связаны с антропогенными нарушениями этих молекулярных структур и процессов в живых клетках.

— Другая важная группа природоохранных проблем, связанная с данным уровнем организации жизни, — различные аспекты биохимического преобразования (биотрансформации) и разрушения (биodeградации) загрязняющих веществ в экосистемах и организмах.

## **А. ВОЗДЕЙСТВИЕ**

### **НА СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ КЛЕТКИ**

Среди антропогенных воздействий на структурно-функциональные системы молекулярно-генетического уровня организации жизни можно выделить следующие главные: 1) на генетический аппарат, генетические системы (мутагенное действие); 2) на биомембраны; 3) на белково-ферментные системы.

#### **1. Воздействие на генетические системы**

Воздействие антропогенных факторов на генетические системы живых организмов может быть различным. Во-первых, это прямое мутагенное действие различных химических и физических факторов — изменения наследственного аппарата в половых клетках, ведущие к развитию патологических и других изменений у потомства. При этом возможно возникновение мутаций самых разных типов — от точковых до перестроек в хромосомах и изменения числа хромосом, в том числе наследственности в результате так называемого «латерального переноса» — вторжения в геном хозяина внехромосомных генетических детерминантов (при участии вирусов и плазмид). Во-вторых, это возникновение мутаций в соматических

клетках, часто ведущих к развитию разной формы раковых заболеваний у данного поколения.

Мутагенной способностью обладают многие (табл. 4) из тех 70 тыс. химических веществ и соединений, с которыми приходится сталкиваться людям в повседневной жизни (всего в биосфере введено около 4 млн. не свой-

Таблица 4

Примеры веществ, загрязняющих окружающую среду и оказывающих мутагенное воздействие, либо образующих мутагенные продукты (по: Лежачий, 1983; и др.)

Вещества	Объект	Примечание
ДДТ	Лук, дрозофила, радужная форель, обыкновенная и серебристая чайки, домовая мышь, серая крыса, пашенная полевка, собака, человек (лейкоциты)	Показана мутагенность метаболитов ДДТ—ДДЕ, ДДД, ДДА, кельтана — для <i>Larus redibundus</i> и других видов
Атразин и цианазин (триазиновые гербициды)	Сальмонелла	Мутагенным действием обладают продукты распада в листьях кукурузы
Фенол	Радужная форель (икринки)	—
Ртуть и гранозан (ртутьсодержащий пестицид)	Дрозофила, человек (лимфоциты)	—
Свинец (соли)	Лук, бобы, дрозофилы, домовая мышь	Свинец вызывает увеличение абберраций хромосом в лимфоцитах человека; в присутствии свинца сходный эффект вызывают кадмий и цинк
Хром (соли)	Микроорганизмы, горох, китайский хомячок (культура ткани), человек (лейкоциты)	—
Нитраты (например, аммиачная селитра)	Дрозофила, белая крыса	В организме млекопитающих образуются метаболиты — нитрозамины, обладающие широким мутагенным действием

ственных ей ранее химических соединений и около тысячи новых веществ добавляется ежегодно). В результате на каждые 100 тыс. человек в среднем 1950 (т. е. около 2 %) человек оказываются носителями вновь возникающих врожденных (генетически детерминированных) заболеваний.

На генетические системы живых организмов в природе действуют следующие главные группы антропогенных факторов: искусственная радиация, средства химизации сельского, лесного и рыбного хозяйства (в том числе пестициды, минеральные удобрения), промышленные и бытовые химические вещества, попадающие в среду, выбросы транспорта. Для человека к этому перечню добавляются ультрафиолетовое и УВЧ-облучения, вибрация, медицинская, бытовая и пищевая химия, курение и использование алкоголя (обзоры см.: Пашин и др., 1983; Лекавичюс, 1983). Созданные международные и национальные регистры мутагенов содержат подтвержденные данные о мутагенной активности более 10 тыс. различных веществ.

Способность вызывать мутации обнаружена у многих сравнительно обычных веществ, таких, как красители, перекиси, уретан, формальдегид, гидроксилламин, даже у кофеина и целого ряда лекарственных средств. Отметим известное в генетике явление: для мутагенов не существует нижнего порога мутагенного действия. Даже ничтожные концентрации способны вызывать появление новых мутаций, которые проявятся либо в ближайшем, либо в ряду следующих поколений. Так, например, частота хромосомных мутаций в лимфоцитах периферической крови оказалась достоверно выше в группе подростков (при всех прочих равных условиях), проживающих в зонах интенсивного применения пестицидов.

В дополнение к упомянутым и другим классам веществ мутагенным действием обладает и ряд физических факторов; к ним относятся ионизирующее и ультрафиолетовое излучение и факторы электромагнитной природы. Известно, что микроволновое излучение (с частотой 300 МГц) способно изменять макромолекулы, нарушать деление клеток и активность некоторых ферментов, подавлять функционирование ДНК, поражать хромосомы и клеточные мембраны (Hilemann, 1982). Так, в опытах показано, что микроволны сравнительно невысоких интенсивностей вызвали хромосомные aberrации в лимфоцитах человека. В других опытах мышей помещали в электро-

магнитное поле с частотой 2,45 ГГц и плотностью потока энергии (ППЭ) 50—100 мВт/см<sup>2</sup>. Этого было достаточно для возникновения у них доминантных летальных мутаций.

Многие загрязняющие вещества, в том числе некоторые пестициды, подвергаясь трансформации в живых организмах, образуют мутагенные соединения (см. ниже). Это показано не только для животных, но и для растений. Заметим, что все применяемые тесты на мутагенность рассчитаны на обнаружение мутаций в ближайшем поколении. Однако существуют обоснованные предположения, что правильнее было бы определять общее состояние потомства на протяжении нескольких поколений. Хотя в принципе установлена потенциальная возможность взаимного усиления действия некоторых одновременно действующих мутагенов, работ по изучению совместного действия проводится пока мало. Поэтому совместная мутагенная активность комбинаций загрязняющих веществ недостаточно изучена. Одной из причин этого может служить высокая стоимость работ: изучение только одного вещества соединения с учетом его возможных генетических и экологических эффектов требует затрат до полу-миллиона долларов.

О значительном накоплении различных мутагенных загрязняющих веществ в окружающей среде говорит обнаружение мутагенного действия воды ряда рек и озер. Показана мутагенность воды р. Миссисипи и оз. Онтарио для *Salmonella typhimurium*, Рейна для рыб (*Umbra pugnata*), низовья р. Дунай для *S. typhimurium* и дрозофилы *D. melanogaster*.

Мутагенность речной и озерной воды является, по-видимому, результатом совместного действия нескольких веществ. Этот пример еще раз подчеркивает необходимость изучения мутагенного действия комбинаций нескольких загрязняющих веществ.

Приходится признать, что наши знания о мутагенном влиянии загрязняющих веществ и других антропогенных факторов в конкретных биогеоценозах (и биосфере в целом) остаются недостаточно полными. Однако уже имеющиеся экспериментальные данные позволяют предполагать, что в наши дни в отдельных участках биосферы в результате антропогенных воздействий темп мутационного процесса может многократно увеличиваться.

Широкое распространение генетических эффектов антропогенных факторов среды вызывало появление нового

направления генетики — экогенетики, посвященной выяснению специфического влияния среды на мутагенез, проявление и выражение мутаций в развитии особи.

В настоящей главе мы не даем подробного анализа известных данных о мутагенной активности различных антропогенных факторов (это и невозможно сделать в кратком очерке, так как общее число научных публикаций по этому вопросу, вероятно, превышает сотню тысяч). Нам лишь важно подчеркнуть, что как в результате глобального, так и локального загрязнения окружающая природа уже сейчас насыщена самыми разными мутагенами, и этот факт пока, к сожалению, не в должной степени учитывается при анализе общих проблем охраны живой природы.

Другой тип антропогенных воздействий на генетические системы, имеющий прямое отношение к проблемам охраны природы, — загрязнение биосферы *внехромосомным* (экстрахромосомным) *генетическим материалом*: вследствие широкого распространения плазмид (небольших кольцевых молекул ДНК в клетках бактерий), синтезированных человеком рекомбинантных молекул ДНК и ряда вирусов.

Особенно заметен в последние десятилетия взрывообразный рост загрязнения многих регионов биосферы *плазмидами*, содержащими гены устойчивости к различным антибиотикам. В Японии в 1952 г. частота выделения штаммов дизентерийных бактерий (шигелл), устойчивых к тому или иному антибиотику, составляла лишь 0,04% от общего числа изученных штаммов; в 1972 г. уже 90,5% всех выделенных штаммов шигелл содержали плазмиды, придающие устойчивость к 1—3 антибиотикам.

Американские ученые Дж. Миетц и Р. Съедгрэн показали, что устойчивость к антибиотикам 12 родов бактерий семейства *Enterobacteriaceae* связана именно с наличием плазмид в выделенных из загрязненных экосистем бактериях. Устойчивость этих бактерий к антибиотикам ампициллину, карбенициллину, цефалотину, тетрациклину и эритромицину передается при их конъюгации с кишечной палочкой, лишенной плазмид с детерминантами устойчивости. Плазмидная ДНК изученных штаммов бактерий при трансформации кишечной палочки также передавала им устойчивость к антибиотикам.

Японские исследователи также обнаружили, что из 427 выделенных ими R-факторов более половины составляли плазмиды, определяющие устойчивость сальмонелл

к тетрациклину. В ряде других работ была показана плазмидная природа факторов, придающих устойчивость «госпитальных штаммов» сальмонелл к антибиотикам. В одной из таких работ было выявлено, что около половины (46,2%) этих штаммов могли служить донорами этих факторов в скрещиваниях с кишечной палочкой. Число подобных примеров можно увеличить.

Колоссальное распространение плазмид вызвано использованием антибиотиков с лечебной целью, а также добавлением антибиотиков в корма сельскохозяйственных животных (для ускорения роста). В среднем 40% антибиотиков, производимых в США (более 1 тыс. т), используется в качестве добавки к корму животных. В результате загрязнение продукции животноводства антибиотиками не редкость: в Италии из 50 изученных образцов сырого молока в 16 был обнаружен хлорамфеникол, в 15 — тетрациклин, в 13 — стрептомицин; кроме того, в 13 образцах найдены 2 или 3 антибиотика.

Вместе с кормами и продукцией животноводства антибиотики попадают в организмы высших трофических уровней, в том числе человека. Длительное присутствие в организме антибиотиков создает преимущества для размножения тех штаммов внутриорганизменной бактериальной флоры, которые устойчивы (резистентны) к данным антибиотикам. Окончательным результатом загрязнения биосферы антибиотиками оказывается непропорционально бурное развитие бактерий, несущих определенные плазмиды с генами устойчивости к антибиотикам.

Другой механизм возникновения резистентности к некоторым веществам (а также к раковой химиотерапии) — более обычный и распространенный (по мнению первого автора настоящей книги), чем действие описанного механизма латерального переноса, — связан с дубликацией гена. Этот процесс в деталях был изучен на примере возникновения устойчивости к метатрексату — одному из распространенных средств раковой терапии — у лабораторных мышей и хомяков группой исследователей в Стэнфордском университете. Ген, ответственный за продукцию фермента дигидрофолатредуктазы, чувствительного к ингибирующему действию метатрексата, оказался повторенным в хромосоме около 200 раз, в результате чего устойчивость клеток к действию препарата возросла в 3 тыс. раз. Быстрое распространение таких устойчивых клеток в клеточной популяции может быть обеспечено своеобразным клеточным отбором. Впоследствии исследователям

удалось даже встроить этот дублированный участок ДНК в ДНК бактерий методами генетической инженерии.

Суммарно, по-видимому, небольшой, но довольно неожиданный источник возможного плазмидного загрязнения новых участков биосферы — экзотические аквариумные рыбы, в большом количестве импортируемые во многие страны из Юго-Восточной Азии. Дело в том, что эти рыбы несут бактериальную флору, главным компонентом которой является бактерия *Aeromonas hydrophila*. Е. Шотте и соавторы из университета штата Джорджия (США) в 1976 г. показали, что она содержит различные R-факторы (плазмиды), обуславливающие устойчивость к нескольким антибиотикам, в том числе к тетрациклину, стрептомицину, сульфотиазолу, ампициллину, хлоромифетину. Возможная причина кроется в том, что такие рыбы длительное время содержатся в воде, куда в профилактических целях добавляют антибиотики.

Последствия широкого плазмидного загрязнения в полном объеме не ясны. По меньшей мере плохо то, что оно затрудняет успешное применение антибиотиков при лечении людей.

Воздействие плазмид на мир бактерий может быть велико по причине широты диапазона бактериальных видов — реальных или потенциальных хозяев для плазмид. Так, плазмиды, для которых обычным хозяином служит синегнойная палочка, передаются различным почвенным бактериям, а также бактериям, родственным с возбудителями гонорреи. Плазмиды в определенной мере способны преодолевать межвидовые барьеры при переносе от одной бактериальной клетки к другой.

Один и тот же штамм бактерий может иметь несколько разных плазмид. Например, у бактерий одного штамма кишечной палочки можно обнаружить следующие группы плазмид: плазмиды R (они содержат гены, придающие устойчивость к лекарственным веществам), Col (придают клеткам-хозяевам способность образовывать специфические белковые токсины — колицины), Hly (контролируют образование белков-гемолизина, способных вызывать растворение эритроцитов, так называемых энтеротоксинов). У некоторых штаммов кишечной палочки, выделенных от домашних животных, найдены плазмиды K88 и K99, которые способны увеличивать патогенность бактерий, если находятся в них совместно с плазмидами Ent.

Существование нескольких типов плазмид у одного и того же вида (и даже штамма) бактерий облегчает воз-

возможность миграции по маршрутам хромосома—фаг—плазида (или плазида—хромосома—плазида—плазида и т. д.) целого класса перемещающихся генетических элементов — сравнительно недавно открытых так называемых трансозонов. Примерами трансозонов являются Tn1, Tn2, Tn3 (генетические детерминанты, придающие клетке устойчивость к антибиотику ампициллину), Tn4 (детерминанты устойчивости к ампициллину, стрептомицину и сульфаниламидам), Tn5 и Tn6 (детерминанты устойчивости к антибиотику канамицину), Tn7 (устойчивость к триметоприму и стрептомицину), Tn9 (устойчивость к хлорамфениколу), Tn10 (к тетрациклину) и др.

Возможность миграций в сочетании со способностью плазмид (в том числе F, ColV2, ColV, R1, R6, R100) интегрироваться с хромосомой может говорить о своеобразном росте нестабильности генетического материала бактерий, обусловленном антропогенным распространением некоторых плазмид. Пока еще трудно достаточно точно оценить возможный вклад этого эффекта в общее антропогенное воздействие на биосферу, и именно поэтому приходится относиться к нему с определенной настороженностью.

Считается перспективным использование плазмид для выведения новых азотфиксирующих сортов сельскохозяйственных растений. Однако существует опасение относительно возможности появления азотфиксирующих «сверхсорняков», которые своим мощным ростом подавят культурные растения, используемые в сельском хозяйстве.

*Антропогенные рекомбинантные молекулы ДНК.* Взрыв работ по генной инженерии привел к появлению во многих лабораториях гибридных молекул ДНК, которые включают фрагменты, принадлежащие разным видам организмов и соединенных вместе *in vitro*. На этой основе возникла возможность антропогенного синтеза необычных «химерных» организмов, биологические свойства которых не могут быть полностью предсказаны.

Во многих опытах рекомбинантные молекулы ДНК вводятся в плазмиды или бактериофаги, содержащиеся в *E. coli* K12.

В ряде экспериментов было показано, что через сутки после введения человеку  $10^7$ — $10^{10}$  бактериальных клеток кишечной палочки *E. coli* K12, в 1 г фекалий содержалось  $10^3$ — $10^8$  жизнеспособных клеток бактерий этого штамма.

Отсюда следует, что большое число экспериментально введенных в организм клеток, а также клеток, получивших плазмиды, выходят за пределы лаборатории и попадают в окружающую среду.

Упомянувшееся ранее широко практикуемое добавление антибиотиков в корма сельскохозяйственных животных может дать селективные преимущества находящимся в кишечнике клеткам бактерий с плазмидами и рекомбинантной ДНК и стимулировать увеличение их удельного веса в бактериальной флоре организмов.

Во время эволюции животных и человека выживание их не подвергалось такому испытанию, как появление в их пищеварительном тракте совершенно новых, непривычных для них соединений, которые могут образовываться бактериями, несущими рекомбинантные молекулы ДНК (например, такие бактерии могут синтезировать гормон роста).

Важным аспектом загрязнения биосферы внехромосомными генетическими детерминантами является *вирусное* загрязнение. Скопление людей на урбанизированных территориях создает благоприятные условия для циркуляции многих вирусов. Особенно значительное место среди них занимают вирусы, вызывающие респираторные заболевания. Существенно, что некоторые из этих вирусов могут захватывать своей циркуляцией не только популяции людей, но и популяции различных других организмов и домашних (а также, по-видимому, и диких) животных. Способность вирусов гриппа поражать организм нескольких видов млекопитающих (в том числе свиней, тюленей, человека) твердо установлена.

Вопросы взаимодействия вирусов с геномом хозяев с точки зрения последствий для генома последних изучены пока недостаточно; к числу возможных последствий относятся мутагенез (в том числе в результате изъятия или вставки участков ДНК), усиление воздействия генотоксичных химических веществ — загрязнителей среды и т. д.

Антропогенный фактор в данном случае состоит в том, что вследствие урбанизации и интенсификации животноводства (концентрации поголовья скота на крупных фермах и животноводческих комплексах), а также расселения человека в природные очаги инфекционных вирусных заболеваний существенно изменились (количественно и качественно) природные пути циркуляции вирусов в биосфере. Создались условия для бурного размножения не-

которых вирусов (например, респираторных) при массовых инфекциях, связанных с эпидемиями (в городах) и эпизоотиях (в местах массового содержания домашних животных). Вследствие широкой миграции населения появилась возможность «вытекания» генетического материала вирусов из регионов, где ранее происходила его устойчивая циркуляция, связанная с природной очаговостью. Одним из последствий стало появление и быстрое распространение новых штаммов вирусов (т. е. вирусов с несколько измененным генотипом), например, в форме пандемий новых форм гриппа.

В опытах на культуры клеток мышинных фибробластов воздействовали вирусом SV-40 и РНК-содержащим вирусом саркомы Рауса. В результате возникала онкогенная трансформация клеток, при которой ДНК-копии вирусов встраивались в те или иные участки генома. Оказалось, что в некоторых из клонов тех клеток, геномы которых содержали ДНК вирусного происхождения, возникали мутации.

Получены свидетельства того, что вирусы могут вызывать мутации и в клетках растений.

Есть данные, что в определенных условиях наблюдается синергизм между действием на геном клетки вирусов и воздействием загрязняющих веществ, т. е. совместный генотоксичный эффект при обработке клеток и некоторыми поллютантами, и инфекционными вирусами оказывается значительно выше, чем сумма воздействий на эти же клетки данного загрязняющего вещества и вируса, взятых порознь.

Так, разработана даже специальная методика для скрининга (массовой проверки) веществ, загрязняющих окружающую среду и подозреваемых в генотоксичности, которая основана именно на возможности взаимного усиления действия вируса и химического вещества. Суть методики состоит в том, что определяется способность различных химических канцерогенов усиливать трансформацию эмбриональных клеток сирийского хомячка, вызванную аденовирусами. Этот метод показал возможную генотоксичность представителей многих классов химических веществ, в том числе спиртов, фенолов, алифатических и ароматических аминов, алкилсульфатов, гидроксиламинов, полициклических углеводов, гидразинов, солей металлов, хлорированных углеводов.

Среди подобных веществ, как было сообщено в одном из докладов на состоявшемся в Брукхейвене (1981 г.)

симпозиуме по генотоксичным эффектам загрязнителей воздушной среды, — и летучие загрязняющие вещества 1,2-дихлорэтан, 1,1-дихлорэтан, 1,1,1-трихлорэтан, хлороформ и др. О распространенности подобных загрязнений окружающей среды говорит то, что лишь в США годовая продукция 1,2-дихлорэтана составляет около 5—6 млрд. кг.

К числу антропогенных воздействий на геном относятся и некоторые явления, связанные с так называемыми ретровирусами и ксенотропными вирусами. Эти вопросы подробнее уже рассмотрены нами (Яблоков, Остроумов, 1983).

Таким образом, различные антропогенные воздействия на генетический аппарат (а также на внехромосомные и внеклеточные генетические детерминанты) увеличивают давление мутагенного процесса, ведут к усилению генетического груза в популяциях. Имеется тесная связь между мутагенной способностью ряда антропогенных факторов и некоторыми аспектами стимуляции канцерогенеза. Последние подробнее рассмотрены в гл. III, а также в разделе данной главы о биотрансформации загрязняющих веществ.

## 2. Воздействие на биомембраны

Биохимический механизм воздействия многих поллютантов на клетки связан с нарушением структуры и функционирования биомембран.

Нарушение биомембран вызывают многие тяжелые металлы, газы, органические вещества, в том числе пестициды и поверхностно-активные вещества (ПАВ, детергенты), электромагнитные поля и ультразвук. Выпуск одних только ПАВ в мире вырос с 30 тыс. т в 1949 г. до нескольких миллионов тонн в наше время; только в США производится около 2,5 млн. т ПАВ ежегодно.

Можно выделить следующие важнейшие группы эффектов, обнаруживаемых при воздействии на биомембраны различных веществ.

1. Нарушение проницаемости биомембран. Обнаружено при действии многих пестицидов — хлорорганических (ДДТ), дитиокарбаматов, галогенфенолов (ПХФ-пентахлорфенол), нитрофенолов (например, динитрофенола), производных мочевины, соединений меди. Подобные явления отмечены также при действии некоторых газов ( $SO_2$ ,  $O_3$ , окислов азота), металлов и металлоорганических соединений. Важно подчеркнуть,

что изменения проницаемости могут вызывать сдвиг величины мембранного потенциала — важного элемента регуляторной системы клетки (Ostroumov, Vorobiev, 1978).

2. Изменение величины мембранного потенциала. Оно экспериментально зарегистрировано в некоторых работах под воздействием загрязняющих веществ, например при изучении воздействия ионов никеля на корни кукурузы.

3. Нарушение структуры мембраны. Это очень широко распространенная группа эффектов, среди которых можно выделить нарушение биосинтеза молекулярных компонентов мембран и перекисное окисление липидов.

Подавление биосинтеза молекул, входящих в состав мембран, описано под действием загрязняющих веществ практически всех типов. Особенно много данных получено о действии различных пестицидов, которые нарушают биосинтез жирных кислот, каротиноидов, хлорофилла.

Среди гербицидов, нарушающих синтез липидов — галоалкановые кислоты (например, трихлорацетат натрия и далапон), нитрилы (например, иоксинил, дихлорбензил), анилиды (таковы алахлор, метолахлор), нитрофенолы (в частности, диносеб), тиокарбаматы (ЕРТС, диаллат, сульфаллат, бутилат, пебулат, вернолат), гетероциклические соединения (например, этофумесат).

Газы также могут действовать подобным образом, например, озон ингибирует биосинтез гликолипидов в хлоропластах растений.

Перекисное окисление липидов — исключительно важный процесс, который стимулируется многими органическими веществами, озоном и т. п. Подобное действие зарегистрировано при воздействии самых разных по химическому строению пестицидов — производных мочевины, триазинов, дипиридинов, галоидфеноксикислот и т. д. Появление перекисных группировок в мембранах может увеличивать проницаемость этих участков биомембран. Интенсивное образование токсичных перекисей липидов, кроме того, может вести к истощению ресурсов естественных антиоксидантов, снижению активности тиоловых ферментов, нарушению транспорта  $K^+$  и  $Na^+$  через мембраны, осуществляемому  $Na^+$ ,  $K^+$ -АТФазами.

Перекисное окисление липидов связано с образованием свободных радикалов, которые могут производить различные нарушения на молекулярном уровне организации клетки. Недавно было показано, что токсичность одного из опаснейших поллютантов — 2,3,7,8-тетрахлордibenзо-р-

диоксина — обусловлена тем, что он резко усиливает перекисное окисление липидов в печени подвергнутых воздействию крыс (Stoks et al., 1983). Это существенно дополняет ранее известные данные о том, что это загрязняющее вещество воздействует на образование АТФ в митохондриях, синтез белков и липидов, обмен глюкозы, аланина и олеата и т. д.

4. Фотодеструкция хлорофиллов в фотосинтетических мембранах. Она может происходить при подавлении процессов передачи энергии с молекул хлорофилла, поглотивших квант света. Тот же самый результат может возникать по другой причине — из-за исчезновения защитного действия каротиноидов, предохраняющих хлорофилл от фотоокисления. Как отмечалось, некоторые пестициды (например, производные пиридазинона) блокируют биосинтез каротиноидов и тем самым они могут вызывать фотоокисление хлорофилла в листьях растений.

5. Нарушения ультраструктуры мембранных органелл. Подобные нарушения обнаружены, например, в хлоропластах растений, обработанных пестицидами (производными мочевины, триадиозинона, пиридазинона и др.) или газами (хлористым водородом, сернистым ангидридом).

В последнее время при изучении воздействия на клетки некоторых органических веществ (в том числе пестицидов, нарушающих биоэнергетику мембран путем «отсасывания» на себя электронов из электрон-транспортной цепи) обнаружены принципиально новые факты. Так, гербицид паракват (метилвиологен) способен принимать на себя электроны от редокс-переносчиков хлоропластной или микросомальной мембраны. В результате молекула параквата восстанавливается до соответствующего катион-радикала. Затем, в ходе дальнейших реакций образуется супероксиданион-радикал.

Увеличение поступления в клетку супероксида может обуславливать значительную часть токсичных проявлений параквата.

На практике во многих случаях не всегда удается четко выделить основной или первичный механизм воздействия вещества на клетки. Это полностью относится и к загрязняющим веществам, нарушающим трансформацию энергии в биомембранах. Не всегда легко отличить, в чем состоит первичное их действие — в изменении проницаемости мембран, в нарушении передачи электронов в цепи

окислительно-восстановительных переносчиков или в подавлении запаса энергии, происходящего при синтезе высокоэнергетических соединений, прежде всего АТФ.

Важно подчеркнуть возможность сложных связей между нарушением биомембран, воздействием на белковые структуры и на генетический аппарат. Например, такие пестициды, как аминрофосметил, трифлурамин и оризамин, действуют на мембраны митохондрий так, что из этих органелл в цитоплазму выходит кальций. Повышение уровня кальция может подавлять формирование белковых микротрубочек, а следовательно, и образование митотического веретена. Окончательным итогом будет нерасхождение хромосом при митозе. Такого рода возможности существенно осложняют выявление различного рода эффектов, вызываемых загрязняющими веществами.

### 3. Воздействие на белково-ферментные системы

Многие вещества подавляют функционирование электрон-транспортной цепи в биомембранах, и в результате нарушается энергообеспечение клетки. Так действуют многие пестициды (в том числе производные мочевины, хипоны, соединения четвертичного аммониевого основания, S-триазиновые и дифенилэфирные гербициды, 1,3,4-тиадиазолилные производные, диносеб, литий-3,5-дийдосалицилат, ротенон и т. д.), некоторые другие органические вещества, ряд соединений тяжелых металлов. Устойчивость некоторых сорных растений к действию мощного пестицида атразина обусловлена тем, что у них несколько видоизменен тот белок хлоропластной мембраны, с которым обычно связывается молекула этого пестицида и в итоге молекула атразина перестает взаимодействовать с белком. Конечный результат — атразин у таких растений не подавляет переноса электронов.

Подавление переноса электронов может в свою очередь вызывать множественные последствия. Так, молекулы хлорофилла, не отдавая (как это в норме должно происходить) поглощенную световую энергию в электрон-транспортную цепь, могут претерпевать необратимую фотодеструкцию. В итоге растение, обработанное пестицидами с подобным действием, теряет хлорофилл и может погибнуть от хлороза.

Еще один аспект энергетики клетки — окислительное фосфорилирование, т. е. синтез АТФ. На него влияют та-

кие пестициды, как ДНОК (динитроортокрезол), диносеб и некоторые другие.

Очень большое значение имеет способность многих веществ воздействовать на микросомальные ферменты, которые ответственны, во-первых, за метаболизм стероидных гормонов, жирных кислот, алкилпуринов, тироксина и биоактивных аминов; а во-вторых, — за биотрансформацию чужеродных веществ (ксенобиотиков).

Среди веществ, способных подавлять или ухудшать нормальный режим работы микросомальных ферментов печени, — фосфорорганические и карбаматные пестициды, четыреххлористый углерод,  $CS_2$  и окись углерода.

Другой тип изменения активности этих ферментов связан с индукцией микросомальных ферментов под воздействием хлорорганических соединений, полиароматических углеводородов, а также других токсикантов, например определенных доз Ni, Cr, Br, Cd, Pb. Так, показано, что пестициды хлордан, ДДТ, дильдрин и ПХБ способны приводить к ускорению гидроксилирования стероидных гормонов (андрогенов, эстрогенов и глюкокортикоидов) у ряда видов позвоночных животных. В результате может происходить ускоренная дезактивация этих гормонов. Вызванное индукцией микросомальных гидроксилаз (под действием хлорированных и бромированных углеводородов или других загрязняющих веществ) уменьшение уровня в организме стероидных гормонов может в свою очередь вести к замедлению размножения животных.

Загрязняющие биосферу вещества могут изменять активность ферментов, связанных с другими мембранными структурами (табл. 5).

Исключительно важная группа соединений, нарушающих функционирование определенных белков, — фосфорорганические соединения. Эти вещества подавляют функционирование фермента холинэстеразы. Так действуют, в частности, многие фосфорорганические инсектициды типа паратиона (тиофоса) и некоторые другие вещества. Кроме того, эфиры фосфорных кислот имеют еще и алкилирующее действие. Холинэстеразу ингибируют также карбаматы, к которым относятся многие пестициды.

Загрязняющие вещества могут подавлять действие ферментов с участием различных механизмов: путем прямого воздействия на фермент, путем взаимодействия с молекулой субстрата, с коферментом или металлом — активатором.

Таблица 5

Воздействие загрязняющих среду веществ на активность мембранных ферментов (по данным разных авторов)

Вещество	Организм	Фермент	Особенности изменения активности
Соль кадмия in vivo	Крыса	Аланинаминопептидаза	Уменьшается
		Щелочная фосфатаза	Увеличивается
		γ-глутамилтранспептидаза (почек)	Увеличивается
Соль свинца in vivo	Крыса	Аланинаминопептидаза	Уменьшается
		Щелочная фосфатаза	Увеличивается
		γ-глутамилтранспептидаза (почек)	Уменьшается
ДДТ in vitro	Омар <i>Penaeus americanus</i>	Са, Mg-АТФаза нервных и мышечных клеток	Уменьшается
Фентонион in vivo	Утки <i>Anas rubripes</i>	Na, К-АТФаза соленых желез	Уменьшается
Мирекс, фотомирекс in vivo	Крыса	Mg-АТФаза желчных канальцев	Уменьшается

Во многих случаях мишенью воздействия являются тиоловые группы белка (R-SH). Так действуют соединения тяжелых металлов — ртути, свинца, кадмия, цинка. Например, аномально низкие концентрации свинца в крови приводят к снижению активности фермента дегидрогеназы δ-аминолевулиновой кислоты в эритроцитах.

Имеются примеры замещения необходимого для фермента металла другим. В результате активность фермента может снижаться. Например, атом железа может замещаться атомами никеля или меди. Цинк в ферменте карбоангидразы может замещаться медью, что приводит к утрате активности этого фермента. В другом ферменте — карбоксипептидазе — цинк может вытесняться кадмием.

При формировании яичной скорлупы у птиц необходимо обеспечение этого процесса ионами карбоната, которые вовлечены в образование карбоната кальция. Важ-

ную роль в этих процессах играет фермент карбоангидраза. Установлено, что ДДТ (при участии метаболита ДДЕ) и ПХБ могут ингибировать активность карбоангидразы и тем самым приводить к утончению скорлупы.

Некоторые загрязняющие вещества могут нарушать функционирование белка кальмодулина. Комплекс кальмодулина с кальцием воздействует на активность таких важных ферментов, как фосфодиэстераза, протеникиназа, кальцийзависимая АТФаза, аденилатциклаза мозга и т. д. Недавно было показано, что ДДТ подавлял стимулируемую кальмодулином фосфодиэстеразу 3', 5'-цАМФ, выделенную из мозга теленка. Это очень важно, поскольку от активности этого фермента зависит концентрация 3', 5'-цАМФ, что в свою очередь определяет многие биохимические и физиологические процессы в организме. Существенно, что подавление ДДТ фосфодиэстеразы наблюдалось уже при концентрации ДДТ всего  $10^{-8}$  М.

Необходимо подчеркнуть возможность ингибирующего действия поллютантов на важные ферменты, участвующие в биосинтезе тех или иных компонентов живых клеток. Токсиканты могут воздействовать на рибосомы, РНК, ферменты и коферменты. Например, все синтетазы аминокислот—тРНК чувствительны к веществам, атакующим тиоловые группы.

Следует отметить, что загрязняющие вещества могут не только подавлять активность ферментов, но в определенных случаях способствовать ее росту (эти случаи не ограничиваются микросомальными ферментами).

Недавно в Медицинской академии Болгарии было показано значительное (более чем в 60 раз) увеличение активности фермента гамма-глутамилтрансферазы ( $\gamma$ -ГТ) в тканях крыс, после того как они получали 60—90 дней гексахлорбензол, являющийся фунгицидом и побочным продуктом в химической промышленности.

Было также обнаружено повышение активности трансферазы в печени крыс под действием хлорорганических соединений. В последней работе крысы получали полихлорбифенилы и ДДТ, что вызывало рост активности УДФ-глюкурозилтрансферазы, а также УДФ-глюкозодегидрогеназы — еще одного фермента, связанного с обменом УДФ-глюкозы и продукта ее окисления, УДФ-глюкуроновой кислоты.

Рост активности ферментов, переносящих остаток глюкуроновой кислоты или глутамил, может отражать активизацию систем, участвующих в биотрансформации чуже-

родных соединений. Выявление и изучение такого рода изменений в биохимии клеток при воздействии загрязняющих среду веществ не менее важно, чем анализ подавления тех или иных ферментативных реакций этими веществами.

При экспериментальных исследованиях воздействия поллютантов на молекулярные процессы живых клеток часто бывает очень трудно выявить самый первый этап воздействия. К тому же во многих случаях можно предполагать множественное воздействие загрязняющего вещества сразу на несколько типов компонентов клетки. О тесной взаимосвязи воздействия на процессы обмена нуклеиновых кислот (ДНК и РНК) и белков говорит то, что нарушение синтеза ДНК, РНК и рРНК автоматически влечет нарушение синтеза белков. С другой стороны, подавление активности ферментов, участвующих в синтезе нуклеиновых кислот, немедленно скажется на содержании и обмене последних.

На обмен белков и нуклеиновых кислот воздействуют очень многие загрязняющие вещества, например почти все классы гербицидов: 1) галоалкановые кислоты (так, далапон воздействует на обмен белков, ДНК и РНК), 2) ароматические кислоты (хлорамбен влияет на содержание в растениях РНК и некоторых белков), 3) амиды (пропизамид оказывает эффект на обмен ДНК, РНК и белков), 4) карбаматы (профам действует на обмен ДНК, РНК, белков), 5) тиокарбаматы (так, гербицид ЕРТС влияет на содержание РНК и некоторых белков), 6) пиридины (пиклорам нарушает обмен ДНК и РНК) и т. д.

В дополнение к сказанному о воздействии поллютантов на генетическую, мембранную и ферментно-белковую системы клетки надо отметить еще одну важную группу эффектов. Это нарушение концентраций веществ, важных для энергетического метаболизма (АТФ, АДФ, неорганического фосфата, фосфокреатина), которое может происходить в результате комплекса причин, включая и нарушение мембран, и изменение активности ферментов. Точно также несколько причин могут приводить к изменению уровня содержания в клетках таких важных веществ, как кальций, магний и цинк. Именно оба этих типа эффектов в 1983 г. были обнаружены С. Коппом (Чикагский медицинский колледж) и соавторами в опытах на крысах, которые 18 месяцев получали с питьевой водой низкие концентрации кадмия (всего лишь 1 мкг/мл) или кадмий вместе с цинком.

Отмеченные выше факты приводят к следующим заключениям. Во-первых, очень многие из тех загрязняющих веществ, молекулярный или биохимический механизм действия которых изучен, действуя неспецифически, нарушают или дезорганизуют генетическую, мембранную или белково-ферментную системы клетки. Во-вторых, прогнозировать воздействие обширного круга современных загрязняющих веществ на молекулярно-биологические системы вследствие недостаточной специфичности их действия очень трудно.

Краткий анализ некоторых проблем воздействия загрязняющих веществ на молекулярно-генетическом уровне организации жизни показывает, что в достаточно глубоко изученных ситуациях эти воздействия оказывались вредными либо для генетической, либо для мембранной и ферментной систем. Действие загрязняющих веществ очень часто в силу их биохимических особенностей неспецифично и вызывает глубокие нарушения жизнедеятельности у самых разных видов. При этом нельзя не отметить, что глубокое изучение молекулярных механизмов описанных выше негативных эффектов только начинается.

Таковы важнейшие проблемы охраны природы, связанные с антропогенным воздействием на молекулярные структуры живых организмов.

## **Б. БИОТРАНСФОРМАЦИЯ И БИОДЕГРАДАЦИЯ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ**

Прежде чем обсуждать особенности распада загрязняющих веществ в различных живых и биокосных системах, необходимо упомянуть основные типы тех биохимических реакций, в которые вовлекаются загрязнители под действием ферментов.

Биотрансформация загрязняющих веществ, как и вообще чужеродных соединений, осуществляется с участием ферментативных реакций четырех типов: окисления, восстановления, деградации (расщепления молекул) и конъюгации (т. е. соединения молекулы загрязнителя с тем или иным органическим веществом клетки).

Ферментативные процессы, участвующие в биотрансформации загрязняющих веществ, протекают в конкретных компонентах экосистем: в организме животных, растений, в биокосных объектах (природных водоемах и почвах).

## 1. Биотрансформация загрязняющих веществ в организме животных

Ферментативные превращения попадающих в организм животных чужеродных веществ (ксенобиотиков) сводятся к отмеченным выше четырем основным типам реакций (окисления, восстановления, деградации и конъюгации). Разные животные имеют свой биохимический арсенал для обезвреживания ксенобиотиков, причем в разных таксонах он, как правило, различен (рис. 6).

Основное направление молекулярных превращений ксенобиотиков в организме позвоночных животных — увеличение их водорастворимости. Благодаря этому нежелательное вещество легче выводится из организма. На молекулярном уровне увеличение водорастворимости достигается введением в состав молекул гидроксильных групп (гидроксилирование) или групп, способных диссоциировать с образованием ионов (последнее осуществляется при конъюгации с водорастворимыми биомолекулами).

Важнейший тип гидроксилирования — реакции, осуществляемые микросомальными ферментами. Таковы главные особенности молекулярных преобразований загрязняющих веществ в организме животных, ведущих к их обезвреживанию (детоксикации).

Однако появление антропогенных веществ, эволюционно непривычных для организмов, породило следующую проблему. Окисление (гидроксилирование) некоторых из этих веществ, с которыми организмы в своей эволюции ранее не сталкивались, приводит к возникновению высоко реакционноспособных веществ, опасных для самого организма (рис. 7). Иными словами, молекулярная перестройка некоторых антропогенных веществ по стандартному, «привычному» для гидроксирующих ферментов пути в этих случаях ведет не к их обезвреживанию, а, наоборот, к увеличению вредности веществ для организма. Поэтому данный процесс называют токсификацией (toxicification).

Вредность продуктов биотрансформации ксенобиотиков обычно проявляется в их мутагенности, канцерогенности и тератогенности (рис. 8).

Весьма распространены и имеют большое практическое значение реакции токсификации, в результате которых из полициклических ароматических соединений получают продукты, являющиеся интермедиатами в канцерогенезе.

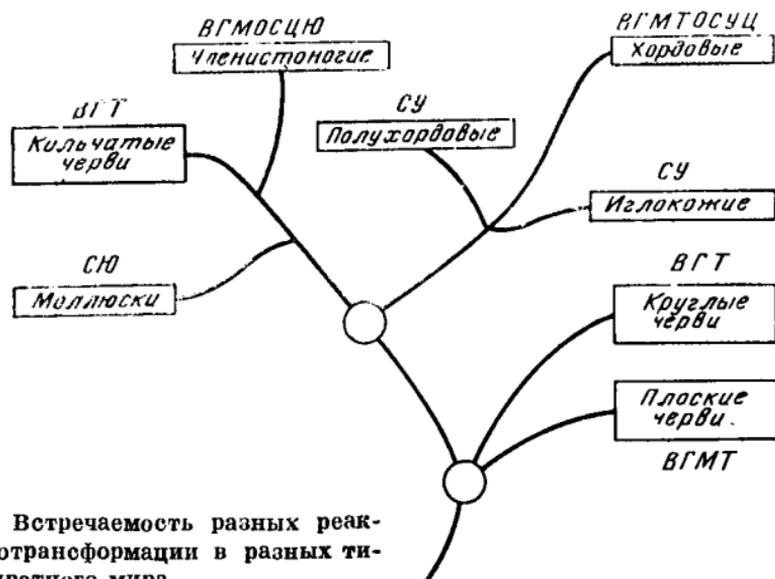


Рис. 6. Встречаемость разных реакций биотрансформации в разных типах животного мира

В — восстановление; Г — гидролиз; М — конъюгация с аминокислотами; О — окисление; С — конъюгация с сульфатом; Т — конъюгация с глутатионом; У — конъюгация с глюкуроновой кислотой; Ц — ацелирование; Ю — конъюгация с глюкозой. По-видимому, эволюционно более продвинутые типы обладают более богатым набором ферментов для биотрансформации чужеродных веществ

Полициклические ароматические соединения (ПАС) — широкораспространенный тип поллютантов. Небезынтересно, что одно из первых наблюдений связи между раком и загрязнителями окружающей среды было сделано (конечно, в неявной форме) еще в 1775 г. и касалось именно того случая, когда, как мы сейчас знаем, проявляется действие ПАС. Речь идет о наблюдении Персивалем Поттом возникновения рака мошонки у трубочистов.

При изучении метаболизма ДДТ у млекопитающих обнаружено несколько продуктов его биотрансформации, которые обладают канцерогенностью. Один из них — так называемый ДДЕ, другие сокращенно обозначаются ДДА-С1 и ДДМУ-эпоксид. Показано, в частности, что два последних вещества способны ковалентно связываться с ДНК, что объясняет их канцерогенность для мышей.

Большой теоретический и практический интерес представляют межвидовые различия в путях биотрансформации одних и тех же загрязняющих веществ или ксенобиотиков в организмах различных животных.

В одной из работ у нескольких видов млекопитающих сравнивали биотрансформацию канцерогенного вещества 2-ацетиламинофлюорена (ААФ) и образования у них про-

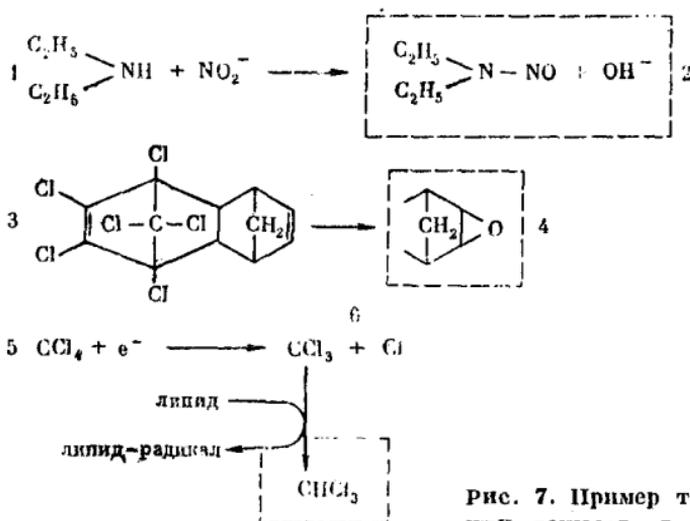


Рис. 7. Пример токсификации веществ в организме

Биотрансформация (окисление) диэтиламина (1) в желудке млекопитающего может приводить к образованию канцерогенного продукта (2). Окисление (эпоксидация) пестицида альдрина (3) в организме позвоночных приводит к появлению токсичного эпоксида (4). Восстановление четыреххлористого углерода (5) в печени ведет к образованию промежуточного трихлорметильного радикала (6). Последний может вступать в реакции окисления, переводя другие молекулы в перекисные соединения, которые, как полагают, вызывают повреждение печени

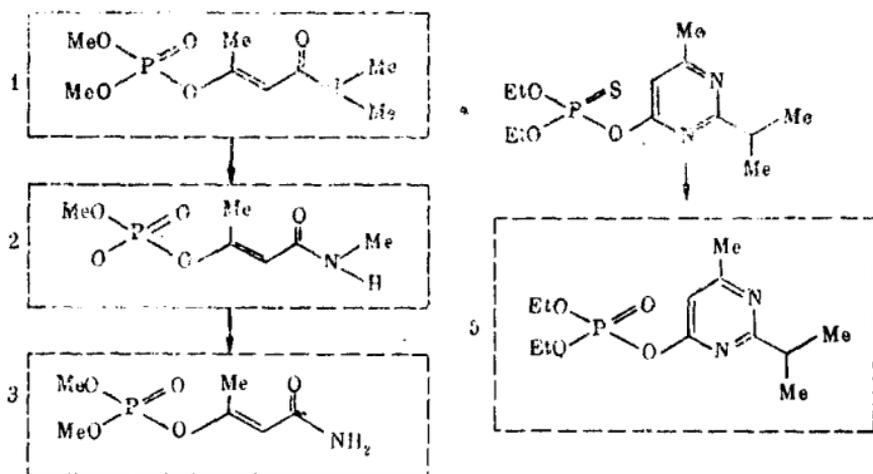


Рис. 8. Пример реакции токсификации

Биотрансформация инсектицидов дикротрофоса (1) и диазинона (4) ведет к появлению тератогенных веществ монокротрофоса (2), амидного аналога (3) и диазоксона (5), вызывающих ненормальности развития у эмбрионов курицы. Реакции диметилирования дикротрофоса (1) дают вещества, по тератогенности близкие самому дикротрофосу. Окисление диазинона (4) до диазоксона (5) является необходимой стадией метаболической активации диазинона

дуктов метаболизма —N—ОН—ААФ, 7--ОН--ААФ и глюкуронидов. Канцерогенный метаболит N—ОН—ААФ образовался у собаки, кошки, кролика, хомяка, крысы и мыши. У двух других видов — морской свинки и степной пеструшки — этот метаболит не образовывался. У этих же видов ААФ не вызывал образования опухолей.

Данный пример показывает, что экологическая опасность загрязняющего вещества может зависеть не только от непосредственного воздействия, но и от особенностей биогенного преобразования данного вещества.

Существенно, что вопросы молекулярной трансформации ксенобиотиков могут тесно переплетаться с экологией особой рассматриваемого вида: огромное значение могут иметь микроорганизмы, населяющие пищеварительный тракт животных.

У жвачных животных биодegradация пестицидов, поступающих с пищей, происходит благодаря микроорганизмам рубца. Поэтому пестициды, поступающие не с пищей, а с водой, представляют для жвачных животных, в том числе рогатого скота, повышенную опасность, поскольку эти токсичные вещества вместе с водой поступают в сычуг, минуя рубец. Из сычуга они переходят в кишечник и всасываются в кровь. Серьезные проблемы могут возникать также при наружной обработке животных ФОС — фосфорорганическими соединениями (хлорорганические инсектициды, за исключением ГХЦГ, в СССР не применяются для наружной обработки сельскохозяйственных животных). ФОС проникают через кожу в кровь и не подвергаются биодegradации микроорганизмами желудочно-кишечного тракта. В результате эти пестициды могут выделяться из организма обработанных животных с молоком и яйцами в большем количестве, чем в случае поступления той же их дозы с пищей.

Использование межвидовых различий между животными в области биохимической трансформации чужеродных веществ открывает определенные возможности для решения сложнейшей проблемы создания более избирательных (чем большинство современных) пестицидов.

Недавно были созданы новые средства борьбы с насекомыми, имеющие пониженную токсичность для теплокровных животных, благодаря тому, что метаболизм этих соединений в организме теплокровных животных и в насекомых идет по-разному. В насекомых эти вещества (производные карбоаминовой кислоты) под влиянием ферментов гидролаз превращаются в молекулы собственно ток-

сиканта. В отличие от этого в организме теплокровных животных главным образом идет не гидролиз, а ферментативное окисление с помощью оксидаз; продуктами такой биотрансформации являются производные сульфамида, сравнительно малотоксичные. Примерами таких средств борьбы с насекомыми, называемых пропестицидами, служат дельтанит и тиодикарб. Эти препараты являются модифицированными инсектицидными карбатами, содержащими при атоме азота сульфенамидную группировку. Данный пример показывает, что более глубокое изучение биотрансформации различных химических соединений в организме позвоночных и беспозвоночных животных может привести к созданию специфичных пестицидов — не столь опасных с экологической и природоохранной точки зрения, как большинство современных неизбирательных ядохимикатов.

Заканчивая раздел о биотрансформации и детоксикации загрязняющих веществ в организме животных, необходимо упомянуть еще один важный (но недостаточно изученный) тип детоксикации животными таких поллютантов, как тяжелые металлы.

В ряде опытов показано, что тяжелые металлы индуцируют образование в организме животных специальных белков — металлотионеинов, способных связывать эти металлы и тем самым инактивировать их. Так, у рыб тяжелые металлы связываются с металлотионеинами, локализованными в печени (Cd, Cu, Zn, Ag), почках (Cd, Cu, Zn, Ag) и селезенке (Cd) и благодаря этому в мышцах рыб концентрация этих металлов может удерживаться на низком уровне даже при значительном загрязнении воды. Однако этот способ инактивации не всемогущ. Если получаемая доза тяжелых металлов превосходит поглотительную способность металлотионеинов, то отравление всего организма неизбежно.

Таким образом, судьба загрязняющих веществ, попавших в организм животного, может быть различной. Результатом взаимодействия их с биомолекулами клеток может быть:

- 1) расщепление и утилизация (или вывод из организма) отдельных фрагментов молекулы загрязняющего вещества;
- 2) преобразование поллютантов в более водорастворимые и более легковыводимые из организма вещества;
- 3) преобразование чужеродных веществ в более вредные для клеток и организма соединения;

4) связывание поллютантов с белками и тем самым «захоронение» их в неактивной, обезвреженной для организма форме.

## **2. Биотрансформация загрязняющих веществ в растениях**

Она отличается от метаболизма ксенобиотиков у животных. У растений нет ярко выраженной способности к преобразованию чужеродных веществ в водорастворимую форму (как это наблюдается у животных). С другой стороны, у растений широко встречаются процессы, при которых чужеродные вещества или их продукты связываются со сравнительно неактивными биомолекулами, включаются в состав клеточных стенок и как бы «инкапсулируются». Важно подчеркнуть, что при этом далеко не всегда происходит разрушение самой молекулы загрязняющего вещества, — что показано для некоторых пестицидов, например, цис-анилида. Метаболизм этого пестицида в моркови и хлопчатнике протекает следующим образом. Сначала пестицид окисляется микросомальными оксидазами. Затем продукты окисления связываются с остатками глюкозы при участии другого фермента — уридиндифосфатглюкоза-глюкозилтрансферазы. В результате основная структура пестицида остается неизменной. Исследования показали, что растения, содержащие продукты такого превращения цис-анилида, могут быть непригодны в качестве пищи животных.

В клетках растений также может происходить преобразование загрязняющих веществ с образованием более вредоносных продуктов.

Некоторые из широко используемых триазиновых гербицидов при своей биотрансформации в листьях растений (кукурузы) дают мутагенные продукты. Эксперименты показали, что экстракты листьев кукурузы, ранее обработанных атразином и цианазином, проявляли мутагенное воздействие на сальмонелл.

## **3. Биотрансформация загрязняющих веществ в биокосных системах**

Процессы биотрансформации загрязняющих веществ в почве и природных водоемах осуществляются молекулами ферментов, вырабатываемыми различными организмами, — прежде всего прокариотами и грибами.

Ферментативные процессы превращения загрязнителей могут протекать и внутри клеток организмов и вне их — поскольку определенные ферменты выделяются ими в окружающую среду (экзоферменты). Однако, и находясь вне клеток, где они были синтезированы, эти ферменты определенное время продолжают действовать.

В соответствии с представлениями, обоснованными В. И. Вернадским и В. Н. Сукачевым, о почве и природных водоемах как биокосных системах, активность экзоферментов и выделенных организмами в среду метаболитов (экзометаболитов, экологических хемозффекторов, хемомедиаторов и хеморегуляторов) можно рассматривать как проявление жизнедеятельности этих систем. Поэтому с определенными оговорками можно говорить о молекулярном уровне организации жизни в приложении не только к клеткам, но и к биокосным природным системам.

*Биодеградации загрязняющих веществ в почве.* Определенная часть загрязняющих веществ сорбируется почвенными частицами и оказывается вне сферы воздействия почвенных микроорганизмов и выделяемых ими экзоферментов. Молекулы загрязняющих веществ подвергаются биодеградации только в том случае, если они распределены в жидкой фазе почвы. Поэтому адсорбция молекул загрязняющих веществ на органо-минеральных коллоидах и твердых частицах почвы может существенно замедлять их распад.

Биодеградация загрязняющих веществ в почве происходит наиболее эффективно, если эти вещества не оказывают сами подавляющего воздействия на живые организмы почвы. Однако известно, что очень многие поллютанты ингибируют те или иные почвенные организмы и их биохимические функции, что может в конечном счете замедлять распад загрязняющих веществ.

Биотрансформация молекул загрязняющих веществ зависит также от механического состава почвы (например, доля связанного с почвенными частицами пестицида обычно увеличивается при утяжелении механического состава почвы), от содержания гумуса (с ростом содержания гумуса в почве увеличивается и сорбция нелетучих загрязняющих веществ; скорость разложения ксенобиотиков при повышении содержания органического вещества может и ускоряться, и замедляться), от аэрации почвы, от внесения органических удобрений, от рН почвы (обычно повышение рН почвы снижает ее способность связывать анионные и непоногенные пестициды). В усло-

виях наиболее широко распространенных агроэкосистем открытого грунта удается управлять лишь немногими из тех факторов, которые влияют на скорость биodeградации загрязняющих веществ, в том числе пестицидов.

Перспективным считается использование так называемого совместного метаболизма («кометаболизма») загрязняющего вещества и другого органического вещества. Кометаболизмом называют «процессы ферментативного превращения органических соединений, которые осуществляются микроорганизмами лишь с использованием дополнительных субстратов» (Головлева, Скрыбин, 1979).

Процессы кометаболизма какого-либо загрязняющего вещества проявляются только при условии использования определенного субстрата (или, как часто говорят, «косубстрата»). В условиях кометаболизма описано частичное и полное разрушение ряда устойчивых пестицидов, в числе которых 2,3,6-трихлорбензойная кислота, ДДТ, 2,4,6-трихлорфеноксисукусная кислота, алвисон-8 и ордрам. Заметим, что характер связи между превращением основного субстрата (загрязняющего вещества) и природой субстрата пока еще далеко не ясен.

Как и в почве, биodeградация загрязняющих веществ в водных экосистемах может ускоряться в условиях кометаболизма. Это демонстрирует опыт с изучением динамики содержания в сточных водах рисовых полей гербицида 2,4-Д. Оказалось, что он скорее исчезает из воды (т. е. быстрее метаболизируется микроорганизмами), если в экосистему вносят пропионат — сравнительно неопасное с экотоксикологической точки зрения вещество (Головлева, Скрыбин, 1979).

Среди молекулярных превращений загрязняющих веществ в природных водоемах большое значение имеют реакции, осуществляемые с участием «радикальной мельницы», которая «перемалывает» органические загрязнители с помощью свободных радикалов. Последние образуются в природной воде благодаря наличию в ней выделенных гидробионтами перекиси водорода и органических веществ — антиоксидантов (восстановителей).

Способность водных микроорганизмов биохимически разрушать молекулы поллютантов может существенно снижаться в условиях загрязнения воды другими веществами, т. е. получается как бы «кометаболизм наоборот». Показано, что нефтеокисляющие микроорганизмы медленнее разрушают углеводороды нефти, если в среду их роста добавлены другие углеводы или белки, легко усваиваемые

данными микроорганизмами. Это указывает на возможность снижения скорости биodeградации нефти в морской воде, загрязненной и другими органическими веществами.

Ухудшение самоочищающих способностей водных экосистем может происходить и в результате других антропогенных причин. Например, вследствие изменения солености воды. Так, потенциальная способность Азовского моря к самоочищению от детергентов и нефтепродуктов считалась в конце 70-х годов эквивалентной очистным сооружениям стоимостью не менее 500 млн. руб. По некоторым подсчетам, антропогенный спад поступления пресной воды и рост солености этого моря вызвал падение его ежегодной способности к самоочищению от нефтепродуктов на 20 тыс. т и от детергентов — на 46 тыс. т (Яблоков, Остроумов, 1983).

При биотрансформации загрязняющих веществ в водной среде очень большое значение имеет токсичность конечного продукта. Установлено, что токсичность тяжелых металлов в водной среде сильно зависит от того, в какой молекулярной физико-химической или химической форме они находятся. Так, ртуть при некоторых ферментативных реакциях может подвергаться алкилированию с образованием алкиртутных соединений. При этом ее токсичность резко возрастает: монометилртуть ( $\text{CH}_3\text{HgCl}$ ) токсичнее хлорида ртути в 7 раз,  $\text{C}_3\text{H}_7\text{HgCl}$  — токсичнее хлорида ртути в 20 раз, а —  $\text{C}_5\text{H}_{11}\text{HgCl}$  — в 300 раз (Florence, 1983). Считается, что рост токсичности липидорастворимых комплексов и соединений металлов при увеличении их липофильности (т. е. способности растворяться в липидах) объясняется увеличением их способности проникать через биологические мембраны.

Вопрос о липидорастворимых и металлоорганических загрязняющих веществах и их биотрансформации в водных экосистемах в будущем может оказаться еще более важным, поскольку по мере истощения ресурсов нефти будет все шире практиковаться получение жидкого топлива из нефтеносных сланцев и угля. При этом ожидается образование большого количества сточных вод, содержащих органометаллические соединения.

При работе водоочистных сооружений образуется осадок, который иногда используют в качестве удобрения. Однако при взаимодействии нитритов и аминов в сточных водах или их осадке могут образовываться нитрозамины, являющиеся мощными канцерогенами.

Значительное место в процессах биотрансформации загрязняющих веществ в водной среде занимает их биодеградация с участием организмов так называемого активного ила. Для эффективной деятельности активного ила требуется его адаптация к данному виду загрязнения. Эта адаптация может занимать довольно много времени, что, безусловно, создает определенные проблемы. Интересно, что адаптация активного ила к одному типу загрязняющих веществ может увеличивать его способность биохимически окислять поллютанты другого типа. Так, в Институте химии АН ЭССР показано, что адаптация активного ила к фенолу или технической смеси «сланцевых» фенолов (основной компонент 5-метилрезорцин) увеличивает способность микроорганизмов этого ила биохимически окислять и другой поллютант — канцероген бенз(а)пирен. По-видимому, микроорганизмы активного ила синтезируют неспецифичные ферменты, которые могут окислять широкий класс веществ, — включая и фенолы, и бенз(а)пирен.

Следует подчеркнуть, что при биотрансформации и окислении молекул загрязняющих веществ в водных экосистемах могут происходить существенные изменения биохимически важных параметров этих экосистем, небезразличных для других организмов (падение концентрации кислорода в воде, изменение содержания природных веществ — антиоксидантов, изменение рН среды. Последнее показано, например, при биотрансформации детергента ДДС культурой *Citrobacter freundii*). Подкисление водной среды может увеличивать токсичность растворенного в ней алюминия, увеличивать растворимость ранее связанных в донных осадках (или со взвешенными в воде частицами) тяжелых металлов — меди, кадмия, свинца и цинка (Florence, 1983).

#### 4. Заключение

Подытоживая сказанное в этой главе, надо отметить следующее. С помощью молекулярно-генетических и биохимических подходов к проблемам охраны живой природы удастся выяснить, как действуют различные антропогенные факторы на молекулярные структуры и процессы в клетках и какова судьба загрязняющих веществ в биологических и биокосных компонентах экосистем.

Уже то, что известно в настоящее время, заставляет с большим вниманием отнестись к событиям и процессам

на молекулярно-генетическом уровне с позиций охраны живой природы. Существующие здесь опасности могут быть нами лишь преуменьшены, но никак не преувеличены: об этом говорит, во-первых, несовершенство применяемых тестов (учитываются обычно лишь ближайшие, но не отдаленные в чреде поколений последствия влияния малых доз загрязнителей), а во-вторых, все увеличивающееся число фактов, свидетельствующих о том, что индивидуально генетически неактивные поллютанты, взаимодействуя, могут превращаться в активные мутагены в результате непредсказуемых их комбинаций в окружающей среде.

При изучении мутагенов необходимо более полно, чем это делается сейчас, исследовать их влияние в последующих поколениях и ингибирование систем репарации («починки») повреждений ДНК, возможности сравнения различных методов тестирования и оценки мутагенов.

Несомненно, заслуживает большего внимания и судьба поллютантов, попадающих в организмы животных и растений, а также в биокосные системы. Процессы естественной детоксикации поллютантов крайне активны. Но полагаться лишь на процессы спонтанной биodeградации загрязняющих веществ мы не в праве, особенно имея в виду реальную возможность усиления вредности некоторых из них в процессе биотрансформации.

## Глава III

### ОНТОГЕНЕТИЧЕСКИЙ УРОВЕНЬ

Следующий за молекулярно-генетическим уровень организации живого — онтогенетический. На онтогенетическом уровне единицей жизни оказывается особь. Пока нет единого общепринятого определения того, что считать особью, хотя, как это часто бывает, в биологии это всем понятно. Строго говоря, особью нужно считать организм, происходящий от одной зиготы или гаметы (споры, почки) и индивидуально подлежащий действию элементарных эволюционных факторов. Разделить особь на части без потери «индивидуальности» невозможно. Развитие особи от зародышевой клетки до смерти есть процесс онтогенеза.

Онтогенез — процесс реализации генетической информации, закодированной в структурах зародышевой клетки.

В процессе онтогенеза в должном месте, в должное время появляется должная структура (или какая-то часть более сложной структуры), начинается осуществляться нужная биохимическая реакция, или физиологический процесс: происходит то, что называется онтогенетической дифференцировкой.

Элементарными структурами на онтогенетическом уровне организации живого служат, по-видимому, клетки, а элементарными явлениями — какие-то далеко не ясные пока процессы, связанные с онтогенетической дифференцировкой. Особь в онтогенезе выступает как саморегулирующаяся иерархическая система управляющих систем, определяющая согласованную реализацию всех признаков и свойств, характерных для существ данного вида. Эта реализация наследственной информации происходит на фоне постоянного изменения внешнего окружения. Эволюционно сложилось такое положение, что развитие особи происходит нормально только в некотором диапазоне (так называемом диапазоне толерантности) практически всех внешних условий — как физико-химических, так и биотических. Возникающий в процессе онтогенеза фенотип всегда в каких-то деталях отличается от всех остальных фенотипов, даже очень близкородственных (в результате генетической комбинаторики и мутационного процесса). Эти-то отличия и являются основой для действия естественного отбора, который в обычных условиях определяет возможность сохранения до размножения тех индивидуумов, которые чем-то полезным (в данной среде) отличаются от остальных.

Эволюция онтогенеза была направлена на обеспечение устойчивости этого процесса при естественных колебаниях факторов среды. Вторжение человека в биосферу определило появление многих необычных факторов среды, как правило, неблагоприятно сказывающихся на процессе нормального онтогенеза. Ниже мы кратко рассмотрим влияние антропогенных факторов на разные этапы и характеристики онтогенеза.

## 1. Изменения в эмбриогенезе

Большое число исследований (к настоящему времени проведены многие тысячи экспериментов) свидетельствуют, что очень многие загрязняющие вещества, включая пестициды, гормональные препараты, соли различных металлов (особенно тяжелых), углеводородные со-

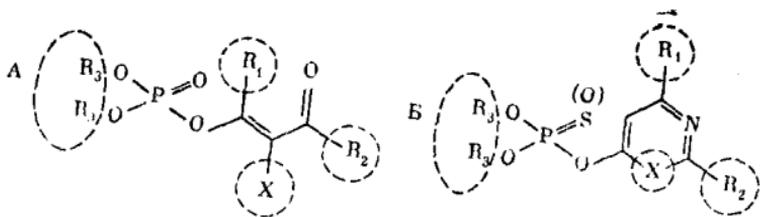


Рис. 9. Фосфорорганические инсектициды, обладающие тератогенностью для птиц

Пунктиром обведены группы, специфика которых определяет тератогенные свойства. А — кротонамидфосфаты. Наиболее тератогенны вещества следующего строения: R<sub>1</sub>=CH<sub>3</sub>; R<sub>2</sub>=NH<sub>2</sub>, NHCH<sub>3</sub>, N(CH<sub>3</sub>)<sub>2</sub>, N(C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>)<sub>2</sub>; R<sub>3</sub>=CH<sub>3</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>; X=H, Cl

Б — гетероциклические фосфаты и фосфоротионаты. Наиболее тератогенны следующие вещества этого ряда: R<sub>1</sub>=CH<sub>3</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>O; R<sub>2</sub>+CH<sub>3</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>, C<sub>3</sub>H<sub>7</sub>, (C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>)<sub>2</sub>N, R<sub>3</sub>+CH<sub>3</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>, C<sub>3</sub>H<sub>7</sub>, C<sub>4</sub>H<sub>9</sub>; X=N, C

единения и другие химические антропогенные вещества, способны вызывать те или иные нарушения эмбриогенеза (т. е. они эмбриотоксичны) у всех изученных в этом отношении видов животных и растений: крыс, мышей, кроликов, морских свинок, золотистых хомячков, собак, обезьян, свиней, птиц и др. (рис. 9). Вещества, вызывающие появление различных уродств, называют *тератогенами* (от древнегреческого *teras* — чудовище).

В Колледже рыболовства Вашингтонского университета (Сиэтл, США) инкубировались икринки радужной форели (*Salmo irideus*) в присутствии бенз(а)пирена в концентрациях, сходных с таковыми загрязненных рек США. При этом число морфологических аномалий у личинок (отсутствие пигментации, деформации позвоночника, аномалии развития или пигментации, деформации позвоночника, аномалии развития или отсутствие глаз и т. п.) возрастало от 2,6% в контроле до 14,3%. Аналогичные данные были получены при исследовании влияния малатиона на лягушку *Microhyla ornata* и для многих других случаев. Прямые доказательства влияния на эмбриогенез тех или иных загрязнителей в природе получить трудно, но косвенные данные однозначно свидетельствуют, что выводы, сделанные выше по отношению к точным экспериментальным ситуациям, полностью приложимы и к реальным природным ситуациям. Вот характерные примеры.

В колониях некоторых крачек Северной Америки и Западной Европы в 70-е годы участились случаи появления уродливых птенцов (все эти птенцы впоследствии

погибали). Анализ показал, что в телах погибших птенцов содержалось достоверно большее количество полихлорбифенилов (ПХБ) и пестицидов, чем в телах выживших (Куллини, 1981).

Во многих исследованиях, проведенных в разных странах — Северной Америке, Европе, Южной Азии, — показано, что в районах с интенсивной химизацией происходит достоверное увеличение количества врожденных уродств и спонтанных аборт (в большинстве случаев это объясняется нарушением эмбрионального развития).

Полихлорбифенилы (ПХБ) — весьма летучие вещества. Они широко используются как жидкие диэлектрики, а также при производстве лаков и эпоксидных смол, водоотталкивающих средств, моющих обоев и пленок, различных пластификаторов и добавок, в том числе при изготовлении ксерокопий. В опытах с макаками резусами было показано, что употребление пищи даже с низким содержанием ПХБ (всего 2,5 мг/кг) на протяжении двух месяцев вело к резким нарушениям протекания беременности, резорбции плода, выкидышам, повышало смертность новорожденных, а выжившие отличались пониженной способностью к обучению и гиперактивностью. В конце 70-х годов среднее содержание ПХБ в молоке кормящих матерей-американок составляло 1,8 мг/кг (у некоторых до 10 мг/кг), что неизбежно должно было иметь неблагоприятные последствия.

В 70-е годы во многих странах мира было широко распространено специальное мыло, содержащее 1—3 % гексохлорафена — эффективного дезинфицирующего (антибактериального) средства и средства против угрей. У матерей, которые в течение беременности мылись от 10 до 70 раз в день таким мылом (около 500 медицинских сестер из 6 шведских госпиталей), 6,1 % новорожденных имели серьезные генетические нарушения, а общее число новорожденных с дефектами развития составило в этой группе 16 %.

Кроме химических воздействий, на эмбриогенез могут влиять и разнообразные физические факторы среды: шум, вибрация, ионизирующее и неионизирующее (токи высокой частоты, радиотелевизионные и локационные станции) излучение. Приведем лишь несколько примеров из последних работ.

Нарушение эмбрионального развития у крыс наступало при облучении беременных самок в течение 20 дней по 6 ч в сутки потоком непонизирующей микроволновой

радиации плотностью от  $50 \text{ мк} \cdot \text{Вт}/\text{см}^2$ ; такие показатели плотности обычны для окрестностей крупных радиотелевизионных, радиорелейных и локационных станций. Установлено, что дозы облучения, применяемые при рентгенодиагностике в медицине, могут отрицательно влиять на развитие эмбрионов (Сапоцкий, Сальников, 1978). Воздействие ультразвуков при диагностике беременности также может приводить к увеличению частоты врожденных аномалий.

По данным ВОЗ, причины врожденных аномалий развития в 25 % являются генетическими, в 5,6 % вызваны экстремальными факторами внешней среды. Добавим, что значительная доля так называемых «генетических» факторов обусловлена в конечном итоге мутагенным действием тоже ряда внешних факторов среды (см. гл. 2). В этой связи показательно, что с 1965 по 1980 г. число новорожденных, имеющих психические и физические дефекты, увеличилось в некоторых странах в 3—5 раз (Сидоренко, 1981), причем это касается как развивающихся (где происходит интенсивная химизация сельского хозяйства), так и промышленно развитых стран (индустриальное загрязнение среды).

## 2. Нарушение процессов роста

Есть немало данных по тормозящему влиянию на рост различных антропогенных факторов. Представление об этих данных дает табл. 6, где показаны как данные экспериментальных работ, так и результаты анализа изменений в природных популяциях. В отдельных случаях те или иные факторы (в определенной дозе или концентрации) могут оказывать стимулирующее действие на рост. Очень часто действие антропогенных факторов вызывает замедление или остановку роста, развитие карликовых форм. Таких данных особенно много для растений, но, по-видимому, в общей форме то же самое характерно и для животных.

В последние годы в защите растений все более широкое применение находят препараты замедляющие или прекращающие развитие насекомых (так называемые ювенильные гормоны). Такие гормональные препараты (в случае если они обладают неспецифическим действием) могут оказывать влияние на рост и развитие других видов членистоногих, не являющихся «мишенью».

Таблица 6

Влияние антропогенных факторов на рост некоторых организмов  
(по данным разных авторов)

Фактор	Вид, группа	Характер влияния
Гамма-облучение, недостаток цинка в почве Повышение содержания меди в почве Шумовое загрязнение среды	Различные высшие растения	Замедление роста Карликовость
Поверхностно-активное вещество (анионный детергент) Пестицид ДНОК	Горчица, гречиха	Замедление формирования плодов и листьев Угнетение роста корней у проростков
Увеличение pH осадков	Гречиха, горчица	То же
Увеличение концентраций O <sub>3</sub> , CO <sub>2</sub> , SO <sub>2</sub> , NO <sub>2</sub> в атмосфере	Древесные растения	Замедление роста
Кислые дожди	2 вида сосен, тополь	Уменьшение прироста
Тепловое загрязнение среды в городах Медь и цинк в воздухе и почве	Кедр, сосна	Усиление роста
Дым металлургических заводов	Сосна обыкновенная	Уменьшение скорости роста, усыхание мелких побегов и корней, хлороз
Электромагнитное поле (ЭМП) 50 Гц, 20 кВ/м <sup>2</sup> , 168 ч	Сосна обыкновенная	Сокращение возраста хвои, стимуляция прироста молодых побегов
То же, 24 ч Хлорорганические вещества	Ель европейская	Угнетение прироста, уменьшение обводненности тканей
Токсины цианобактерий (эвтрофикация водоемов)	Некоторые виды морского фитопланктона	Удлинение корней Прекращение роста
Разовое действие некоторых сортов сырой нефти, перорально, от 0,2 мл и выше ЭМП, 10 МВт/см <sup>2</sup>	Пресноводные рыбы	Угнетение роста
	Серебристая чайка (итенцы)	Задержка привесов
	Белая мышь	Замедление роста

Приведенных здесь данных достаточно, чтобы сделать следующий вывод: самые разнообразные антропогенные факторы часто могут приводить к нарушению процессов роста организмов.

### 3. Нарушение процессов размножения

Нарушения процессов полового созревания и размножения часто наблюдаются в результате влияния антропогенных факторов.

В результате накопления в теле озерной лягушки (*Rana ridibunda*) ряда токсикантов (в основном пестицидов) в природных популяциях этого вида на Северном Кавказе и Нижнем Поволжье наблюдалась асинхронность в развитии гонад у самцов и самок (что исключало возможность успешного размножения части особей) и изменение темпов роста животных.

Одним из результатов широкого применения ДДТ в 60-е годы стало истончение скорлупы у многих хищных птиц. Так, например, в колонии бурых пеликанов (*Pelicanus occidentalis*) на о-ве Анаканапа недалеко от Лос-Анджелеса в сезон 1969 г. из 1125 гнезд вывелось лишь ... 4 оперившихся птенца. Массовая гибель яиц была связана с разбиванием яиц с тонкой скорлупой птицами, садящимися на гнезда. Концентрация ДДТ/ДДЕ в разбитых яйцах составила  $1200 : 10^6$ <sup>1</sup>, в неразбитых — около  $900 : 10^6$ . Концентрация ДДТ/ДДЕ в основной пище пеликанов — анчоусах — достигала в 1969 г.  $4,3 : 10^6$ . После того как в 1974 г. количество ДДТ в анчоусах снизилось в 28 раз, а в яйцах пеликанов — в 9 раз, в каждом гнезде успешно развился один птенец (Куллини, 1981). В начале 70-х годов у орланов-белохвостов (*Haliaeetus albicilla*), гнездящихся по финскому побережью Ботнического залива, скорлупа яиц была на 16—19,7 % тоньше, чем до 1935 г., и из 10 отложенных яиц птенцы выводились лишь из двух (рис. 10). К концу 70-х годов в связи с резким ограничением использования ДДТ его концентрация в яйцах снизилась, толщина скорлупы увеличилась и успех гнездования возрос (рис. 11).

Хлорорганические соединения с ДДТ и его производные, а в последние годы и ПХБ, оказываются причиной тяжелых нарушений размножения у млекопитающих.

---

<sup>1</sup>  $1200 : 10^6$  означает 1200 частей на миллион.

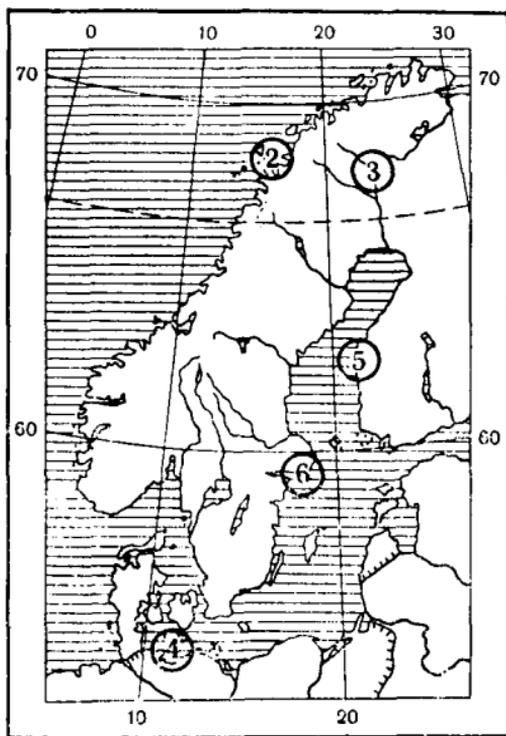
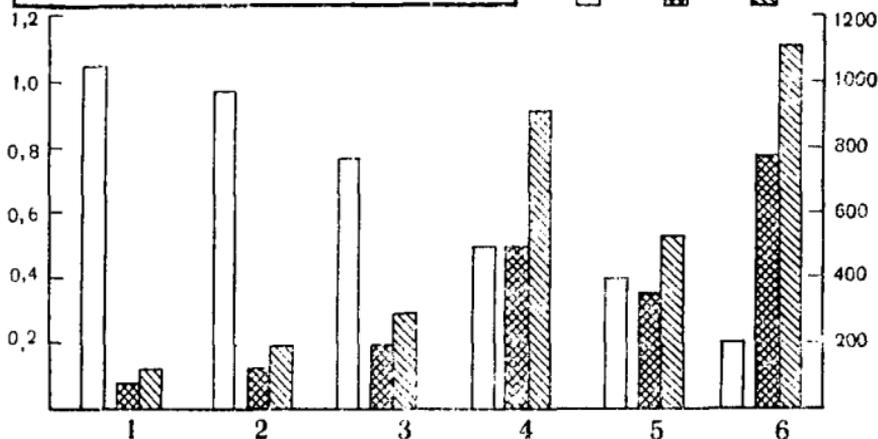


Рис. 10. Средняя ежегодная продуктивность (число молодых на пару — а) и средние уровни ДДТ/ДДЕ (б) и ПХБ (в) в жировой ткани в шести популяциях орлана-белохвоста

1 — Гренландия; 2 — Северная Норвегия; 3 — Шведская Лапландия; 4 — Западная Германия; 5 — Финское побережье Ботнического залива; 6 — Шведская Балтика (Helander, 1983)



У калифорнийского морского льва (*Zalophus californianus*) на о-вах Ченнел у Лос-Анджелеса концентрация ДДТ/ДДЕ в конце 60-х годов достигала сотен частей на миллион. В результате участились случаи преждевременных родов, возросла гибель новорожденных. Концентрация пестицидов в организме преждевременно родивших самок была в 2—8 раз выше, чем у нормально вынашивавших потомство (Куллини, 1981). В Ботническом заливе Балтики в середине 70-х годов были беременны только 27 % самок серых тюленей (*Halichoerus grypus*), тогда как в других

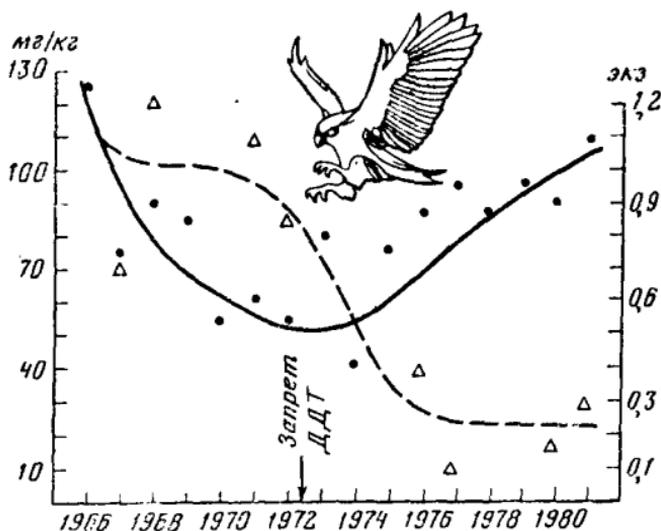


Рис. 11. Средняя продуктивность (число птенцов на пару взрослых в популяции) и содержание ДДТ/ДДЕ в яйцах белоголового орлана в северо-западной части провинции Онтарио (Канада). Видно, как после запрета ДДТ в 1972 г. содержание ДДТ/ДДЕ резко упало и число птенцов стало увеличиваться

районах океана с низким содержанием ПХБ обычно бывают беременными до 90% самок. К этому следует добавить, что лишь одна из 10 беременных самок смогла родить нормальных детенышей из-за патологических нарушений матки (Olsson, 1977, и др.). Анализ показал резкие нарушения сперматогенеза у всех просмотренных самцов из этого региона. С этими данными хорошо совпадает все более значительное число аналогичных данных, относящихся к человеку. В Бременском институте окружающей среды (ФРГ) установлена обратная зависимость между концентрацией хлорорганических соединений (особенно ПХБ), соединений свинца и кадмия и качеством спермы: резко нарушалась подвижность и концентрация сперматозоидов в эякуляте, увеличивалось число патологических сперматозоидов. Ранее было показано, что увеличение концентрации соединения свинца, а также хлорорганических пестицидов в организме отрицательно влияет на воспроизводительные способности мужчин (Никитин, Новиков, 1980; и др.). Отрицательное влияние ПХБ, ДДТ и других хлорорганических соединений на протекание беременности, особенно в период донашивания, также показано во многих исследованиях.

Следует сказать, что однако в некоторых случаях влияние пестицидов сказывалось в интенсификации функций размножения. Так в опытах американских ученых кряквы (*Anas grygipes*), получавшие с кормом до 50 мк/кг инсектицида токсафена (полихлоркамфена), на протяжении 19 месяцев показали уменьшение числа дней, необходимых для завершения кладки, и увеличение способности к размножению на 2-й год после завершения эксперимента. Опасным для размножения водоплавающих птиц оказывается нефтяное загрязнение. При попадании даже следов нефти с пищей в организм крякв у них задерживалось начало кладки, уменьшалось число откладываемых яиц, снижалась вылупляемость птенцов. Резко понижало выводимость и нанесение на скорлупу яиц крякв ничтожных концентраций выветренных и водорастворимых нефтяных фракций.

На успех размножения влияют и другие антропогенные факторы. В одной из серий опытов американских исследователей экспериментальные мыши «озвучивались» в течение года по 2 ч ежедневно шумом, записанным в ньюйоркском метрополитене. В результате почти все самцы потеряли способность оплодотворять самок, а среди самок часть оказалась неспособной рожать вообще, а у другой резко сократилось число детенышей в помете. Опасным для размножения оказывается действие звуковых волн, генерируемых современными крупными скоростными самолетами и космическими аппаратами. Оказалось, в частности, что низкочастотные шумы, возникающие при переходе сверхзвуковыми самолетами звукового барьера, отрицательно влияют на размеры кладок и вылупляемость птенцов в колониях серебристых чаек (*Larus argentatus*). Опасным оказалось и воздействие низкочастотного шума, генерируемого американским космическим кораблем многоцелевого использования «Колумбия»: у находящихся в зоне действия этого звука колонии калифорнийских морских львов у побережья Калифорнии задерживалась имплантация зародышей и увеличивалось число спонтанных аборт. Экспозиция крыс в электромагнитном поле (ЭМП) интенсивностью 1—10 мк·Вт/см<sup>2</sup> (длина волны 12 см) приводила к меньшему числу успешных спариваний, появлению менее жизнеспособного потомства и уменьшению размера помета. Хроническое воздействие ЭМП 10—50 Мк·Вт/см<sup>2</sup> (длина волны 10—12,6 см), так же как и воздействие ультракоротких волн (длина волны 1,9 м), вызывало на-

рушение эстрального цикла у мышей, увеличение числа стерильных животных, резкое сокращение числа новорожденных и увеличение числа мертворожденных (Никитин, Новиков, 1980).

В природе многие птицы бросают кладки и отказываются от размножения, если их несколько раз снугнуть с гнезда. Для того чтобы стерх (*Grus leucogeranus*) — один из самых редких журавлей в мире — бросил насиживать яйца, достаточно, чтобы человек лишь один раз появился в поле его видимости за много сотен метров от гнезда.

В заключение подчеркнем, что ситуация с серым тюленем в Балтике, который, несмотря на прекращение промысла и охрану в многочисленных заповедниках, неуклонно сокращается в численности и, по-видимому, в ближайшие годы может вообще исчезнуть из Балтики (в результате интоксикации и последующего нарушения размножения), может все чаще повторяться в разных уголках мира по отношению ко всем долгоживущим млекопитающим, способным накапливать в организме опасные концентрации загрязнителей.

#### **4. Нарушение метаболизма, отравления и заболевания**

В этом разделе мы лишь кратко коснемся основных вопросов возникновения разных форм заболеваний в онтогенезе взрослых организмов в результате действия антропогенных факторов. Литература в этой области огромна, да и нет необходимости в подробном рассмотрении предмета именно здесь; нам важно лишь показать место этих нарушений постнатального онтогенеза в общей картине антропогенного влияния на онтогенетическом уровне организации живой природы.

Для удобства рассмотрения мы сгруппировали материал данного раздела в подразделы, связанные с отдельными компонентами загрязнения окружающей среды: атмосферой, гидросферой и почвами, хотя, конечно, такое деление в значительной степени условно (трудно классифицировать по типам сред, например, загрязнение пестицидами, первично попадающими через воздух в почву и в конце концов поступающими в Мировой океан и т. д.).

**1. Загрязнения атмосферы.** У растений загрязнение атмосферы ведет к резким нарушениям метаболизма и

различным заболеваниями. Видимые поражения тканей у деревьев в результате кислых дождей обнаруживаются при их рН 2—3, 6. Снижение рН подавляет подвижность сперматозоидов в гаметофитах папоротника *Pteridium aquilinum* и уменьшает успех процесса оплодотворения. Крайне отрицательно сказываются на жизнедеятельности растений автотранспортные выбросы и другие городские загрязнения. У дуба (*Quercus robur*), липы (*Tilia cordata*), вяза (*Ulmus laevis*) уменьшается размер хлоропластов, сокращается число и размер листьев, продолжительность жизни листьев сокращается на 25—40 дней, уменьшается размер и плотность устьиц, общее содержание хлорофилла уменьшается в 1,5—2 раза. Загрязнение воздуха  $SO_2$  резко снижает чувствительность некоторых травянистых растений к заморозкам, фторсодержащие промышленные выбросы оказываются причиной различных нарушений развития почти у половины видов в изученном дубово-грабовом сообществе.

Под влиянием электромагнитных полей у растений могут возникать уродливые органы и структуры.

У птиц и млекопитающих многие пестициды (карбофос, метатион, ГХУГ и др.) вызывают сдвиги гематологических показателей, изменяют белки сыворотки крови. Многочисленны примеры влияния самых «обычных» атмосферных загрязнений на процессы онтогенеза животных.

Для 104 районов Великобритании при анализе сравнительных данных по общему уровню смертности за 1960, 1969 и 1974 гг. была обнаружена достоверная корреляция между общим уровнем смертности и содержанием сульфатов в атмосфере, а для Лондона — между уровнями смертности и содержанием взвешенных частиц, смогом, содержанием  $SO_2$  для зимних периодов.

Ежегодно только в развивающихся странах отравляются пестицидами около 375 тыс. человек, из которых около 10 тыс. — смертельно. В определенных районах США (например, в Калифорнии), как показывают статистические данные, сельское хозяйство стало одной из опасных профессий и по числу погибающих из-за профессиональных причин: подавляющая часть таких случаев связана с прямыми отравлениями пестицидами или вызванными ими вторичными заболеваниями.

Даже разовое воздействие некоторых органофосфатных пестицидов типа диэldrина, малатиона, паратиона, как показали исследования на обезьянах и наблюдения

на людях, приводит к изменению энцефалограммы, т. е. к изменению активности головного мозга; изменения энцефалограммы сохраняются до года после воздействия. У людей такие воздействия ведут к нарушениям сна и памяти, потери либидо, легкой раздражимости и трудности концентрации внимания.

Особую опасность представляет загрязнение атмосферы аэрозолями на основе фторсодержащих органических соединений, которое ведет к разрушению озонового слоя в верхних слоях атмосферы. Уменьшение толщины озонового слоя прямо связано с увеличением интенсивности ультрафиолетовой радиации. Хотя эффект от разрушения 1% озонового экрана над территорией США в 1980 г. в среднем оказался вдвое меньше предсказанного в 70-е годы, все же, как полагают некоторые авторы, в результате этого число случаев кожных новообразований увеличилось там в среднем на 2%. Возможно, одним из наиболее опасных для человека (и для многих других млекопитающих и позвоночных вообще) оказывается загрязнение атмосферы полициклическими ароматическими углеводородами (ПАУ), а среди них довольно обычным бенз(а)пиреном. Как отмечалось в предыдущей главе, в результате воздействия ПАУ образуются различные новообразования, в том числе и злокачественные опухоли.

Для многих стран (в том числе США, Япония) установлена прямая зависимость между уровнем загрязнения воздуха и уровнем заболевания раком легких. Анализ смертности от рака легких в местностях США, где до 1960 г. велась добыча и выплавка свинца и цинка в штатах Оклахома, Канзас и Миссури, показал, что и в 1950—1969 и в 1973—1977 г. этот показатель здесь был много выше общенационального. Это может быть связано только с последствиями химического загрязнения атмосферы до 1960 г. Обобщение подобных данных привело к заключению, что 80 % раковых заболеваний имеют «химическое» происхождение — т. е. связаны с химическим загрязнением среды. Показано, что искусственные электромагнитные поля даже низкой и средней интенсивности могут оказывать неблагоприятное влияние на состояние организма позвоночных животных, изменяя течение окислительно-восстановительных процессов, кислородный режим в тканях, вызывая функциональные изменения сердечно-сосудистой и эндокринной систем. В США около 1 % населения подвергается постоянно

воздействию электромагнитных полей (рис. 12) выше уровня 1 мк·Вт/см<sup>2</sup>. Воздействие

электромагнитных полей уровня 500 мк·Вт/см<sup>2</sup> по 7 ч ежедневно в течение 3 месяцев среди других изменений физиологии

и поведения снижало у крыс уровень содержания сульфгидрильных групп и холинэстеразы

в крови, повышало порог возбудимости на шокковые воздействия, изменяло альфа-ритм в биоэлектрической активности головного мозга.

Такое же облучение беременных крыс на протяжении 20 дней оказывало угнетающее влияние на поведение потомства. Изменения в состоянии нервной системы крыс наблюдались и при многократно меньшей активности напряженности поля

(плотности потока энергии от 10 мк·Вт/см<sup>2</sup> при экспозиции 2 ч-сут); такой поток энергии аналогичен тому, который создается в окрестностях радиорелейных линий, телецентров и радиолокационных станций. При этом особенно высокой чувствительностью отличались самые молодые и самые старые особи.

В последнее время в связи с дискуссией в США о необходимости введения общенациональных регуляций воздействия ЭМП широко признается, что опасным может оказаться не только разовое облучение, но и накопленный эффект. В этой связи приводятся данные о негативных последствиях облучения интенсивностью даже менее

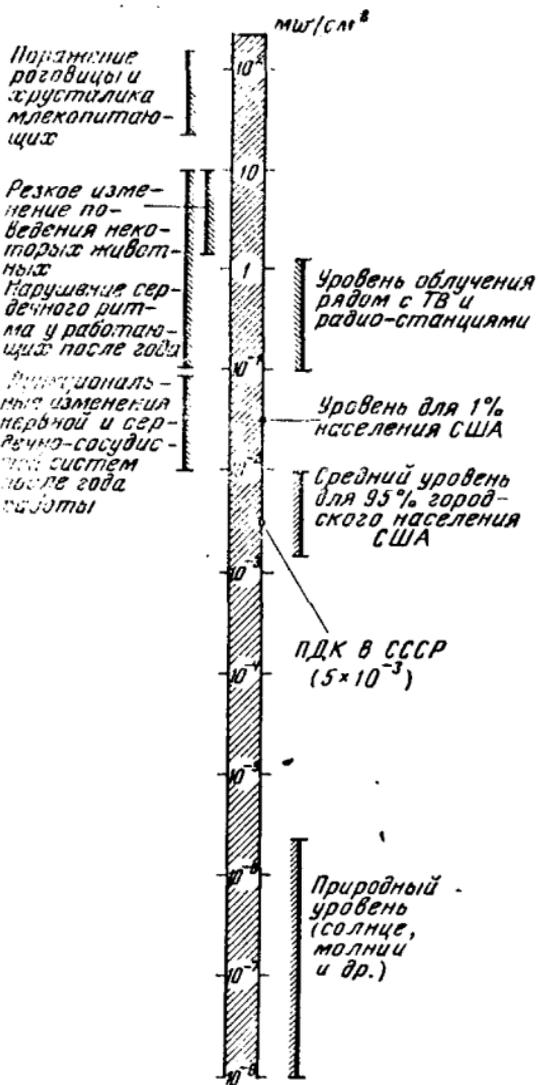
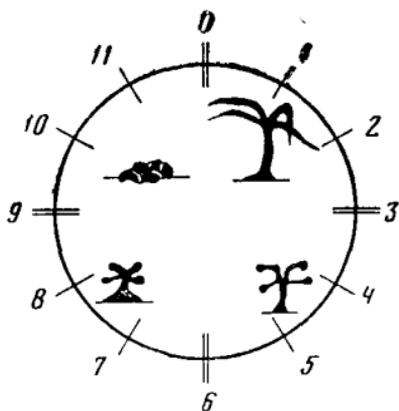


Рис. 12. Влияние микроволновой радиации на организмы

В последнее время в связи с дискуссией в США о необходимости введения общенациональных регуляций воздействия ЭМП широко признается, что опасным может оказаться не только разовое облучение, но и накопленный эффект. В этой связи приводятся данные о негативных последствиях облучения интенсивностью даже менее

В последнее время в связи с дискуссией в США о необходимости введения общенациональных регуляций воздействия ЭМП широко признается, что опасным может оказаться не только разовое облучение, но и накопленный эффект. В этой связи приводятся данные о негативных последствиях облучения интенсивностью даже менее

Рис. 13. Стадии дегенерации гидры под влиянием слабого постоянного тока (8—14 мкА/мм<sup>2</sup>), по интенсивности сходного с наводимой ЛЭП в естественных местобитаниях (Протасов, 1982)



чем 4 Вт/кг веса тела. У кроликов и морских свинок в этих условиях обнаружена лейкемия, изменения иммунной и эндокринной систем. Облучение мышей и крыс 1—3 Вт/кг вызывало заметное изменение поведения и повышение температу-

туры тела (подтверждено и на обезьянах), а для мышей такое облучение являлось весьма вероятным канцерогеном и ко-канцерогеном. Пока нет надежных данных о воздействии ультранизких частот, генерируемых электрифицированным транспортом и промышленными установками, но известно, что некоторые из этих частот совпадают с частотой отдельных ритмов мозга млекопитающих. В экспериментах американских ученых ЭМП ультранизких частот при их модуляции оказывали влияние на ионный транспорт в клетках экспериментальных животных. Радиус же возможного действия таких антропогенных полей огромен — десятки километров. Увеличивается число данных о негативном влиянии на животных линий электропередач (обзор см.: Протасов, 1982, рис. 13).

Последние примеры из этой серии касаются радиоактивного загрязнения. В экспериментальном исследовании древесная ласточка (*Iridoprocne bicolor*) и домовый крапивник (*Trogloditus aedon*) избегали дуплянок, вывешенных в зоне повышенной радиации (гамма-излучение, от 35 мкКюри/кг в день) или оставляли гнезда до начала кладки яиц. Известно, что лишайники отличаются способностью накапливать радиоактивные изотопы (в частности, из-за значительной продолжительности жизни). Смертность от злокачественных новообразований у коренного населения некоторых арктических районов оказывается заметно выше средней. Исследователи связывают этот факт с резко увеличенным поступлением в организм людей на Севере радионуклидов по цепи питания, лишайник — олень — человек.

2. *Загрязнения гидросферы.* Подсчеты показывают, что

большая часть загрязняющих веществ попадает в Мировой океан не со стоком рек, а с дождями и пылью из воздуха. Однако в прибрежных водах, естественно, роль непосредственно поступающих туда со стоком пресных вод загрязнителей больше. В начале 60-х годов миллионы рыб погибли в низовьях р. Миссисипи в результате попадания в воду эндрина — одного из сильнодействующих пестицидов. Случаи отравления рыб пестицидами известны для эстуариев ряда рек Центральной Америки, а также в реках Камеруна, Зимбабве и ряда других стран Африки.

Опыты показали, что даже незначительные количества ДДТ и хлорофоса вызывали угнетение дыхания, А-витаминоз у беспозвоночных гаммарид и некоторых видов рыб. Некоторые пестициды в ничтожно малых, следовых количествах оказывают резкое влияние на поведение рыб и беспозвоночных животных. Так, севин и его производные нарушают стайное поведение рыбы менидди в концентрациях одна часть на 10 млрд. ( $1:10^{10}$ ). При концентрации  $20:10^9$  мирекс подавляет рефлекс аутономии у крабов, при концентрациях менее  $6:10^8$  растворимые циклические соединения в ПЛУ нарушают ориентацию у омаров (Куллини, 1981, с. 144). Недавно сотрудники МГУ показали, что фенольное отравление нарушает нормальную реакцию рыб на химический сигнал тревоги (феромон тревоги). Нарушения поведения и характера движений у рыб под действием загрязняющих веществ настолько характерны, что разработаны методы контроля качества воды посредством регистрации движений рыб.

В установках с использованием рыб *Micropterus salmoides* как индикаторов удавалось регистрировать минимальные концентрации ртути (0,05 мг/л), меди (0,05 мг/л), кадмия (0,2 мг/л), фенолов (0,5 мг/л), аммония (в пересчете на азот) (1 мг/л) и цианидов (0,05 мг/л).

Высокие концентрации ПХБ и пестицидов влияют на поведение птиц: для поведения таких птиц характерно замедленное избегание опасности, отсутствие боязни человека. Обычно такие птицы отличаются истощенностью. Оказывается, по своему химическому строению многие хлорорганические соединения таковы, что они легко растворяются в жирах (липидах), и когда птица убитана, то основная часть таких токсикантов сконцентрирована в сравнительно инертной жировой ткани. Но когда птице приходится тратить этот запасенный жир, они отравляют

организм. У 30 видов донных рыб по тихоокеанскому побережью США обнаружены признаки разрушения плавников в результате того, что подавляющее большинство промышленных и бытовых стоков этого огромного и густонаселенного региона выбрасывается непосредственно в океан по гигантским трубопроводам, выведенным в море на расстояние нескольких километров от берега (Куллини, 1981).

Рассмотрение этой проблемы в США в 1984 г. показало, что по крайней мере в пяти крупных бассейнах страны уровень раковых заболеваний у рыб опасно высок: до 80 % атлантических томкодов (*Microgadus tomcod*) старше двух лет поражены раком печени в Гудзоновом заливе; 80 % бычков (*Cottus gobio*) старше трех лет в Блэк Ривер (штат Огайо) поражены раком кожи или печени; канадские судаки *Stizostedion canadensis* и *S. vitreum*, обитающие в оз. Торч (штат Мичиган), отравленном отходами местного медного рудника, поголовно поражены опухолями печени, кожными окостеневаяющими фибромами, поражениями селезенки. В контрольных экспериментах осадок, взятый из Буффало-Ривер (штат Нью-Йорк), вызывал у бычков рак кожи через год, а при добавлении химикатов, извлеченных из этого осадка, в корм бычков 8 из 10 рыб начинали страдать тяжелыми поражениями печени, включая рак. Возникновение злокачественных новообразований отмечено и в Балтийском бассейне для шук и форели.

Одним из самых распространенных современных инсектицидов является токсафен — сложная смесь хлорсодержащих органических соединений. На протяжении более чем десятилетия (1964—1975) он применялся в США, а затем и в Западной Европе интенсивнее, чем любой другой препарат, примерно по 150 г на человека в год. В результате его концентрация в воздухе над Мировым океаном в десятки раз превышает концентрацию других пестицидов. Этот пестицид уже в ничтожной концентрации  $8:10^9$  вызывает гибель некоторых рыб (гамбузий), а у сомов, форели, пимефалеса и других вызывает необратимые изменения в печени, легких, жабрах, позвоночнике (Куллини, 1981).

Полициклические ароматические углеводы (ПАУ), попадающие в океан с нефтью и другими путями, вызывают образование опухолей у рыб и амфибий. На протяжении 6 лет в США исследовалась одна популяция хвостатых амфибий амбистом (*Ambystoma trigrinum*), оби-

тающая в сильно загрязненной ПАН лагуна. От 30 до 50 % всех просмотренных особей (изучено около 28 тыс. животных) имели в коже новообразования и цисты разного типа. Сравнительное исследование 16 других популяций этого вида не обнаружило ни в одном из них таких образований в коже.

Интересны сравнительные исследования, проводившиеся в течение 5 лет в США и Канаде с целью установления связи между степенью загрязненности водоемов и заболеваемостью рыб. В наиболее загрязненном водоеме (3—50 мг органических веществ в 1 л воды) оказалось, что более 8,5% рыб страдало от болезней бактериального, грибкового и паразитарного происхождения и более 8% имело повреждения позвоночника. В слабозагрязненном водоеме доля больших рыб была лишь около 1%, а повреждения позвоночника имели лишь 3% рыб.

Как известно, велики масштабы загрязнения Мирового океана нефтью. Растворимые ароматические производные (РАП) составляют около 5% сырой нефти (20% — в керосине). Большинство водорослей, беспозвоночных и рыб гибнут при концентрации РАП 5—50 частей на 1 млн частей воды ( $5—50:10^6$ ) (Куллини, 1981). Трагичны последствия нефтяного загрязнения морей и для высших позвоночных — птиц и млекопитающих. Обычно несмачиваемые перья птиц, пропитанные нефтью, пропускают воду; тело птицы быстро охлаждается и наступает гибель. Тюлени, сирены и китообразные гибнут либо от непосредственного попадания нефти в организм, либо из-за поедания отравленных РАП рыб, беспозвоночных и водорослей. В одном из недавних обзоров (Meyers, Hendricks, 1982) приведены данные более чем 200 работ иностранных авторов, описывающих те или иные патологические изменения органов и тканей различных видов рыб и водных беспозвоночных, полученные в условиях действия известных концентраций инсектицидов, гербицидов, промышленных органохлоридов, компонентов нефти и продуктов ее переработки, солей металлов, нитратов и нитритов и медицинских препаратов. Перечисление даже основных данных в этой области занимает много страниц. Описание же уже известных общих влияний химического загрязнения на физиологию, поведение, экологию, распределение морских и пресноводных обитателей в природных популяциях составляет многие тома, и этому посвящаются целые научные конференции.

Важным и не всегда учитываемым оказывается влияние на водных обитателей теплового загрязнения среды. В результате строительства мощных атомных электростанций в ряде районов Мирового океана возникают значительные пространства с теплой — на несколько градусов выше средней — водой. Эти пространства привлекают многих рыб, которые чувствуют перепад температуры воды в сотые доли градуса на расстоянии десятков метров по горизонтали. В теплой воде рыбы в холодное время года остаются более активными, интенсивнее идут процессы роста. Однако эти же, казалось, более комфортные участки оказываются смертельными ловушками при каком-либо резком изменении температуры поступающей воды. Когда атомную электростанцию в Устричной бухте (штат Нью-Джерси, США) остановили на несколько часов для заправки топливом в январе 1972 г., температура в зоне выброса резко снизилась с  $15^{\circ}$  почти до  $0^{\circ}$ . Скопившиеся здесь на зимовку десятки тысяч рыб, не выдержав такой резкой смены температуры, погибли. Опасен и резкий нагрев воды. При этом резко происходит перенасыщение воды растворенным воздухом и в результате у рыб происходит эмболия (закупорка кровеносных сосудов пузырьками азота), которая неизбежно ведет к гибели.

Во всех экспериментах и наблюдениях обычно преимущественно учитываются летальные или близкие к ним изменения организма. Однако даже сублетальные, а иногда и едва уловимые в эксперименте воздействия оказываются опасными в природных популяциях. Морские креветки, в теле которых содержались следовые количества Арохлор-1254 (один из обычных полихлорбифенилов, широко используемый в промышленности и являющийся одним из компонентов глобального загрязнения биосферы), были перемещены из привычной для них морской воды, где они чувствовали себя нормально, в солоноватую. В последней содержание морских солей было уменьшено в 5 раз. Все эти креветки погибли, так как присутствие ПХБ не позволило регулировать концентрацию соли в крови; контрольная группа без следов ПХБ выжила. Подобное распреснение морской воды у побережья постоянно происходит после сильных дождей в тех местах, где живут креветки (Куллини, 1982).

Иногда влияние поллютантов касается, казалось бы, мелких особенностей биологии. В эксперименте солоноватоводные двустворчатые пластинчатожаберные мол-

люски — мидии, гребешки — питались загрязненным инсектицидами фитопланктоном. Конечная концентрация инсектицидов у моллюсков оказывалась в тысячи раз выше, чем его содержание в воде, но никаких патологических изменений в организме не обнаруживалось, кроме нарушений в выделении биссуса — шелковистых нитей, с помощью которых эти мидии прикрепляются к субстрату. Однако ясно, что не прикрепленным к скалам мидиям в природе грозит немедленная гибель.

(Обычным явлением для многих, даже крупных, пресноводных водоемов становится антропогенная эвтрофикация, возникающая в основном в результате загрязнения водоемов органикой и биогенами, вызывающими в свою очередь массовое размножение цианобактерий (синезеленых «водорослей»). Они выделяют токсины, которые даже в низких концентрациях (0,03 г/л) оказываются опасными для всех позвоночных: нарушается дыхание, поражаются кожные покровы, развивается дистрофия. Использование такой воды для питья, а также употребление в пищу отравленной рыбы вызывают так называемую гаффскую болезнь у млекопитающих (желудочно-кишечные, аллергические, мышечные проявления) со смертностью у человека до 2%. В этой связи можно вспомнить и развитие болезни Минимата — отравления людей (и, несомненно, всех других млекопитающих) в результате регулярного поедания рыб и моллюсков, содержащих сублетальные для них концентрации метилртути (Dagani 1980).

Резкие изменения поведения водных организмов обнаружены в результате воздействия разнообразных физических полей антропогенного характера. Так, оказалось, что эксплуатация пресноводных электротралов вызывает преждевременный нерест некоторых видов рыб. Электрические поля, генерируемые линиями высоких передач (как подводными, так и надводными), влияют на распределение рыб (вплоть до приостановки миграций осетровых на Волге), а низкочастотные гидромеханические поля, создаваемые при движении судами, заставляют, по-видимому, многих рыб избегать судоходных трасс (рис. 14).

3. *Загрязнения почв.* Коротко остановимся на заболеваниях живых организмов, связанных с загрязнением почвы; естественно, что значительная часть таких данных об этом касается растительных организмов. Присутствие в почве в необычно высоких концентрациях соеди-

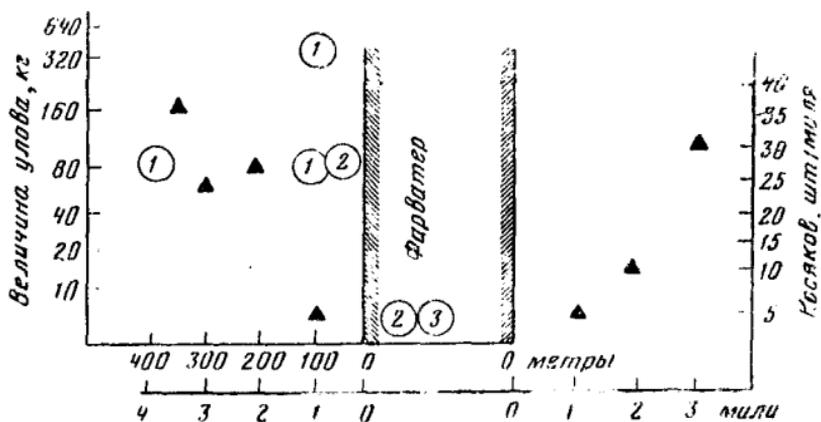


Рис. 14. Распределение некоторых рыб относительно судоходных трасс в Вяткинском водохранилище (в м) и Черном море (в милях)

Стая крупных рыб и косяки шпрота держатся вдали от фарватера. 1 — лещ, 2 — плотва, 3 — ерш; черные треугольники — косяки шпрота (по: Протасов, 1982)

нений молибдена, меди, цинка и других металлов может вести к поражению различных органов и тканей у растений, развитию патологических новообразований, нарушениям в развитии морфологических структур. Лишь в результате интенсивного отбора на протяжении ряда поколений в популяциях некоторых из травянистых растений вырабатываются приспособления, позволяющие выживать на загрязненных почвах отвалов рудников. Применение соли для очистки от снега улиц и дорог ведет к некрозу листьев у многих древесных пород.

Массовый характер приобретает отравление водоплавающих птиц в Европе и Северной Америке свинцовой дробью. Утки проглатывают дробинки как гастролиты — камушки, способствующие перетиранию пищи в желудке. Всего лишь шесть проглоченных кряквой свинцовых дробинок среднего размера могут быть причиной смертельного свинцового отравления, сублетальные порции свинца отрицательно влияют на успешность размножения.

На основании анализов сотен проб почвы было установлено, что высокое среднее содержание соединений магния, свинца и кобальта (и более низкое — меди) в почвогрунтах совпадало с общим увеличением числа зарегистрированных онкологических заболеваний.

Накапливается все больше данных, показывающих, что повышенная концентрация свинца в организме человека отрицательно сказывается на умственной деятельности (особенно у детей). Исследования, проведенные

независимо и на разном материале учеными ФРГ, США, Англии, показали, что дети с повышенным содержанием свинца в крови (более 13 мкг/100 мл), при тщательном исключении влияния социально-экономического статуса семьи, устойчиво и статистически достоверно получали меньше баллов по известной шкале интеллектуального индекса. Оказалось также, что уровень содержания кальция и свинца в волосах умственно отсталых детей (5—15 лет) был в 4 раза выше, чем в группе нормальных детей.

4. *Взаимодействие факторов.* Все, что говорилось выше о развитии заболеваний в результате загрязнения среды, касалось специфического действия одиночных факторов. В природе же обычно действие одного фактора переплетается — усиливается и ослабляется — действием многих других. Приведем несколько примеров.

Загрязненный  $SO_2$  воздух в концентрации 10,0—1 мг/л (экспозиция от 1 до 21 дня) достоверно повышал смертность мышей от бактериальной инфекции. Накопление хлоридов и некроз листьев у конского каштана (*Aesculus hippocastanum*) на окраинах г. Берна было положительно коррелировано. Однако в центральных и промышленных районах города с наиболее интенсивным загрязнением атмосферы  $CO$  и  $NO_2$  такой корреляции некроза листьев и содержания хлоридов не обнаружено. Этот парадоксальный результат объясняется подавлением активности устьичного аппарата листа атмосферными токсикантами, неработающие устьица задерживают в листе хлориды, которые и предохраняют листовую пластинку от перегрева.

Влияние меди на организм растений резко усиливается в присутствии солей свинца. Та же медь усиливает влияние радиоактивного облучения на растения, тогда как присутствие солей бария, марганца и магния ослабляет такое влияние.

При изучении влияния соединений меди, кобальта, кадмия и цинка на креветку *Calinassa australiensis* оказалось, что любые сочетания двух металлов токсичнее, чем действие одного, а любые сочетания из трех — токсичнее любых соединений из двух.

Природная резистентность белых крыс к чумной инфекции утрачивалась под влиянием даже малых доз (0,075 мг/особь в течение 24 суток) антикоагулянта зоокумарина.

70 % сердечно-сосудистых и легочных заболеваний у женщин в городах связано с совместным действием хи-

мического загрязнения и шума. Аналогичным оказывается и сочетанное действие шума и загрязнения атмосферы на детей: шум в 40—60 дБ в сочетании с действием окиси углерода в концентрации 1—2 мг/м<sup>3</sup> (ситуация, характерная для магистральных улиц крупных городов) достоверно сказывается на здоровье детей дошкольного возраста.

Проникающее нейтронное излучение каким-то образом разрушает систему природной резистентности собак к сибирской язве. По отношению к дифтерийному токсину действие коротковолновых и длинноволновых УФ-лучей на кроликов резко различается: первые повышают, а вторые понижают их устойчивость.

Та же самая ультрафиолетовая радиация в природных условиях вызывает, как широко известно, образование наиболее токсичных форм смога (в результате в основном фотохимических реакций с участием соединений серы и азота). Именно такой фотохимический смог, возникший в особенно богатом солнечном сиянии 1976 г. в Центральной Европе, привел к поражению хвои больших массивов лесов в Шварцвальде (ФРГ), несмотря на сравнительно низкий уровень атмосферного загрязнения этого района.

К этому добавим, что естественное УФ-облучение в условиях летней жары снижает неспецифическую иммунологическую детскую резистентность. Известны случаи, когда порознь неопасные химические вещества при сочетаниях могут стать токсичными в результате образования вторичных ядовитых метаболитов. При попадании в организм человека и собак бета-нафтиламина возникает 2-амино-1-нафтолсерная кислота, индуцирующая рак мочевого пузыря. Выделяется даже целая группа веществ, которые становятся явными канцерогенами лишь в присутствии каких-то других агентов (так называемые ко-канцерогены). Такими ко-канцерогенами оказываются многие эмульгаторы (твины, спаны), фенолы, антибиотик гризеофульвин, диметосульфоксид, гербицид 2,4-Д и другие вещества.

Наконец, упомянем, что, похоже, надежды на борьбу с нефтяными разливами в морях с помощью дисперсантов оказываются напрасными: нефть в сочетании даже с самыми малотоксичными дисперсантами оказывается многократно более токсичной для рыб, крабов и других гидробионтов.

5. *Неспецифическое действие загрязнений.* Влияние

загрязнения, наверное, даже чаще, чем в поражении отдельных органов, систем, сказывается на общем ослаблении организма, снижении уровня сопротивляемости другим факторам среды, не прямо связанным с действием конкретных загрязнений. Это выразится в увеличении продолжительности, частоты и тяжести обычных заболеваний.

В результате нарушений метаболизма под влиянием загрязнений может изменяться доступность питательных веществ и усиливаться чувствительность к различного рода заболеваниям. Данные такого рода накапливаются для животного и растительного мира и для человека.

При исследовании нескольких тысяч птиц и летучих мышей, погибших от разных причин в Нижней Саксонии и соседних территориях ФРГ, выяснено, что особи, содержавшие в теле большее количество пестицидов, солей тяжелых металлов и других химических загрязнителей (выделялось наличие 50 разных отравляющих веществ), чаще гибли от «естественных» заболеваний и чаще становились добычей хищников, чем незагрязненные особи.

Люди, живущие в окрестностях химических предприятий (не работающие на этих предприятиях), болели простудными заболеваниями в 5—10 раз продолжительнее, чем контрольный контингент. Болезни печени, почек, поджелудочной железы встречались у исследованной группы людей в 1,5—2,5 раза чаще, чем в контрольной. Общая заболеваемость детей дошкольного возраста, живущих в условиях загрязненного воздуха, оказалась на 30 % выше, чем контрольной группы. Более высокая заболеваемость оказалась характерна и для детей до 15 лет, живущих в районах с интенсивным применением пестицидов; при этом доля влияния пестицидов на большую часть нозологических форм составила от 14,1 до 56,6 %.

Общая неспецифическая устойчивость к бактериальной инфекции может снижаться у млекопитающих под воздействием тяжелых металлов. Так, вдыхание низких концентраций тонкоизмельченного пылевидного никеля ( $0,1 \text{ мг/м}^3$ ) приводит к резкому (в несколько раз) снижению содержания лизоцима в легочной жидкости.

Известно, что лизоцим — бактериоцидный, бактериолитический агент, участвующий в иммунной защите организма, стимулирующий фагоцитоз и подавляющий пролиферацию клеток. Указанное снижение уровня лизоцима произошло через 4 месяца после вдыхания никеля на протяжении 5 дней в неделю по 6 ч в день.

Способность подавлять иммунную систему у человека (иммунодепрессивное действие) показана для ряда гербицидов — которана, монурона, дозанекса (метоксулона).

В заключение этого раздела коснемся еще раз вопроса о видоспецифичности действия различных антропогенных факторов на онтогенез. Действие многих из изученных факторов, загрязняющих внешнюю среду, на онтогенетическом уровне видоспецифично, т. е. различно для разных видов. Обычно такие различия касаются интенсивности действия, или, что то же самое, — пороговой чувствительности разных видов к тому или иному фактору. Так, рыбы более чувствительны к некоторым пестицидам (например, фенотропиону), чем млекопитающие. Растения в 25 раз более чувствительны к содержанию в атмосфере  $SO_2$  и в 15 раз — к содержанию бензола, чем человек. Изучение действия большого числа химических веществ показало, что крысы и мыши оказались менее чувствительными к загрязнению среды, чем, например, курицы, кролики, обезьяны и человек. С. В. Горюнова и С. А. Остроумов сопоставили чувствительность одноклеточных зеленых водорослей *Scenedesmus quadricauda* и некоторых высших растений (на ранних стадиях онтогенеза) к детергентам. Оказалось, что последние более уязвимы к сублетальным концентрациям анионного детергента додецилсульфата натрия.

Надо отметить, что мы пока, по-видимому, не располагаем надежными данными, позволяющими заранее определять уровень этой пороговой чувствительности по разным загрязнителям даже для крупных групп животного и растительного мира.

## 5. Заключение

Нарушения нормального хода онтогенеза могут проявляться на любом этапе онтогенеза — от эмбриогенеза до завершающих онтогенез геронтологических процессов. На ранних этапах онтогенеза — до рождения у высших животных (в пренатальной фазе) — онтогенетические дифференцировки могут произойти не в нужное время (гетерохрония), не в нужном месте (гетеротопия), может образоваться ненормальная (сверхразвитая или недоразвитая), уродливая структура (тератогенез). Наконец, в результате действия антропогенных факторов весь ход онтогенеза может быть нарушен (эмбриотоксическое влияние).

У особи после рождения нарушения коснутся прежде всего процессов роста (обычно замедление роста) и процесса полового созревания и размножения. На перечисленные нарушения могут наслаиваться нарушение процессов метаболизма, развитие болезненных проявлений (от легкообратимых до летальных) и изменение поведения животных: как показали точные эксперименты, домовые мыши и дикие мышевидные хомячки оказались многократно более уязвимыми для влияния химических загрязнений и стресса в периоды, когда были ограничены в пище и воде — ситуация, которая часто встречается в естественных условиях для многих видов. В этом же исследовании была показана большая чувствительность природных популяций сравнительно с лабораторными (для одних и тех же видов).

Из приведенных в настоящей главе данных можно сделать несколько общих выводов.

1. Все разнообразные физико-химические и другие антропогенные факторы, действующие в атмосфере, гидросфере и почве, могут приводить к нарушению метаболизма, строения и функционирования на любой стадии онтогенеза, причем часто также нарушения оказываются необратимыми и смертельными.

2. Нарушение эмбрионального развития и ранних стадий постнатального онтогенеза под влиянием практически любых антропогенных факторов может происходить при значительно меньших концентрациях (дозах) действующего фактора, чем те, которые вызывают поражение взрослых особей данного вида. Есть данные о повышенной чувствительности и самых поздних (старческих) стадий онтогенеза.

3. Пороговые концентрации, при которых наблюдаются первые признаки действия какого-либо фактора, при хроническом воздействии оказываются намного ниже, чем при кратковременных воздействиях.

4. Эмбриотоксичность проявляется не только при разовом действии достаточно больших концентраций многих веществ, но и при хроническом, длительном действии таких незначительных концентраций, которые на первый взгляд казались безопасными.

5. Выявление действия отдельных загрязнителей в онтогенезе затруднено их постоянными и сложными взаимодействиями, которые оказываются порой контринтуитивными и во многом зависят от индивидуального «химического груза».

6. Кроме специфического влияния на какие-либо структуры или функции, загрязнение среды может приводить к общему ослаблению особи, подавлению иммунной системы, снижению сопротивляемости к действию обычных факторов среды.

7. Хотя поражающее действие на онтогенез большинства загрязнителей, видимо, видоспецифично, общие закономерности этой специфичности далеко не ясны: по некоторым загрязнениям более высокая чувствительность характерна для тех или иных видов растений, по другим — для животных, по одним — для позвоночных, по другим — для беспозвоночных и т. д.; есть данные о разной чувствительности к эмбриотоксинам и тератогенам генетически разных линий в пределах одного вида.

## Глава IV

### ПОПУЛЯЦИОННО-ВИДОВОЙ УРОВЕНЬ

На популяционно-видовом уровне основной элементарной единицей является популяция. В эволюционно-генетическом смысле популяцией называется совокупность особей одного вида, в течение большого числа поколений населяющих определенное пространство, внутри которой осуществляется та или иная степень панмиксии и которая отделена от соседних таких же совокупностей особей той или иной степенью изоляции<sup>1</sup>.

Элементарное явление на популяционно-видовом уровне — направленное изменение генотипического состава популяции, а элементарный материал — мутации разных типов.

Популяции — генетически открытые системы, способные обмениваться генетической информацией (в форме обмена особями и гаметами). Вид — наименьшая генетически закрытая система, как правило, представляет сеть взаимосвязанных популяций. Вид это качественный этап эволюционного процесса. Популяции и виды, несмотря на то что состоят из множества особей, оказываются цело-

---

<sup>1</sup> Это определение приложимо лишь к половым, перекрестноразмножающимся организмам. У облигатноагамных (и апомиктических) форм популяции соответствует группа пространственно изолированных клонов.

стными системами. Эта целостность обусловлена взаимодействием особей в популяциях, обменом генетическим материалом, формированием единых важных адаптивных особенностей и образованием на этой основе единой видовой экологической ниши. Популяции и их группы (виды) обладают собственной эволюционной «судьбой» (они могут при подходящих условиях существовать неограниченно долго в чреде поколений).

Для проблем охраны природы исключительно важным оказывается то, что именно на популяционно-видовом уровне осуществляется процесс эволюции, происходит как возникновение, так и исчезновение видов. Именно поэтому этот уровень обычно является основным при описании проблем охраны живой природы. Однако в развиваемом в этой книге многоуровневом подходе к проблемам охраны природы популяционно-видовой уровень должен быть назван главнейшим.

Поскольку проблемы этого уровня многократно излагались в сводках и популярных работах, мы ограничимся конспективным изложением и анализом материалов по трем основным разделам: 1) характеристике исчезновения видов по крупным группам организмов, 2) анализу причин исчезновения видов, 3) краткому обзору современных популяционно-видовых проблем охраны живой природы.

## 1. Характеристика исчезновения видов

В этом разделе рассмотрим последовательно, начиная с растений, основные черты, характеризующие положение с исчезновением видов по отдельным крупным группам (царствам, классам), а также по некоторым регионам.

### 1.1. Исчезающие растения, лишайники, грибы

Не менее 25—30 тыс. видов *высших растений*, т. е. около 8—10 % общего числа описанных видов сосудистых растений на планете, находится под угрозой уничтожения или могут в ближайшее время оказаться в критическом состоянии.

За последние 20 лет в некоторых регионах исчезло несколько процентов их флор (табл. 7).

Темп вымирания нарастает. Так, в США число вымерших видов во второй половине XIX в. увеличилось

Таблица 7

Масштабы исчезновения (вымирания) видов высших растений за последние 200 лет (по данным разных авторов)

с.и.с 7

Страна	Число исчезнувших видов	Доля (%) вымерших от общего состава флоры
Континентальная часть США	Около 100	Около 0,5
Гавайские острова	255—270	Около 11,6
Нидерланды	50—75	Около 4,0
Бельгия	62	4,8
ФРГ	58	2,4
Швеция (с 1850 г.)	37	2,3
ГДР	29	1,6
ЧССР	(возможно, еще 54) 76	(возможно, еще 3,1) Около 4,0
Франция (с 1930 г.)	40	Около 1,0

в 10 раз по сравнению с первой половиной того же столетия.

Катастрофично положение с целым рядом видов, которые представлены единичными экземплярами.

Число известных видов сосудистых растений, сохранившихся в природе в малом числе экземпляров (по Красной книге МСОП, 1978)

Число экземпляров, оставшихся в природе	1	2	3	4—5	6—21
Число видов с данным числом экземпляров	6	1	2	4	6

Тревожно положение многих флор по числу угрожаемых видов (табл. 8).

В Красную книгу СССР (1984) занесено 603 вида сосудистых растений. Наиболее многочисленны представители семейств: луковых (12 видов, из которых 2 — категории 0), амариллисовых (11 видов), зонтичных (39 видов, из них 2 — категории 0), сложноцветных (53 вида, из них 2 — категории 0), капустных (20 видов, из них 1 — категории 0), колокольчиковых (17 видов), гвоздичных (17 видов, из них 1 — категории 0), вересковых (12 видов, из них 8 — рододендроны), бобовых (36 видов, из них 4 — категории 0), касатиковых (19 видов, среди них 1 категории 0 и 10 — касатики рода *Iris*), губоцветных (14 видов, из них 5 — категории 0, в том числе 2 вида шалфея), лилейных (43 вида, из которых 3 вида категории 0 и 11 видов — тюльпаны), орхидных (35 ви-

Таблица 8

Число видов, находящихся в угрожаемом состоянии во флорах некоторых стран (по данным разных авторов)

Флора	Доля (%) угрожаемых видов данной флоры	Число видов, год
Континентальная часть США	Не менее 3,8 (исчезающие)	761 (1980)
	Не менее 6,1 (сокращаемые)	1238
Гавайские острова	29,0 (исчезающие)	639 (1980)
	8,8 (сокращаемые)	194
ФРГ	7,7 (исчезающие)	180 (1983)
	16,9 (сокращаемые)	397
Франция	12,0 (исчезающие)	Около 500 (1981)
	30,0 (сокращаемые)	Около 1300
Швеция	9,1 (охраняемые)	130 (1983)
Великобритания	9,0 (исчезающие и сокращаемые)	144 (1983)
	0,97 (исчезающие)	107 (1977)
Вся Западная Европа	1,26 »	139 (1983)
	12,7 (сокращаемые)	1400 (1977)
ГДР	5,8 (исчезающие)	103 (1983)
	22,3 (сокращаемые)	369
СССР		
Сибирь	Около 4,4	
Рязанская обл.	5,1	58 (1981)
Псковская обл.	12,3	160 (1980)
Молдавская ССР	13,7	240 (1980)
Карельская АССР	16,4	180 (1979)
Австралия	Около 10	Около 200 (1981)
Вся Тропическая зона	Около 30	—
Вся Умеренная зона	Около 5	—

дов, из них 1 — категории 0), пионовых (8 видов пионов), злаковых (23 вида, в том числе 7 видов ковылей, 4 вида пшениц и 2 вида ржи), первоцветные (16 видов, из них 1 — категории 0), розоцветных (17 видов, из них 2 — категории 0, в число этих 17 видов входят 2 вида миндаля, 3 вида груш, по 1 виду вишни, земляники, яблоны, сливы).

*Мхи, водоросли, лишайники, грибы.* В Швеции в список редких и исчезающих видов включены 90 видов мохообразных, 70 — лишайников, 50 — грибов. Многие виды встречаются лишь в 3—10 пунктах Швеции, несмотря на кажущуюся распространенность их местообитаний. В Великобритании в последние десятилетия исчезли мхи *Helodium lanatum* и *Paludella squarrosa* (оба вида — болотные). Атмосферное загрязнение привело

к исчезновению на большой части Великобритании эпифитных бриофитов рода *Orthotrichum*. Чрезмерный сбор привел к исчезновению мха *Cyclodictyon laetevirens* из единственного местонахождения этого вида в Англии (пещера Маусхоул в Корнуэлле) еще около 50 лет назад. 90 % тропических мохообразных — лесные виды и, следовательно, их выживание зависит от сохранения тропических лесов. Из 900 видов морских водорослей, найденных у берегов Великобритании, около трети считаются редкими. В ФРГ около 40 % известных видов высших грибов находятся под угрозой исчезновения.

81 вид мохообразных, лишайников и грибов включен в Красную книгу СССР (1984), в том числе: мохообразных — 32 вида, лишайников — 29 видов, сумчатых грибов — 2 вида и базидиальных грибов — 18 видов.

## 1.2. Исчезающие беспозвоночные

Описано около 1,5 млн. видов беспозвоночных, и обычно считается, что это составляет от половины до четверти существующего на планете числа видов в этой группе. В связи с крайне слабой изученностью сейчас трудно делать точные обобщения относительно числа исчезнувших под антропогенным прессом и исчезающих видов беспозвоночных. Есть расчеты, говорящие о том, что уже в наши дни исчезает примерно по одному виду беспозвоночных ежедневно.

Красная книга МСОП по беспозвоночным (1983) учла далеко не все виды угрожаемых беспозвоночных. В последующих томах ее предполагается более подробно осветить данные по исчезающим видам бабочек и моллюсков, а также по сообществам пещер и коралловых рифов. По данным уже опубликованного тома, под угрозой исчезновения в мире находится несколько сотен видов беспозвоночных (реальное число таких видов, по-видимому, измеряется десятками тысяч). Так, например, на Гавайях из 1061 эндемичных видов моллюсков 600 уже, по-видимому, вымерло и еще до 400 находятся под угрозой исчезновения. Особенно высок темп исчезновения насекомых и других беспозвоночных в промышленно развитых районах мира. Так, в Северной Америке описано около 1000 видов моллюсков, из которых около 40—50 % сейчас либо вымерли, либо под угрозой исчезновения. 2/3 видов европейских бабочек ныне находятся под угрозой исчезновения. За период с 1946 до 1980 г. в Нидерландах

исчезли 4 вида бабочек. За последние 20 лет в Великобритании вымерло 4 вида стрекоз (около 10 % видов), на территории ФРГ за последние 50 лет вымерло 27 % видов дневных бабочек. Из 200 видов бабочек в Баварии, учтенных в 1950 г., к 1979 г. только половина оставшихся видов находится перед угрозой исчезновения. В ряде регионов СССР также наблюдается заметное сокращение числа видов бабочек. Так, в Западном Алатау из 150 видов дневных бабочек 12 (8 %) исчезли, а 25 видов из оставшихся (18 %) стали очень редкими.

### 1.3. Исчезающие рыбы

По данным Красной книги МСОП (1978), 168 видов (0,84 % мировой фауны) и 25 подвидов рыб находятся под угрозой уничтожения. Для пресноводных рыб число видов, находящихся в опасном состоянии, достигает 3,5 %. Среди пресноводных европейских рыб 52,3 % видов находятся под угрозой исчезновения в той или иной части Европы (Lelek, 1980), а в морях, окружающих Европу, 53,5 % популяций всех промысловых рыб отнесены к категории истощенных или полностью запрещенных для промысла в связи с резко сократившейся численностью. 33,3 % всех видов рыб Капской провинции ЮАР и 26,9 % рыб Чехословакии относятся к исчезающим видам.

Красная книга СССР включает 9 видов рыб (3,5 % общего числа пресноводных форм), но по отдельным регионам положение гораздо опаснее. Так, в Таджикистане 10,2 % всех видов рыб находится в угрожаемом положении, в Горьковской области за последние десятилетия исчезло 36,8 % местных видов (21 вид из 58).

Во многих местах численность даже массовых прежде видов сократилась в несколько раз, так, например, за последние 30 лет на Лене численность нельмы (*Stenodus nelma*) сократилась в 6 раз, а муксуна (*Coregonus muk-sun*) — в 10 раз.

### 1.4. Исчезающие амфибии

2 вида амфибий вымерли в историческое время по вине человека и один вид (израильская пятнистая лягушка) вымер в 50-е годы XX в. Сейчас по явно заниженным оценкам Красной книги МСОП не менее 33 видов амфибий (около 2 % мировой фауны) оказываются

в угрожаемом состоянии. В ФРГ 63,2 % видов амфибий (12 из 19 видов) резко сокращаются в численности. Так, например, в Вестфалии осталось менее 100 популяций таких обычных еще недавно видов амфибий, как *Bombina variegata*, *Hyla arborea*, *Pelobates fuscus*, *Rana ridibunda*, *Rana argvalis*.

В СССР в Красную книгу (1984) занесено 60 % видов хвостатых амфибий и 13 % видов бесхвостых, то есть 27,3 % (9 из 33) всех видов в этой группе позвоночных.

### 1.5. Исчезающие рептилии

20 видов рептилий вымерли в мире начиная с 1600 г. В настоящее время в среднем не менее 1,8 % всех видов рептилий мира находится в опасном положении. Однако положение по отдельным регионам много тревожнее. В Австрии и Чехословакии около четверти видов рептилий находится в угрожаемом состоянии, в ФРГ — 66,7 % видов (8 из 12) опасно сокращаются в численности.

Два семейства рептилий находятся на грани исчезновения: кожистые черепахи (*Dermschelidae*) и гавиалы (*Gavialidae*) и два других семейства (морские черепахи с 6 видами *Chelonoidea*) и настоящие крокодилы (*Crocodylidae*) с 13 видами оказались в опасности. Среди исчезающих — 8 родов рептилий.

В СССР в угрожаемом состоянии оказались 2 вида (28,6 %) черепах, 19 видов (26,4 %) ящериц и 16 видов (28,6 %) змей нашей фауны; всего опасно сокращена численность 27,4 % видов рептилий нашей фауны.

### 1.6. Исчезающие птицы

109 видов птиц (около 1 %) вымерли на Земле начиная с 1600 г. и в настоящее время более 3,0 % (274 вида) находятся в угрожаемом состоянии; по другим данным — 503 вида в 1982 г. (рис. 15).

Один подотряд (кагу, *Rhinoceti*) и одно семейство (кустарниковых птиц *Atrichornithidae*) находятся в опасности, а также 17 разных родов. В других группах в наиболее опасном положении (по числу угрожаемых видов) оказались журавли, дрофы, все хищные птицы, фазаны, попугаи и райские птицы.

К 1981 г. в мире было 4 вида с числом особей от 2 до 5 экз., 5 видов — с числом особей до 20 экз., 12 видов — с числом особей 25—50 экз., 5 видов — 55—100 экз.,



10 видов с числом особей от 108 до 300 экз. Учитывая трудности точного учета птиц, ясно, что численность нескольких десятков видов птиц ныне составляет менее 250 экз., а численность около 20 видов меньше 50 экз. При этом при низком уровне сокращение численности идет крайне быстро. Так, численность калифорнийского кондора сокращается от исходной в 25 экз. (1980) примерно на 3 особи в год, численность маврикийского попугая сократилась с 20 до 5 особей после одного жестокого урагана в 1979 г.

Из 408 видов птиц Западной Европы в угрожаемом состоянии оказались 294 вида (72 %). Более 6 % видов, гнездившихся до 30-х годов, на территории ФРГ (15 из 245) исчезли к 1980 г., а доля угрожаемых видов составляет свыше 31 % (78 видов), причем численность 47 видов неуклонно снижается.

В Красную книгу СССР занесено 80 видов птиц — 10,4 % всей авифауны (от 43,5 % журавлей до 1,6 % видов воробьиных). За последние 30 лет из фауны СССР исчезли, по-видимому, не менее трех видов птиц (красноногий ибис, хохлатая пеганка и чешуйчатый дятел), а численность по крайней мере 6 видов в 1980 г. была не более 100 экз.

### 1.7. Исчезающие млекопитающие

64 вида млекопитающих было уничтожено во всем мире с 1600 до 1974 г., а 233 вида (6,2 %) находятся сейчас в угрожаемом положении (см. рис. 16). В опасном положении находятся отряды сирен и хоботных (все виды которых занесены в Красную книгу МСОП), а также семейства руконожковых (Daubentoniidae), щелезубов (Solenodontidae) и человекообразных обезьян. В мире насчитывается около 30 исчезающих родов млекопитающих. Сейчас 8 форм млекопитающих содержатся лишь в неволе и не существуют в природе, а численность еще по крайней мере 20 видов не превышает 200—250 особей.

Более половины млекопитающих Европы (155 видов) находятся в угрожаемом положении (из них 55 — в особо опасном состоянии).

На территории нашей страны с XVI по середину XX в. из фауны исчезли по крайней мере 7 подвидов, 5 видов, 2 рода и 2 семейства млекопитающих (Яблоков, Остроумов, 1983), а за последние 15 лет из нашей фауны

исчезли не менее четырех зверей (тюлень-монах, гепард, туранский тигр, дзерен и, возможно, красный волк).

Ныне в СССР в угрожаемом положении оказалось 78 видов зверей (21,8 %). При этом сравнительно благополучно положение с грызунами (только 10,6 % видов в угрожаемом состоянии) и особенно тревожно положение с копытными, ластоногими и хищными. Численность 10 форм не превышает 200 экз. (переднеазиатский и восточносибирский леопарды, полосатая гиена, песец о-ва Медный, кызылкумский горный баран, греческий слепыш, уссурийский тигр, алтайский бобр, охотско-корейский серый кит, охотский южный кит).

## 2. Причины исчезновения видов

Приведенные в предыдущем разделе главы данные свидетельствуют, что не менее 2 % фауны современных амфибий и рептилий, 3,5 % пресноводных рыб, почти 5 % птиц, более 6 % млекопитающих и около 10 % видов сосудистых растений в мире находятся в угрожаемом состоянии. За этими среднемировыми цифрами скрывается то, что в большинстве освоенных и преобразованных человеком регионов под угрозой исчезновения поставлена еще более существенная часть обитающих там видов животных и растений. Так, например, в СССР каждый 10-й вид птиц, пятый вид растений и млекопитающих, четвертый вид рептилий и амфибий находится в той или иной степени в угрожаемом состоянии.

Каковы же причины такого положения?

Анализ причин исчезновения с лица Земли 194 видов позвоночных, начиная с 1600 г. до нашего времени, показывает, что в среднем по всем группам главной причиной вымирания явилось влияние вселенных видов, прямое добывание (охота) и разрушение местообитаний (табл. 9). По отдельным классам соотношение этих трех факторов несколько меняется, но во всех случаях именно эти три фактора остаются главными. К сожалению, по понятным причинам этот анализ недостаточно полон (неизвестны причины вымирания трети видов). Гораздо более точный анализ такого рода можно сделать в отношении ныне живущих видов, сокращающихся в численности и поставленных в результате в угрожаемое положение (табл. 10).

Конечно, приведенные данные в известной степени неточны, поскольку один и тот же вид обычно находится

Таблица 9

Число видов (%) позвоночных, вымерших по разным причинам  
о 1600 по 1974 г. (сводные данные: Nilsson, 1983) (в скобках — абсолютное  
число видов)

Причина	Амфи- бии	Репти- лии	Птицы	Млекопи- тающие	Все группы
Добывание	0	32 (7)	19 (21)	23 (14)	21,5 (42)
Разрушение местообита- ний	100 (1)	5 (1)	20 (22)	19 (12)	18,3 (36)
Влияние вселенных	0	42 (8)	22 (24)	20 (13)	23,0 (45)
Прямое уничтожение	0	0	0	1,6 (1)	0,5 (1)
Случайная гибель, болезни и др.	0	0	1	0	0,5 (1)
Природные факторы	0	0	1	1	1,0 (2)
Неизвестна	0	21 (4)	37 (40)	36 (23)	34,3 (67)

под влиянием нескольких факторов, сокращающих численность. В приведенных расчетах учитывалось как единственное влияние главного фактора, влияющего на сокращение того или иного вида.

Как показывают данные таблиц, на первом месте среди причин, вызывающих опасное сокращение численности, несомненно, оказывается разрушение местообитаний. Затем идет прямое добывание (охота, коллекционирование и др.) и влияние вселенных видов. Численность 19 видов была сокращена преднамеренно, в результате прямого преследования животных как хищников. 4 вида серьезно пострадало непосредственно от химического загрязнения среды и 6 — от фактора беспокойства. Исчезновение беспозвоночных и растений в основном вызывают те же факторы, что влияют на вымирание позвоночных.

Конечно, ситуация очень динамична и может быстро меняться. Так, по данным для ФРГ, если до 1972 г. прямое преследование (охота, коллекционирование, разрушение гнезд и т. п.) непосредственно влияло более чем на половину угрожаемых видов, то к 1980 г. только 28 % угрожаемых видов сокращали численность из-за этих причин, но зато резко возросло отрицательное влияние интенсификации сельскохозяйственного производства и случайная гибель (например, от транспорта).

Чтобы нагляднее представить масштабы и характер воздействия этих причин, рассмотрим влияние выделенных факторов более подробно.

Таблица 10

Число (%) видов позвоночных, находящихся по разным причинам в угрожаемом состоянии (по данным Международной Красной книги из Nilsson, 1983) (в скобках — абсолютное число видов)

Причина	Рыбы	Амфибии	Рептилии	Птицы	Млекопитающие	Все группы
Чрезмерное добывание (охота, коллекционирование)	9,8 (16)	5 (2)	50 (39)	20 (54)	31 (72)	23,2 (183)
Разрушение местообитаний (кроме загрязнения)	65,9 (111)	82 (27)	22 (16)	59 (161)	32 (74)	49,5 (389)
Влияние вселенных	23,8 (40)	9 (3)	24 (19)	12 (33)	17 (40)	17,1 (135)
Прямое уничтожение	0	0	2 (2)	0,6 (2)	8 (19)	3,0 (23)
Случайная гибель, болезни и др.	0,5 (1)	0	1 (1)	1 (3)	2 (5)	1,3 (10)
Природные факторы	0	0	0	1 (3)	0	0,4 (3)
Загрязнение	0	4 (1)	0	1 (3)	0	0,5 (4)
Беспокойство	0	0	0	2 (6)	0	0,8 (6)
Неизвестна	0	0	1 (1)	3 (9)	10 (23)	4,2 (33)

## 2.1. Разрушение местообитаний

Оно стало причиной сокращения численности и вымирания многих видов насекомых. Так, выпас скота угрожает бескрылой саранче (*Achurimima* sp., Австралия), известной лишь из шести небольших популяций, а также другому австралийскому кузнечнику *Keyacris scurra*. Последний вид исчез из многих биотопов вслед за тем, как интенсивный выпас овец привел к выпадению из фитоценозов кенгуровой травы *Themeda australis*. В США выпас овец угрожает популяциям бабочки *Boloria agrostis*. Число подобных примеров можно значительно увеличить.

Прямое уничтожение местообитаний в результате урбанизации привело к вымиранию трех эндемичных джунглевых бабочек *Cercyonis sthenele sthenele*, *Glaucopsyche xerces*, *Icaria icaroides pheres*, исчезнувших в результате расширения Сан-Франциско и Лос-Анджелеса.

Большинство видов, исчезающих в результате разрушения местообитаний, обитает в экосистемах, связанных с пресными водами, тропическими лесами и островами. Наибольшее число видов, находящихся под преимущественным влиянием этого фактора, обитают в Северной, Центральной и Южной Америке, Юго-Восточной Азии, Мадагаскаре, островах Карибского моря, в западной части Индийского океана и в Африке. Из 15 наиболее угрожаемых видов европейских бабочек 8 — виды увлажненных местообитаний.

С 1968 по 1980 г. численность 6 массовых мелких певчих воробьиных птиц в США сокращалась ежегодно на 1—4%. Это сокращение оказалось скоррелированным с темпами сокращения лесопокрываемых площадей на местах зимовок этих птиц в Центральной и Южной Америке.

Именно разрушение местообитаний оказывается одной из главных причин опасного сокращения численности такого эндемика нашей страны, как русская выхухоль. Этот насекомоядный зверек с замечательным мехом обитает по берегам тихих и чистых спокойных рек в Центре европейской части СССР. Хозяйственное освоение территорий оставляет все меньше таких мест, и численность выхухоли катастрофически сокращается год от года.

Обычно первым угрожающим симптомом влияния разрушения местообитания оказывается их инсуляризация — распадение прежде единого ареала на мелкие островки

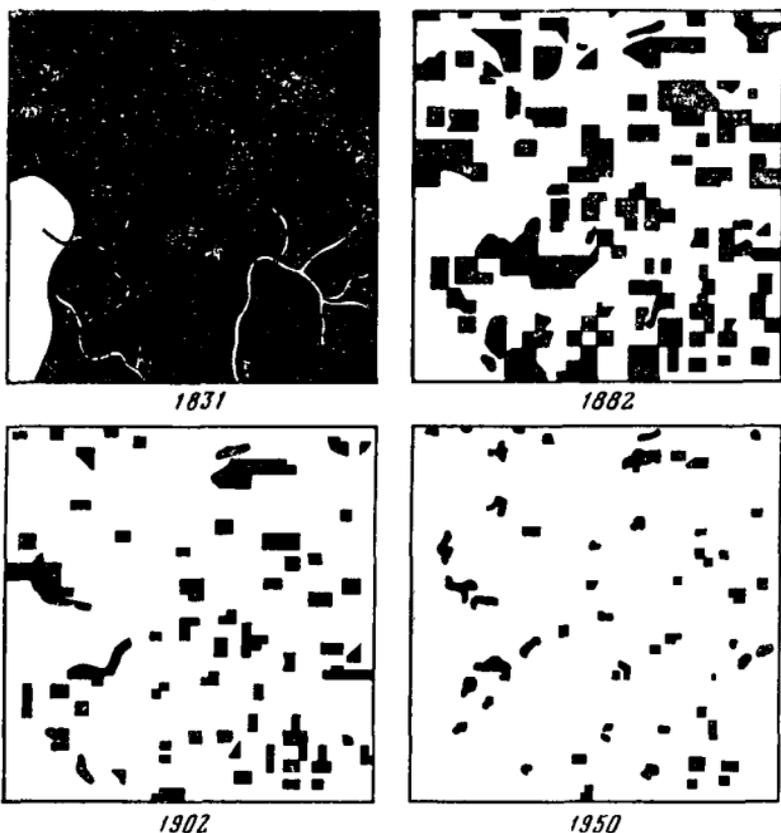


Рис. 16. Пример инсуляризации местообитаний: сокращение площади, занятой лесами, на участке периметром 10 км в штате Висконсин (США) с 1831 по 1950 г. (по: Шванка, 1981)

(рис. 16). Исчезновение видов в результате нарушения местообитания проходит тем быстрее, чем меньше площадь остающихся обитаемыми островков и сильнее они изолированы друг от друга. Так, методы теоретической биогеографии позволили подсчитать скорость ожидаемого уменьшения числа видов крупных животных в 19 восточноафриканских национальных парках — Серенгети, Кабалеге-Фолс и др. Оказалось, что инсуляризация может вызвать утрату около 11 % видов крупных млекопитающих через 50 лет и 44 % — через 500 лет.

Не менее трети редких и исчезающих видов растений СССР страдают от выноса, мелиорации и других факторов разрушения местообитаний.

О скорости разрушения местообитаний заслуживающих охраны растений говорит следующее. В 1975 г. в ФРГ был составлен список около 50 тыс. биотопов, требующих охраны. В 1982 г. 20 тыс. из них уже были разрушены

или изменены до такой степени, что не могли поддерживать существование видов, заслуживающих охраны. В ФРГ для 63 % всех видов исчезающих растений главной угрозой оказывается разрушение местообитаний в результате развития сельского хозяйства. Растение с самыми крупными в мире цветками, достигающими в диаметре метра и более (*Rafflesia arnoldi* R. Br.), паразитирующее на тропических лианах из рода *Tetrastigma*, также на грани исчезновения из-за разрушения местообитаний — тропических лесов на Суматре (Индонезия).

Разрушение местообитаний — один из важнейших, наряду с чрезмерной добычей, факторов, угрожающих редким и исчезающим видам флоры СССР (табл. 11). Подчеркиваем, что во многих случаях разрушение местообитаний действует совместно с другими факторами.

Таблица 11

Основные семейства высших растений СССР, для исчезающих видов которых разрушение местообитаний или чрезмерная добыча являются ведущими факторами сокращения численности (рассчитано по данным разных авторов)

Семейство	Число редких и исчезающих видов		
	всего видов	% страдающих от разрушения местообитания	% страдающих от чрезмерной добычи
Амариллисовые	5	20	80
Аралиевые	5	20	80
Кипарисовые	6	50	83
Вересковые	12	33	58
Бобовые	23	52	8
Буковые	6	33	67
Касатиковые	18	28	67
Лилейные	22	32	77
Орхидные	35	23	75
Сосновые	12	17	100
Гречишные	7	14	57
Первоцветные	15	13	53
Волчьиные	6	100	0

## 2.2. Чрезмерное добывание

Под добыванием имеется в виду как охота, так и любое другое изъятие животных и растений из природной среды для коллекционирования, содержания в неволе.

для изготовления сувениров, получения медицинских препаратов, использования для экспериментальных целей и т. п. Такая добыча является второй по важности причиной, вызывающей резкое сокращение численности животных.

Среди видов, сокращенных в численности по этой причине, — осетровые и другие промысловые рыбы в ряде регионов, морские и наземные черепахи, крупные копытные, крокодилы, многие обезьяны Старого и Нового Света, некоторые охотничьи птицы (утки, фазаны), выдры, кошки, попугаи, а также кактусы и другие суккуленты, некоторые лекарственные, пищевые и декоративные растения и др.

а) *Млекопитающие*. Надо сказать, что масштабы добычи охотничье-промысловых млекопитающих весьма велики. Однако промысел не всегда ведет к сокращению численности. Так, например, в европейских странах (включая европейскую часть СССР) в середине 70-х годов обитало около 8,41 млн. копытных животных, из которых ежегодно отстреливалось 2,32 млн. (Дежкин, 1983). При этом и численность и добыча большинства видов копытных устойчиво возрастали. В европейских странах с 1971 по 1978 г. было добыто 6,84 млн. экз. обыкновенной лисицы (более 860 тыс./год). Общая численность добываемых ежегодно в 70-е годы кротов только во Франции и СССР составила 7,39 млн. штук, других же пушных зверей в Европе ежегодно добывается свыше 7,1 млн. особей (Дежкин, 1983). В Австралии за 20 лет (1960—1980) было добыто около 25 млн. кенгуру, причем в отдельные годы добыча достигала 5 млн. голов. Опасным для животных оказывается неконтролируемый п браконьерский промысел, особенно по отношению к видам, которые становятся редкими по каким-либо причинам.

Классическим примером такого рода стала судьба стеллеровой коровы (*Rhetina stelleri*), уничтоженной промышленниками на Командорских островах спустя всего лишь 27 лет после ее открытия. Неумеренный промысел поставил на грань уничтожения многие виды китообразных — крупных гладких китов (*Balaenidae*), горбачей (*Megaptera*), серых (*Eshrichtius*) и голубых китов (*Balaenoptera musculus*).

Вашингтонская конвенция 1973 г. по ограничению международной торговли редкими и исчезающими видами растений и животных и продуктами, изготовленными из

них (СИТЕС), должна была бы поставить преграду массовому истреблению редких видов: к 1985 г. ее подписали 88 государств. Однако высокие цены на животных и продукты их промысла составляют живительную основу для незаконной торговли. В дополнение к обширной сводке данных в этой области, недавно опубликованной нами (Яблоков, Остроумов, 1983), приведем лишь некоторые новые данные. В Бангкоке (Таиланд) стоимость котей и зубов только 1 экз. тигра в 1983 г. достигала 4 тыс. долларов, а одна молодая горилла из Камеруна стоила в США в 1984 г. до 70 тыс. долларов.

Браконьерская добыча является одной из основных причин сокращения численности целого ряда видов крупных млекопитающих и рептилий. Объем торговли слоновой костью увеличился с 400 т/год в 1968 г. до 10 тыс. т/год в 1982 г., что приводит к гибели более 100 тыс. слонов в странах Африки и Азии (Mayers, 1983).

В результате массового браконьерского промысла по всему африканскому континенту с 1970 по 1980 г. численность посорогов сократилась в 10 раз.

Велики масштабы отлова млекопитающих для содержания в неволе. Так, только в домах и частных коллекциях в ФРГ в 1980 г. находилось около 200 тыс. обезьян. Надо учесть при этом, что в среднем при ловле обезьян гибнет 10 особей на одну пойманную, а еще половина обезьян гибнет при дальнейшей транспортировке. Но все расходы при этом хищническом бизнесе окупаются, так как, например, один экземпляр редкой обезьяны (например, карликовая кинг-конг) стоит в США до 5 тыс. долларов.

Велики масштабы использования млекопитающих в экспериментальных целях.

В последнее время, чтобы избежать ограничений, накладываемых СИТЕС на торговлю приматами, некоторые крупные фармацевтические компании, использующие обезьян для производства вакцин и сывороток, пытаются перенести их производство непосредственно в те страны, где можно добыть нужных обезьян. Например, австрийская фирма «Иммуне» планирует развернуть свой филиал в Сьерра-Леоне с годовым «потреблением» до 80 детенышей шимпанзе (для этого необходимо убить около 400 взрослых). В этой связи следует вспомнить, что Всемирная организация здравоохранения совместно с МСОП приняли в 1983 г. решение, по которому использование в медицинских целях редких, исчезающих или угрожаемых

видов приматов разрешается только в том случае, если животные берутся не из природы, а из существующих в неволе размножающихся колоний.

б) *Птицы*. Масштабы истребления птиц как и в недавнем прошлом, так и в наше время огромны. Масштабы гибели птиц в результате прямого промысла и вылова для коллекций можно отразить данными, приведенными в табл. 12—13. Подсчитано, что от 80 до 98% перевозимых на дальние расстояния диких птиц погибают в дороге либо в короткое время после прибытия (Inskipp, Wells, 1979). Так, например, из 778 тыс. официально

Таблица 12

Объем ежегодной добычи некоторых видов (групп видов) птиц (Дежнин, 1983; и др.)

Вид (группа видов)	Страна, регион	Число добытых птиц	Примечания
Эму	Австралия	Более 100 тыс.	Истребление для защиты с.-х. продукции, 1932—1935 гг.
Траурный (плачущий) голубь	США	Более 2,5 млн.	Добыча на охоте, 70-е годы
Обыкновенный скворец	Греция	2,9 млн.	Добыча на охоте, 1978 г.
Дрозды	о-в Майорка	3,25 млн.	Добыча на охоте, конец 70-х годов
Болотная дичь (утки, гуси, бекасы, дупеля и др.)	Европа	16,59 млн.	70-е годы
Полевая пернатая дичь (фазан, серая куропатка, кеклик, перепел)	Европа	29,49 млн.	70-е годы
Лесная пернатая дичь (4 вида тетеревиных, голуби)	Европа	9,52 млн.	70-е годы
Все мигрирующие и зимующие мелкие птицы	Южная Европа	До 300 млн. (в Италии — 150—200 млн., Франция — 40 млн.)	Добыча всеми способами, конец 70-х годов
Все охотничье-промысловые птицы	СССР	Около 37 млн.	Добыча на охоте, 70-е годы

Таблица 13

Объем торговли и отлова некоторых птиц (Яблоков, Остроумов, 1983, Inskip, Wells, 1979; и др.)

Группа видов	Регион	Число ежегодно добытых птиц	Примечания
Все группы, живые птицы	Весь мир	7 млн.	Объем торговли для авиариев, зоопарков, содержания дома, 1975 г.
Все группы мелких певчих птиц	СССР	Несколько сот тысяч	Расчетные данные, конец 70-х годов
Все попугаи	Весь мир	Около 1 млн.	Отлов для содержания дома, конец 70-х годов
Все группы диких птиц	США	1976 г. — 300 тыс. 1979 г. — 422 тыс. 1982 г. — 778 тыс.	За 1980—1983 гг. в США официально ввезено около 4 млн. диких птиц, из которых около 500 тыс. погибло при транспортировке или карантине

импортированных в США в 1982 г. диких птиц 56 тыс. оказались мертвыми по прибытии в страну и 147,8 тыс. погибли во время ветеринарного карантина.

в) *Рептилии и амфибии*. Масштабы истребления рептилий и амфибий огромны и обычно недооцениваются даже специалистами-зоологами. В дополнение к уже приведенным нами данным (Яблоков, Остроумов, 1983) отметим, что только из Бангладеш в 1984 г. было продано 2,1 млн. шкур трех видов варанов. Растет в мире и промысел лягушек. В начале 80-х годов Индия ежегодно продавала в Европу и Америку до 100 млн. лягушек, Бангладеш в 1978—1981 гг., по-видимому, около 30 млн.

Расчетные данные по ежегодной добычи основных групп рептилий и амфибий даны в табл. 14.

г) *Рыбы*. Число добываемых рыб с трудом поддается учету. Расчетные данные показывают, что за период интенсивного промысла трески в Северной Атлантике всеми странами было добыто не менее 19 млрд. особей этого вида. По-видимому, также миллиардами особей исчисляется и добыча других видов промысловых рыб.

Только Филиппины в конце 70-х годов ежегодно про-

Таблица 14

Расчетные данные ежегодного промысла основных групп рептилий и амфибий в мире в начале 80-х годов (по данным: Inskipp, Wells, 1979; и др.)

Группа	Объем промысла	Использование
Крупные морские черепахи	0,5—1,0 млн.	Для получения мяса, панцирей, кожевеного сырья
Мелкие сухопутные и пресноводные черепахи	Не менее 1,5—2,0 млн.	Для содержания в неволе
Крокодилы	6,0—7,0 млн.	Для кожевеного сырья
Змеи	2,0—3,0 млн.	Для получения мяса, яда, содержания в неволе, кожевеного сырья
Ящерицы	Десятки миллионов	Для получения мяса, выделки шкур, содержания в неволе
Лягушки	Сотни миллионов	В основном для получения мяса

давали для содержания в аквариумах от 2 до 3,5 млн. тропических рыб, пойманных в природе. В середине 70-х годов через Сингапур за год продавалось около 40 млн. аквариумных рыб; только в 1977 г. в США было официально ввезено 100 млн. тропических рыб.

д) *Беспозвоночные*. Масштабы отлова насекомых весьма значительны. Только с Тайваня ежегодно вывозится для продажи до 500 млн. разных бабочек (стоимость около 30 млн. долларов), Бразилия в середине 60-х годов продавала за рубеж только самцов бабочки *Morpho* sp. до 50 млн. в год. Стоимость отдельных редких экземпляров рода *Ornithoptera* достигала в конце 70-х годов 1800—2 тыс. долларов. Обнаруженный в 1957 г. на о-ве Сикоку вид бабочки *Strymonidia iyonis* почти полностью уничтожен коллекционерами.

В нашей стране массовое коллекционирование наносит серьезный урон популяциям редких видов дневных бабочек европейской части, Большого Кавказа, редким жукам Дальнего Востока.

Подсчеты показывают, что только промысловый лов длиннопалого рака в бассейне Каспийского моря и в центре европейской части СССР превышает 90 млн. экз. в год (Яблоков, Остроумов, 1983).

Чрезмерная добыча угрожает многим другим видам, особенно моллюскам. Так, только Филиппины в 1979 г. экспортировали 3500 т декоративных раковин. Импорт раковин в США вырос с примерно 1000 т в 1969 г. до 4400 т в 1978 г. Потребности в необработанных раковинах *Tridacna* (источник перламутра) в Японии, Тайване и Южной Корее составляют около 6 тыс. т в год (добывается, по-видимому, около 5—8 млн. экз.). Неумеренный сбор гигантских раковин сем. *Tridacnidae* привел к исчезновению тридакн на многих коралловых рифах в Тихом океане. *Tridacna derasa* и *T. gigas* исчезли в некоторых частях западной Индонезии. Изучение популяций тридакн на Филиппинах показало, что в морском заповеднике общая биомасса четырех видов (*T. hippopus*, *T. stosea*, *T. squamosa*, *T. maxima*) составляет 79—260 кг/га, а вне границ заповедника — в 2—6 раз меньше.

е) *Растения*. Велика доля видов растений, исчезающих вследствие избыточного сбора из-за их декоративных, технических, лекарственных и пищевых качеств. Только в 1977 г. из США было вывезено около 17 т женьшеня *Panax quinquefolius*, что привело к полному уничтожению популяций этого вида во многих регионах Аппалачей.

Огромный размах приобрело коллекционирование кактусов. Только из пустынь Аризоны (США) в 1977 г. было вывезено около 260 тыс. кактусов. Владелец одного небольшого ботанического сада в Техасе (США) был осужден в 1983 г. на год тюрьмы за подделку документов, разрешающих импортировать в США 100 тыс. кактусов. В последние годы резко возрос интерес коллекционеров к другим суккулентам, которые суммарно в торговле опережают даже кактусы.

От неумеренного сбора для коллекционирования и торговли давно страдают и многие другие группы растений (не только суккуленты), и особенно семейство орхидных.

Для редких и исчезающих растений флоры СССР именно чрезмерная добыча — наиболее губительный фактор (см. табл. 12). По нашим приблизительным подсчетам (Яблоков, Остроумов, 1983), от него страдают около 42% таких видов. От истребления, вызванного декоративностью, страдает не менее 87 редких и исчезающих видов флоры СССР. Сюда относятся, в частности, многие представители семейств орхидных, пионовых, лилейных и др. Существованию не менее чем 39 редких видов угрожает заготовка на технические нужды — в основном для полу-

чения древесины. Не намного меньше масштабы истребления растений ради лекарственного сырья — 30 видов и ради получения пищевых продуктов — 29 видов. Все эти цифры относятся только к редким и исчезающим видам флоры СССР. Число вообще всех видов нашей флоры, популяции которых страдают от этого фактора, много выше. Приведенные цифры в целом несколько неожиданны, поскольку результаты анализа причин гибели, ранее сделанного для позвоночных животных, механически перенесли и на растения и полагали, что разрушение местообитаний и для них является преобладающим фактором.

### 2.3. Влияние вселенных видов

Для позвоночных животных эта причина является первой по числу уже уничтоженных видов и третьей по числу видов, поставленных на грань уничтожения. Масштабы интродукции очень велики. Более 2500 видов насекомых проникли в Северную Америку с других материков, причем подавляющая доля их занесена людьми непреднамеренно — с багажом, товарами, на одежде, с саженцами и т. д. Только на акватории залива Сан-Франциско обнаружено около 200 видов беспозвоночных — преднамеренных и случайных вселенцев.

В Чехословакии на 42 вида эндемичных (местных) рыб приходится 25 видов, которые были интродуцированы или расширили ареал в антропогенных условиях. В то же время за последние 100 лет вследствие антропогенных изменений из ихтиофауны ЧССР исчезли 12 видов, а 18 из эндемичных видов (т. е. 43% всех эндемиков) находятся под угрозой. Среди последних *Acipenser ruthenus*, *Umbra krameri*, *Pelecus cultratus*, *Gobio uranoscopus*, *G. kessleri*.

К 1978 г. на Гавайские острова интродуцировано 22 вида млекопитающих, около 160 видов птиц, около 1300 видов насекомых, свыше 2 тыс. видов цветковых растений. И в значительной мере по этой причине с момента открытия этих островов вымерло не менее 22 вида птиц (30% аборигенной орнитофауны), 14 видов моллюсков (34% аборигенной малакофауны) и перед угрозой исчезновения находится 70% видов гавайской флоры.

Вселенные в 1972 г. для борьбы с крысами на о-в Ямайка мангусты были причиной гибели многих эндемичных видов мелких млекопитающих, амфибий и рептилий.

В Англии лишь за последние десятилетия акклиматизированы 3 вида оленей (мунтжак, сика и китайский водяной олень), кенгуру Беннета (валлаби), несколько видов уток, гусей, фазанов, соя-полчок, два вида лягушек и др. В Польше сейчас обитает 21 вид интродуцированных млекопитающих, птиц и рыб — что составляет около 5% от общего числа размножающихся на ее территории видов позвоночных.

Известны примеры отрицательного влияния вселенной ондатры на популяции раков в Прибалтике, американской норки — на менее крупную европейскую норку, пиринейскую выхухоль, многих водоплавающих птиц и даже выдру, а канадского бобра — на европейского бобра.

Интродукция паразитов и возбудителей болезней особенно опасна, поскольку местные виды часто бывают беззащитны перед ними. Так, гриб, завезенный из Азии с саженцами в США, почти полностью уничтожил восточноамериканский вид каштана. Безвредные для интродуцента его возбудители болезней или паразиты могут оказаться губительными для аборигенов. Один из примеров — попытка акклиматизации в бассейне Арала каспийской севрюги. Она сама по себе не удалась, но при этом был завезен жаберный сосальщик *Nitzschia sturionis*, который послужил причиной массовой гибели эндемичного аральского шипа *Acipenser nudiiventris*.

Интродукция коз на о-в Св. Елены привела к тому, что все 33 эндемичных вида растений были полностью уничтожены. Во флоре Мадагаскара ныне насчитывается более 900 чужеземных видов, во флоре Англии таких видов более 700, во флоре Карелии из 1100 видов 200 оказываются завезенными человеком. Сводные данные по антропохорным видам в спонтанных флорах некоторых регионов даны в табл. 15. Пример агрессии чужеземных растений — *Tamarix pentandra*, который был ввезен в Северную Америку для борьбы с эрозией и для ветровых заслонов. За 45 лет он распространился по всем юго-западным штатам и вытесняет местную растительность.

Есть свидетельства того, что интродуцированные растения могут обладать повышенной способностью угнетать местные виды вследствие выделения интродуцентами необычных для аборигенных видов аллелопатических веществ. Это показано, например, для одного из видов ястребинок, индуцированного в Новой Зеландии.

Ранее, безусловно, положительным примером интродукции считали широкое расселение тропической пресновод-

Таблица 15

Доля антропохорных видов сосудистых растений в некоторых спонтанных флорах земного шара (по данным разных авторов)

1—10 %	10,1—20 %	20,1—30 %	Более 40 %
СССР Ярославская обл. Крым Ленинградская обл. Эстония Белоруссия Удмуртия  БССР  Курильские острова Приморье Приамурье Югославия о-в Мадагаскар	СССР Киев и окрестности Карелия Лапландский заповедник Австрия Бельгия Нидерланды  Норвегия  Польша Финляндия ГДР ФРГ Швейцария Швеция Пакистан США шт. Техас Гавайские острова	Великобритания Ирландия Канада Штат Коннектикут (США) о-ва Сан-Томе Острова Зеленого Мыса Соломоновы острова Новая Зеландия	Район Сан-Франциско (США) о-в Моча (Чили)  о-ва Хуан-Фернандес (Чили)  о-в Кергелен  Сейшельские острова о-в Таити Район г. Щецина (ПНР)

ной рыбы — гамбузии (*Gambusia affinis*), которая уничтожает личинки комаров. Оказалось, что и в этом случае могут возникать негативные последствия: в Австралии она способствовала уничтожению нескольких видов местных рыб, а на Гавайях — стрекозы *Melalagtion pacificum*.

В некоторых случаях опасным результатом интродукции оказывается вторичное нарушение местообитаний других видов или даже воздействие на абиотический компонент экосистем. Примером первого типа эффектов могут служить многочисленные случаи интродукции растительноядных млекопитающих — таких, как козы, овцы, олени. Так, вселение благородного оленя в Новой Зеландии привело к уничтожению подлеса, а как последующий результат — к падению численности нелетающего совиного попугая какапо (*Strigops habroptilus*), единственного представителя подсемейства совиных попугаев. Вселение зайца *Lepus capensis* на Гавайи привело к вымиранию нескольких видов бабочек сем. *Noctuidea*.

Иногда в результате нарушения в экосистемах, вызванных интродуцентами, становится возможной нежелательная поглотительная гибридизация между близкими видами. Именно это произошло с некоторыми эндемичными пресноводными рыбами в Капской провинции.

Интродукция хищного наземного моллюска *Euglandina rosea* на многие острова Тихого океана в целях снизить численность гигантской африканской улитки (*Achatina fulica*) вызвала вымирание или резкое падение численности ряда эндемичных моллюсков. От этого же фактора страдают и поставлены под угрозу вымирания одни из самых крупных насекомых мира — 4 вида *Deinacrida* (отряд прямокрылых), обитающих на небольших островах Новой Зеландии. Эти уникальные насекомые страдают от интродуцированных грызунов (особенно крыс *Rattus rattus*).

#### 2.4. Специальное уничтожение

До сих пор во многих местах мира множество животных уничтожается с целью защиты продукции сельского хозяйства или промысловых объектов. Так, ластоногих и выдр уничтожают рыбаки под предлогом защиты уловов рыб, крупные кошки и хищные птицы уничтожаются под предлогом защиты сельскохозяйственных животных.

В Австралии до 1917 г. кенгуру истреблялись как вредители сельского хозяйства: за 40 лет только в штате Квинсленд было уничтожено 26 млн. серых и рыжих кенгуру. 900 белоголовых сипов было найдено убитыми в 1978—1982 гг. во Французских Саваннах, а в штатах Колорадо и Вайоминг только в 1971 г. пилотом одного самолета было убито около 800 орлов.

До 1983 г. во Франции к числу «вредных» причислялись такие животные, как ласка, дикий кот, куница, горностай, хорь, скворец, сорока, сойка, дикие голуби, и владельцам и арендаторам земельных участков их можно было уничтожать без оформления лицензий на отстрел.

Развертывание широкомасштабных мер борьбы с «вредителями» и «сорняками» привело к тому, что некоторые виды животных и растений оказались перед угрозой полного уничтожения. Еще недавно, в 60-е годы, европейский суслик (*Citellus citellus*) был одним из объектов борьбы на Западе европейской части СССР. Ныне не ясно, сумеет ли этот вид долго просуществовать — поскольку, по наблюдениям Н. Н. Воронцова, вид представлен лишь несколькими разрозненными колониями. Их общая числен-

ность, по-видимому, всего лишь несколько сот особей. Некоторые «сорные» и рудеральные виды растений пыле включены в Красные книги ряда стран.

Мировой опыт показывает, что оценка ущерба, наносимого сельскохозяйственным животным со стороны хищников, как и ущерб, приносимый дикими копытными культурным посадкам, обычно гипертрофирован. Так, например, ущерб, наносимый койотами стадам овец в Северной Америке, много меньше, чем затраты на борьбу с ними. Обвинения в адрес сайгаков и водяной крысы, которые, якобы, истребляют много посевов в Северном Казахстане, также оказались значительно преувеличенными.

## 2.5. Случайное (непреднамеренное) уничтожение

В результате природных катастроф могут погибать многие животные. Так, например, извержение вулкана Сент-Хеленс (США) в 1979 г. послужило причиной гибели более 5 тыс. лосей, 6 тыс. оленей, 200 медведей, 100 коз и 15 пум. Однако масштабы антропогенной гибели оказываются во много раз большими.

а) *В океане и внутренних водоемах.* Нередко случайное уничтожение происходит вследствие неселективного промысла с помощью разного типа сетей. Масштабы современного рыболовства таковы, что «попутное» уничтожение может поставить под угрозу резкого сокращения численности виды, прежде бывшие массовыми и крайне многочисленными. Например, ежегодный прилов рыб в креветочных тралях достигает 21 млн. т (столько же потребляется рыбы во всех развитых странах), т. е. ежегодно так гибнут миллиарды особей многих видов рыб.

Около 1200 выброшенных рыбаками мертвых морских черепах было найдено на восточном побережье США только за 2 месяца 1980 г. Причиной гибели послужило попадание черепах в тралы при добыче креветок. При лове тунцов в Центральной Пацифике в середине 70-х годов гибло до 400 тыс. (!) дельфинов рода *Stenella* в год. Сейчас масштабы этого уничтожения снизились раз в 20 (в результате широкого использования специальных сетей, которые дают возможность дельфинам выбираться из кошельковых неводов), но все же число погибающих дельфинов остается высоким. Множество дельфинов, тюленей и птиц гибнут в рыболовных сетях в северной части Тихого океана. Так, в Северной Атлантике в 1965—1975 гг. ежегодно в сетях погибало до 500 тыс. толсто-

клювых кайр (*Uria lomvia*), а с 1952 по 1978 г. в Северной Пацифике в японских сетях погибло более 6,5 млн. кайр, тупиков, буревестников, альбатросов, чаек и глушешей.

Много морских животных гибнет в заградительных сетях от акул. Только в штате Квинсленд (Австралия) в таких сетях в 1965—1980 гг. погибло 20,5 тыс. акул, 468 дюгоней, 317 дельфинов, 2654 морские черепахи и 10,9 тыс. скатов.

Велика гибель водных организмов в результате эксплуатации водного транспорта. Одна лодка с мотором в бассейне Волги на каждые 10 км маршрута с мая по июль уничтожает в среднем 50 сеголеток и одну двухгодовалую рыбу. Воздействие волн от теплохода «Заря» в р. Оке в пределах Серпуховского района в 1980 г. привело к гибели около 100 млн. штук молоди разных видов рыб. Прямой подсчет показал, что только от разового превышения установленной скорости движения одним танкером близ одного из островов в дельте Волги было выброшено волной на песок и погибло 126 тыс. штук молоди разных видов рыб.

Огромна гибель различных гидробионтов (и растений, особенно фитопланктона и животных) на водозаборных сооружениях. В оросительных системах Узбекистана в 1966 г. гибли около 7 млрд. мальков. На Нижней Волге гибель мальков рыб в водозаборах достигала в начале 70-х годов 6 млрд. мальков (это втрое превышало мощность всех рыбоводных заводов). За 2 месяца 1971 г. в водозаборах Северо-Крымского канала погибло 400 млн. мальков (Павлов, Пахоруков, 1983). На водозаборных решетках 14 тепловых и 6 атомных электростанций, расположенных на берегу оз. Мичиган (США), задерживается и гибнет до 6 % потенциального коммерческого улова рыб. К сказанному надо добавить огромную по масштабам, по существу случайную, гибель животных в результате загрязнения водной среды химическими веществами (рис. 17).

б) *На дорогах.* При движении современных автомобилей и поездов происходит уничтожение позвоночных и беспозвоночных животных, перебегающих или перелетающих через дороги. Ущерб фауне от такого уничтожения весьма значителен. О стекла и капот только одного автомобиля, прошедшего 10 тыс. км в летний сезон, разбивается до 1,6 млн. насекомых (данные для Центральной Европы). В США на шоссежных дорогах гибли в середине

70-х годов около 140 тыс. оленей ежегодно, а общее число позвоночных, погибших на дорогах этой страны, только в 1970 г. составило 365 млн. экз. (включая мелких грызунов, рептилий, амфибий, птиц). В 60-х годах в Дании ежегодно погибало на дорогах около 10 млн. различных позвоночных (в том числе около 6,3 млн. лягушек, более 100 тыс. ежей и около 120 тыс. зайцев). В ФРГ ежегодно погибает на дорогах около 70 тыс. косуль и 120 тыс. зайцев, 2 тыс. кабанов, 1,3 тыс. ланей, 0,8 тыс. оленей. В

Словакии на дорогах гибнет лишь наполовину меньше перепелов, чем их отстреливается при охоте, до 23% (сравнительно с числом отстрелянных) фазанов и 14% зайцев. 4,9% от всех погибших копытных в Березинском заповеднике (Белоруссия) погибли на автомобильных дорогах от столкновений с транспортом. В более густонаселенных странах доля погибающих животных выше: в ГДР доля погибших от столкновения с транспортом косуль достигает 24%; в ФРГ гибнет 15% ланей; в ряде районов Франции до 25,6% зайцев гибнет на дорогах. Экстраполяция имеющихся данных по отдельным областям позволяет предположить, что ежегодно на автодорогах нашей страны гибнет более 10 тыс. лосей и оленей и, по-видимому, не меньшее количество косуль и кабанов (Яблоков, Остроумов, 1983).

На дорогах степной зоны Европейской части СССР в течение трех летних месяцев гибнет в среднем около 10 птиц на каждом километре. За остальные месяцы года это число должно возрасти не менее чем до 15 экз. Наши ориентировочные расчеты приводят к выводу, что на дорогах страны ежегодно в конце 70-х годов погибало не менее 9 млн. птиц.

Размеры гибели птиц на западноевропейских дорогах оказались еще более значительными — до 170 экз. на 10 км за месяц в июле—сентябре и 20—50 экз. за месяц в другое время года. Всего же на дорогах Европы (без СССР)

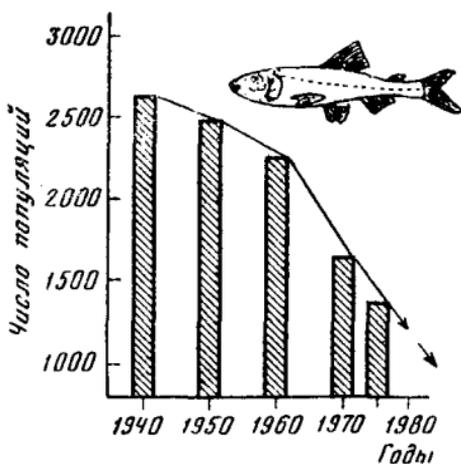


Рис. 17. Сокращение числа популяций кумжи в Южной Норвегии с 1940 по 1980 г. в результате подкисления водосмол

ежегодно гибнет, по-видимому, свыше 30 млн. птиц, в том числе в ГДР — 1,2 млн., в Великобритании — около 3 млн.

в) *На полях.* Огромна случайная гибель животных в сельскохозяйственном производстве. Главными причинами такой гибели становятся непродуманная агротехника и неосторожное использование или неправильное хранение и применение ядохимикатов.

До сих пор при кошении трав и уборке полей сельскохозяйственные машины обычно идут с краев к центру поля, где концентрируются испуганные животные, затем погибающие под машинами. В ряде районов СССР таким образом гибнет больше зайцев, куропаток и перенелов, чем их отстреливается охотниками. 46 % погибших косуль в некоторых районах ГДР, более 29 % погибших зайцев и 18,5 % погибших куропаток в некоторых районах Франции приходится на долю сельскохозяйственной техники. До 7,7 % новорожденных косуль в Польше гибнет от сельскохозяйственной техники (Rychckovsky, 1982), 11,2 % зайцев от общего числа погибших в 1976—1980 гг. в некоторых районах Франции погибли от ядохимикатов.

Выборочное обследование в СССР показало, что из всех причин случайной гибели млекопитающих, связанной с сельским хозяйством, на долю отравления химическими удобрениями приходится свыше 41 % случаев гибели, на долю отравления гербицидами — 22,4 %, на долю зооцидов — 16,7 %. Соответствующие цифры для птиц (боровая дичь, серых куропаток, дроф, уток, гусей) составили 13,7; 19,2 и 57,9 %. Большое количество лосей погибает из-за отравления открыто лежащими на полях удобрениями — мочевиной, калийной и аммиачной селитрами. Примерами опасных для природы и последствий применения пестицидов в сельском хозяйстве стало почти полное исчезновение бабочки *Euproserpinus weisti*. Последнее ее местообитание в Колорадо (США) в 1980 г. было обработано малатионом в целях борьбы с саранчовыми. В результате к 1981 г. уцелело лишь около 200 гусениц и около 25 взрослых особей. Другой пример — вымирание британской популяции *Arctia crataegi* в результате обработки полей инсектицидами.

г) *Гибель, связанная с нефтедобывающей промышленностью.* Современный комплекс предприятий нефтедобывающей промышленности, связанный с добычей и перевозкой нефтепродуктов, может являться причиной случайной гибели перелетных птиц. Только на одном газовом

факеле, где сжигаются отходящие газы при добыче нефти в Северном море, за 5 дней в октябре 1976 г. погибло несколько десятков тысяч (!) перелетных птиц (скворцов, дроздов, цапель, куликов и др.). Только за одну ночь 25 октября 1975 г. на одной из нефтедобывающих платформ в Северном море погибло в факелах не менее 3 тыс. птиц. По-видимому, на газовых факелах, тысячи которых ныне горят в нефтедобывающих регионах по всему миру, гибнут многие миллионы птиц ежегодно.

В разливах нефти на море, при открытом хранении нефти на суше гибнет, испачкав оперение, также очень много птиц. Подсчеты показывают, что только в Северной Атлантике гибнут в нефтяных разливах ежегодно сотни тысяч птиц.

д) *Гибель, связанная с линиями электропередач.* В последние десятилетия участилась гибель крупных птиц, например степных орлов, могильников, беркутов, змеяда и балобана в СССР, красных коршунов и белых аистов в ФРГ на проводах и опорах линий высоковольтных электропередач. Особенно велики (до 35 птиц на 10 км ежегодно) масштабы гибели степных орлов в Казахстане, Узбекистане, Калмыкии и ряде других территорий степной зоны СССР (Песков, 1982). Подсчеты показывают, что общая гибель птиц может составлять сотни тысяч (!) особей ежегодно.

е) *Гибель в результате загрязнения среды.* Выше уже приводились данные по гибели некоторых животных в результате отравления ядохимикатами или удобрениями. По-видимому, загрязнение среды различными антропогенными химическими веществами является одной из самых важных причин гибели животных в наши дни.

Одним из ярких примеров, связанных с трагическими последствиями неправильного хранения ядохимикатов, является загрязнение вод Рейна (ФРГ) инсектицидом эндосульфаном 23 июня 1969 г., когда была случайно потеряна одна (!) бочка с этим препаратом. В результате через несколько дней погибло до 20 млн. особей рыб на расстоянии в несколько десятков километров (Рамад, 1981).

Как известно, регулирование численности грызунов, наносящих ущерб народному хозяйству, в нашей стране производится путем затравок фосфидом цинка или глифтором. Тушка погибших зверьков становится токсичной для хищников. В результате гибнут горностаи, хорь, колонок, обыкновенная лисица, кутора, еж. Еще чаще гры-

зуны, получившие сублетальную дозу препаратов, делаются более доступными для хищников (которые, как известно, в природных условиях играют роль санитаров и в первую очередь уничтожают больных и слабых животных). И действительно, в экспериментах Р. И. Дмитриева неясыть (*Strix aluco*) практически безошибочно схватывала в первую очередь «подравленных» грызунов.

Исчезновение белых куропаток на Урале, резкое сокращение числа серых куропаток и перепелов, тетеревов, уток, гусей, журавлей — результат массовых отравлений этих птиц отрыто хранящимися удобрениями или склевыванием протравленного зерна (Р'ябинцев, 1980).

От 2,3 до 5 % мигрирующих и зимующих в некоторых районах Западной Европы и Северной Америке крякв гибнут от отравления проглоченными свинцовыми дробинками. В штате Висконсин (США) больше белоголовых орланов погибало от отравления свинцом (поступающим в их организм из съдаемых ими водоплавающих птиц), чем от отравления пестицидами. 54 % из 400 погибших и обследованных в 1973—1980 гг. лебедей в Англии погибли в результате отравления проглоченными рыболовными грузилами. Обобщение этих разрозненных данных позволяет считать, что около 300—500 тыс. водоплавающих и десятки тысяч хищных птиц в Европе и Северной Америке ежегодно гибнут от отравления свинцовой дробью и рыболовными грузилами.

Биоаккумуляция (*биомагнификация*) пестицидов, свинца и других загрязнителей в организме охотничьих птиц бывает настолько высокой, что дичь становится опасной для употребления в пищу человеком. Так было, например, осенью 1981 г. в некоторых западных штатах США.

Иногда важным фактором случайной гибели животных оказывается отравление в результате проведения так называемых оздоровительных и медицинских мероприятий (борьба с грызунами и насекомыми — переносчиками трансмиссивных болезней и т. д.). Так, например, обработка некоторых пойменных лесов Берега Слоновой Кости (5-кратное опрыскивание дельтаметрином 12,5 г/га и однократное — перметрином 40 г/га) для борьбы с мухой це-це привела к исчезновению 20 % видов пресноводных рыб (11 из 55), одного вида креветок (*Cardina africana*) и резкому сокращению численности многих видов перепончатокрылых и двукрылых; численность же мухи це-це существенно не изменилась.

На загрязнение морей пластмассовыми предметами исследователи обратили внимание более 20 лет назад. Пыльные частицы пластика найдены в желудках 42 видов морских птиц, у всех морских черепах и у гренландских тюленей в Белом море. До 30 % смертности морских черепах вызвано ныне проглатыванием пластмассовых предметов (Wehle, Coleman, 1983).

### 3. Значение особенностей популяций и видов для охраны живой природы

Виды и составляющие их популяции крайне разнообразны по своей структуре и динамике; многие биологические параметры популяций и видов имеют существенное значение для их сохранности в условиях усиливающегося антропогенного давления.

#### 3.1. Популяционные особенности

Среди особенностей популяций как эволюционно-генетических систем особое значение для проблем охраны имеют, на наш взгляд, структурированность популяций и число особей, их составляющих.

а) *Значение структуры популяций.* Реакция популяции на повреждающий фактор будет существенно различной при той или иной возрастной структуре (рис. 18). В одном случае для гибели популяции будет достаточно разового влияния какого-либо фактора, устраняющего от размножения всех взрослых особей в период сезона размножения. Это возможно в популяциях многих короткоживущих видов насекомых, мелких птиц и млекопитающих с сезонным размножением или размножением один раз на протяжении жизни. Например, уничтожение (или устранение от размножения) весной всех взрослых землероек-бурозубок прекратит существование популяции, так как в это время популяция состоит исключительно из взрослых особей. С другой стороны, даже полное уничтожение всех вылетевших в дапном году майских жуков не приведет к исчезновению популяции, поскольку большая часть популяции этого вида существует в виде разновозрастных личинок (колен) в разных горизонтах почвы. Добавим к этому, что практически любая форма эксплуатации природных популяций включает селективное по отношению к разным возрастным группам антропогенное воздействие — сбор или плодов (семян), или только моло-

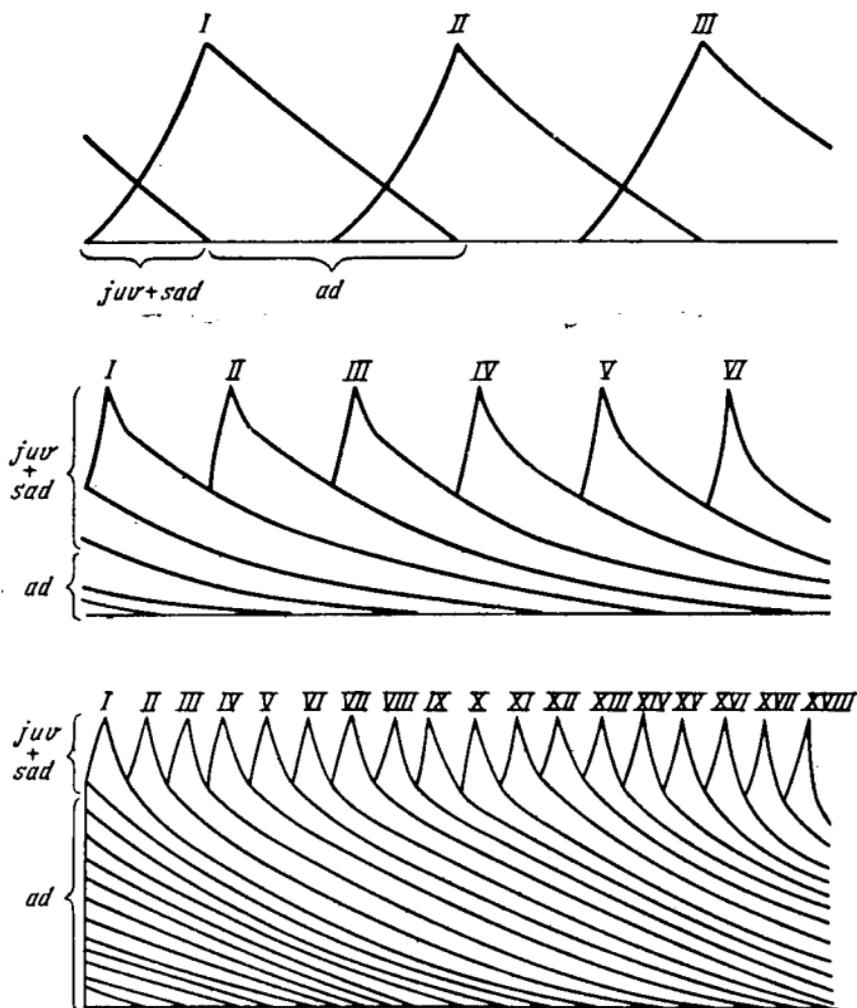


Рис. 18. Три типа возрастной структуры популяций

*I* — одновременно существует, как правило, только одно поколение (земле-ройки, многие насекомые); обмена генами между поколениями нет; *II* — одновременно существует до пяти поколений; при этом возможен обмен генами между двумя-тремя поколениями (прыткая ящерица, полевая мышь и т. д.); *III* — одновременно существуют более десятка поколений, возможен обмен генами между многими поколениями (деревья, долгоживущие млекопитающие и др.)

дых особей растений, изъятие только новорожденных у некоторых ластоногих или только взрослых особей у большинства промысловых птиц и млекопитающих и т. п. Все это также необходимо учитывать при охране природы.

Не менее важным для сохранения популяции оказывается и половая структура популяции. Антропогенное загрязнение, ухудшая условия существования, по своему

результату может быть аналогично действию экологической периферии вида. Как известно, в таких экологически крайних условиях преимущество у многих групп животных и растений получают популяции с партеногенетическими особями: партеногенетическим самкам для размножения нет необходимости встречаться с самцом. У растений преимущество могут получить апомиктические и полиплоидные формы. При мощных повреждающих воздействиях несомненное преимущество получают самые простые агамные формы, размножающиеся простым делением, фрагментацией или почкованием.

В ряде случаев антропогенное давление направлено избирательно на один из полов (как, например, на самцов при промысле некоторых птиц, копытных или китообразных), что также серьезно нарушает половую структуру популяций.

В последние годы накапливаются данные, говорящие о возможности естественного регулирования вторичного (у новорожденных) и третичного (у размножающихся особей) соотношения полов в результате воздействия неблагоприятных условий существования. Это показывает на существование в природных популяциях скрытых резервов регуляции структуры, знание которых было бы, несомненно, полезно при планировании защитных мероприятий.

Разные возрастно-половые группы обычно обладают разными экологическими возможностями (отличия в пище, активности, подвижности, распределении и т. п.), образуя несколько различные экологические ниши, что позволяет говорить об экологической и пространственной структуре популяции. Однако, по-видимому, все эти особенности структурированности популяции отражаются в генетической структуре популяции.

Генетическая структура определяется во-первых, системой скрещивания особей внутри популяции (с позиций охраны природы есть существенная разница, образуют ли особи пары на всю жизнь, как лебеди, или оплодотворение оказывается «общественным», как у рыб на нерестилищах или при рассеянии пыльцы у растений).

Во-вторых, эта генетическая структура популяции определяется интенсивностью и направлением потока генов между особями разных поколений (такой обмен невозможен у видов с однократным размножением, но вполне возможен у древесных растений или в стаде дельфинов, где одновременно существуют половозрелые особи 5—6,

а то и 10 поколений), а также обменом генетической информацией между разными пространственными и временными группировками особей (семьями, подами, кланами, прайдами, демами у животных, клонами и куртинами у растений).

Степень устойчивости природных популяций к антропогенным воздействиям в значительной степени оказывается связанной именно с сохранением и поддержанием ее структурированности. Антропогенные влияния не могут не затрагивать структуру популяции — возрастно-половую, пространственную, генетическую. Чаще всего при этом дробятся популяционные ареалы, снижается плотность населения, контакты между особями становятся спорадическими, уменьшается характерный для популяции уровень панмиксии. Негативным результатом этих процессов может быть снижение жизнеспособности популяции и ее угасание, однако на определенном этапе этого процесса возможно ускорение микроэволюции. Так, если численность особей в фрагментированных частях популяции оказывается достаточно значительной, а смена поколений достаточно быстрой — антропогенное влияние может быть причиной убыстрения выработки новых приспособлений к сложившимся условиям и в результате вести к новому расцвету популяции. Именно эти процессы наблюдаются, например, при массовом распространении видов, которых принято называть «вредителями».

Рассмотренные или, точнее, лишь обозначенные в этом разделе вопросы связи структурированности популяций с проблемами охраны живого, к сожалению, до самого последнего времени не привлекали внимания с позиций охраны природы. Здесь — обширное поле действий для популяционных генетиков и экологов.

б) *Значения минимальной численности популяции.* Популяция может существовать лишь при наличии достаточного числа особей. Определение минимального числа особей, при котором популяция могла бы сохраниться на длительное время, в наше время становится одной из важнейших проблем практической охраны многих видов, как содержащихся в неволе, так и живущих в природных условиях. В последние годы генетиками выполнено несколько фундаментальных исследований в этом направлении (например, см.: Frankel, Soulé, 1981; Сулей, Уилкоккс, 1983; и др.).

Прежде всего при решении задачи определения минимальной величины популяции встают две разноплановые

задачи: первая задача кратковременная и срочная — сохранить популяцию на какое-то время в контролируемых условиях, не допустив снижения жизнеспособности и не допустив (или сведя к минимуму) возможные необратимые генетические и фенотипические изменения. При этом важным является сохранение уровня генетической изменчивости (разнообразия), поскольку утрата такой изменчивости будет препятствовать решению второй (долговременной) задачи — выработки у популяции адаптаций к жизни в условиях измененной среды.

Вопросы типа «Нужно ли ставить целью сохранения зубра в неизменном виде или нужно получить максимально похожего на зубра потомка, приспособленного к новым, антропогенно измененным условиям существования?», на наш взгляд, отражают лишь разные этапы решения одной общей задачи сохранения генофонда зубра. На первом этапе необходимо максимальное внимание к сохранению вида как такового, а после этого нужно решать долгосрочную задачу «встройки» зубра в измененную реально существующую биосферу.

При определении минимальной численности популяции надо иметь в виду, что для решения этой задачи имеет значение не общее число живущих особей, а число реально размножающихся особей и так называемая «эффективная величина (численность) популяции» ( $N_e$ ). Эта величина обычно составляет от 0 до 85 % взрослых особей в больших по численности популяциях и зависит от генетического «вклада» размножающихся особей в генофонд следующего поколения, колебаний численности, соотношения полов, степени панмиксии. Например, если в природе в популяции из 100 особей на 90 самок приходится 10 самцов, то эффективная величина популяции может быть только 36 экз. Резко сокращается эффективная величина популяции и при флуктуациях численности, неизбежных в жизни каждой популяции: если численность популяции на протяжении 10 поколений колеблется от 50 до 1000 особей, то  $N_e$  может быть 345 особей. К резкому уменьшению  $N_e$  ведет также и перекрывание поколений. Заметим, что эти модельные расчеты носят лишь характер первого приближения, поскольку они сделаны для условия случайного объединения пар при спаривании, т. е. для 100 %-ной панмиксии (это условие, как известно, никогда не соблюдается в природе), реальные же расчеты практически пока не выполнимы при современном уровне знаний из-за их сложности. Мини-

мальная величина популяции определяется прежде всего опасностью проявления отрицательных последствий инбридинга — близкородственного скрещивания. Классическая популяционная генетика и практика селекции уже давно выявили три главные опасности, связанные с инбридингом: 1) возникновение так называемой инбредной депрессии; 2) возникновение случайных изменений фенотипа; 3) снижение наследуемости признаков и свойств. Инбредная депрессия выражается чаще всего в уменьшении скорости роста, снижении размера и жизнеспособности взрослых особей, потере плодовитости.

Коэффициент инбридинга равен скорости потери гетерозиготности (или росту гомозиготности) в расчете на одно поколение. Показано, что увеличение коэффициента инбридинга на 10 % может вести к уменьшению плодовитости на 5—10 %. Коэффициент инбридинга в 10 % примерно соответствует той степени инбридинга, который наблюдался бы в группе из 5 размножающихся взрослых особей в течение одного поколения или 25 размножающихся особей на протяжении 5 непрерывающихся поколений.

Селекционеры-животноводы считают, что степень инбридинга в одном поколении не должна превышать 2—3 %, иначе отбор не успевает устранить из популяции неблагоприятные аллели. Практика животноводства говорит о возможности краткосрочного безопасного инбридинга в 1 % на поколение (что соответствует эффективной величине популяции в 50 особей). Отсюда выводится правило краткосрочного выживания — «правило 1 %-ного инбридинга».

Однако для того, чтобы сохранить фенотип дикого животного, необходимо вести отбор по гораздо большему числу признаков и свойств, чем это делают в животноводстве. Увеличение же числа признаков, по которым ведется отбор, вызывает необходимость снижения степени инбридинга. Уже через 20—30 поколений популяция с  $N_e$  50 особей потеряет около  $1/4$  всего генетического разнообразия.

Другой практически важный вывод — заметное снижение плодовитости в небольших по размеру популяциях, даже при величинах коэффициента инбридинга 0,5—0,6 %. Эмпирическое обобщение таково, что число поколений до вымирания в результате инбредной депрессии примерно в 1,5 раза больше эффективной величины популяции (т. е. популяция из 10 размножающихся в каж-

дом поколения взрослых животных угаснет по причине инбредной депрессии через 15 поколений).

К сожалению, на судьбу популяции оказывают влияние и другие факторы, кроме инбредной депрессии, и прежде всего уже упоминавшиеся флуктуации численности. С. С. Четвериков в 1905 г. впервые показал всеобщность и эволюционное значение «воли жизни» — неизбежных флуктуаций численности любой популяции в силу различных экологических причин. Обычным для популяций большинства высших позвоночных оказывается 10—100-кратное изменение численности (большее — у мелких форм), а для популяций беспозвоночных — 100—1000-кратное.

Учитывая сказанное, принимается, что эффективная величина популяций для высших позвоночных, обеспечивающая их надежное выживание, не должна быть меньше нескольких сот особей, а для беспозвоночных — нескольких десятков тысяч особей.

Остается добавить, что, как показывают теоретические расчеты и целый ряд экспериментов с позвоночными и беспозвоночными, — численность особей — основателей популяции имеет меньшее значение для выживания популяции, чем численность поддерживаемой впоследствии группы особей. Популяция дрозофил, основанная одной парой, затем поддерживаемая на этом уровне на протяжении 10 поколений, сохранила большую часть (75 %) генетической изменчивости. Уровень же генетической изменчивости популяции, основанной одной парой, но поддерживаемый в дальнейшем на уровне 10—20 пар, не отличался существенно от уровня изменчивости популяций, основанных 10 и 50 парами особей. Вывод о том, что численность поддерживаемой группы важнее численности особей — основателей, представляется крайне важным при практической организации сохранения редких форм в неволе.

Сейчас накапливается все больше примеров того, что популяция может успешно миновать период резкого сокращения численности, буквально до нескольких десятков особей (этот период часто называется периодом «бутылочного горлышка») и успешно восстановить свою численность. Так, около 80 лет назад в период минимальной численности в Северной Америке было всего 73 лебедя-трубача (*Cygnus columbianus*), а ныне их стало не менее 10 тыс. В период минимальной численности, в 1926 г., зубров оставалось около 20, сейчас их более 2 тыс.

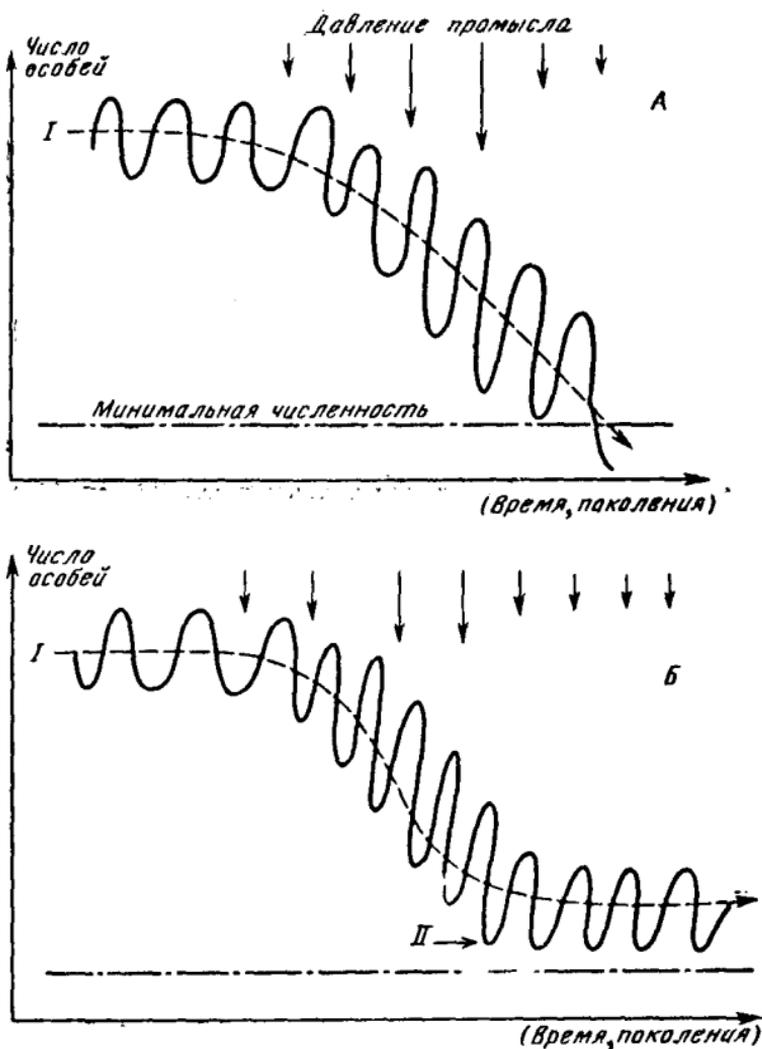


Рис. 19. Схема влияния промысла на популяцию

Нормальные флуктуации численности увеличиваются по амплитуде и учащаются по мере резкого сокращения численности средней (пунктир) популяции. Популяция погибает, достигнув и превзойдя минимальную численность даже при полном прекращении промысла (А), либо может стабилизироваться на более низком среднем уровне численности (II—Б). Часто исходный и стабилизированный уровни отличаются не менее чем в 10 раз

В 1911 г. оставалось всего несколько взрослых особей северного морского слона (*Mirounga angustirostris*), сейчас численность вида составляет, по-видимому, более 70 тыс. Число таких примеров легко увеличить (см. гл. 6).

Минимальная численность популяций должна быть такой, чтобы волны численности не привели популяцию к нулю (или не сократили ее настолько, что существенно затруднится встреча партнеров по спариванию в природе).

И наблюдения в природе, и простой расчет показывают, что опасной окажется и любая долгосрочная тенденция сокращения средней численности популяции. Опыт эксплуатации популяций многих промысловых видов показывает, что волны жизни могут увеличивать амплитуду по мере сокращения численности и нарушения структуры популяции (рис. 19). Вопрос о минимальной численности популяций вряд ли можно считать разработанным в должной мере, в той, какой заслуживает этот, паверное, самый актуальный из вопросов охраны живой природы, связанный с популяционным уровнем организации живого.

### 3.2. Значение структуры и типологии видов

Популяционный тип организации обеспечивает лабильность вида как системы и возможность возникновения разнообразных приспособлений к новым условиям, возможность образования новых видов. Еще Ч. Дарвин установил, что в процессе эволюции живого на Земле «сумма жизни» (разнообразии форм живого) постоянно увеличивалась. Сейчас наблюдается, по-видимому, опасное снижение суммы жизни на планете. В результате урбанизации и технизации биосферы исчезает все больше отдельных популяций и видов, сокращается генетическое разнообразие остающихся видов. В то же время теоретически возможно, что кое-где в результате усиления действия изоляции и других эволюционных процессов происходит убыстрение темпов формообразования. К сожалению, исследований в этом направлении практически нет.

По эволюционно-генетическому «содержанию» и экологическим особенностям виды оказываются весьма различными (реликтовые, поли- и монофаги, толерантные или ригидные, стенобионты или убиквисты и т. д.). Естественно, что и проблемы их охраны оказываются несколько разными. Даже незначительные изменения природной среды способны поставить реликтовые виды на грань вымирания. Многие из недавно вымерших видов животных относились к реликтам (например, бескрылые птицы на островах). Надо заметить, что критическим моментом по отношению к реликтам является совпадение биогеографической и филогенетической реликтовости. Некоторые филогенетические реликты — такие, например, как опоссумы, — обладают достаточно широкой эволюционной приспособляемостью, занимают значительный ареал и не находятся под угрозой вымирания.

Различно положение по отношению к опасности вымирания видов моно- и полифагов (эврифагов). Первые автоматически вымирают при исчезновении их пищевого ресурса. Вторые оказываются пластичными и легко находят замену исчезнувшим компонентам в рационе. Даже незначительные изменения параметров среды ведут стенобиотные виды к гибели. Особенно много примеров строгой приуроченности к определенным узким физико-географическим факторам внешней среды у растений, например, к повышенной солености (галофиты — солянки и другие формы) или повышенной влажности местообитаний (гигро- и гидрофиты).

Нет необходимости продолжать анализ связи типологии видов с проблемами их охраны: ясно, что такая связь определенно существует и в будущей теории охраны природы, возможно, этот подход окажется перспективным и для более точного определения потенциальных опасностей для многих видов, и для разработки необходимых мер их охраны.

#### 4. Заключение

Выше были кратко описаны некоторые из важнейших факторов негативного антропогенного воздействия на популяционно-видовом уровне. Мы не упомянули глобальное загрязнение, звуковые волны, генерируемые крупными современными самолетами и космическими аппаратами, туризм и связанные с ним нарушения покоя, гидротехническое строительство и много других причин, которые также ведут к опасному сокращению численности животных и растений.

Несомненно, что распределение факторов влияния на живую природу по относительной важности будет различным в разных регионах планеты и даже в разных странах. Систематизация негативных влияний в каждом регионе послужила бы хорошей основой для разработки оптимальной стратегии минимизации такого влияния.

Ясно, что в природе, как правило, действует одновременно несколько факторов, вызывающих сокращение численности популяций и гибель видов в целом. При взаимодействии (*синергизме*) они могут приводить к серьезным негативным результатам даже при малой степени выраженности каждого из них.

Эта ситуация усугубляется и неизбежным суммированием действия различных мутагенных агентов (химиче-

ских воздействий, радиации и т. д.) в чреде поколений: мутационный груз в популяциях в условиях сильного антропогенного влияния, по-видимому, может резко возрасти от поколения к поколению у многих живых существ. Это в свою очередь может делать такие формы все более уязвимыми для обычных и прежде успешно переносимых влияний. Ясно и другое. К началу 80-х годов на планете большая часть из появляющихся на свет живых организмов в некоторых группах прямо или косвенно уничтожается человеком. Несомненно, живая природа долго не сможет выносить такое давление, разнообразные разрушающие влияния без нарушения возможностей поддержания благоприятных для человека условий обитания.

## Глава V

### БИОГЕОЦЕНОТИЧЕСКИ-БИОСФЕРНЫЙ УРОВЕНЬ

Элементарной структурной единицей биосферного уровня организации жизни на Земле является биogeоценоз. Биogeоценоз — это участок земной поверхности (вместе с почвой, водными компонентами среды и прилегающей атмосферой), занимаемый биоценозом, — совокупностью растений, животных, грибов и микроорганизмов, связанных между собой и образующих «жизненное сообщество». Комплекс живых, косных и биокосных компонентов, образующих биogeоценоз, связан воедино обменом веществ и энергии и отделен от соседних таких же комплексов какой-либо существенной границей: биоценотической, микроклиматической, гидрологической, почвенной, геоморфологической или геохимической.

Биogeоценозы — элементарные составные части биосферы Земли. Биogeоценоз является энергетически незамкнутой системой. Обмен веществ между соседними биogeоценозами осуществляется в газообразной, твердой и жидкой фазах, а также в форме переноса «живого вещества» (например, миграции животных). Биogeоценозы формируют среду эволюции составляющих их популяций живых организмов, которые воздействуют друг на друга (в том числе посредством изменения живыми организмами абиотических условий, например, выделения веществ — экологических хемомедиаторов).

Многое сказанное о связях между популяциями разных видов в биогеоценозе приложимо и к любой другой экологической системе в широком смысле слова — начиная от мелких (например, экосистема организмов, обитающих в гниющем пне) до самых крупных — всей биосферы в целом. Однако если в понятии «экосистема» (в широком смысле слова) подчеркивается взаимосвязь разных организмов друг с другом вне зависимости от масштаба этих связей, то понятие «биогеоценоз» относится к определенному по масштабу вещественному объекту, отделенному от соседних таких же объектов вполне определенной вещественной границей.

Подавляющее большинство проблем охраны живой природы так или иначе связано с процессами, происходящими на биогеоценозическом уровне. В то же время собственно биогеоценозические проблемы охраны живого до последнего времени чаще всего анализировались порознь в каком-то одном аспекте, а не в комплексе. Ниже мы постараемся показать, что такое отсутствие внимания неоправданно и может быть объяснено лишь сложностью и исключительной многоплановостью этих процессов, но отнюдь не их малозначимостью для решения всей проблемы охраны живой природы нашей планеты.

Упомянутая сложность и многоплановость проблем охраны биоты на экосистемном уровне особенно ясно говорит о скудности современных знаний в этой области, заставляя нас и в этой главе коснуться лишь некоторых проблем, не претендуя на исчерпывающую полноту. Мы затронем при этом сначала проблемы, касающиеся разнообразных связей между видами, затем коснемся некоторых важных, с нашей точки зрения, биогеоценозических проблем, после чего остановимся на некоторых общих биосферных проблемах.

## 1. Изменение структуры биогеоценозов

Нарушение видового разнообразия является, по-видимому, одним из наиболее универсальных немедленных ответов биогеоценоза на всякие существенные повреждающие воздействия. Есть множество примеров резкого сокращения видового разнообразия ценозов после химического загрязнения водной среды; есть данные о влиянии загрязнения воздуха на качественный состав бактериальной и грибной микрофлоры поверхности листьев деревьев.

Под влиянием тепловых загрязнений исчезают некоторые виды рыб и беспозвоночных. По данным одной из работ, обработка соснового леса гербицидом 2,4-Д привела к сокращению как общего числа птиц на 50 %, так и числа видов птиц на данном участке (120 га) также на 50 %. Вокруг сельскохозяйственных угодий, где применяются пестициды, исчезают многие виды насекомых, растений, позвоночных. Даже незначительное нефтяное загрязнение приводит к изреживанию мангровых зарослей. Известно из многих наблюдений (например, Куллини, 1981), что видовой состав фитопланктона изменяется уже при ничтожной концентрации полихлорбифенилов (ПХБ) — всего одна часть на 10 млрд. частей воды.

Чувствительность разных видов к загрязнению оказывается неодинаковой. Так, например, ракообразные, моллюски, мшанки оказываются более чувствительными и исчезают из водных ценозов при более низких концентрациях ПХБ, чем кольчатые черви, немуртины, иглокожие и плеченогие; наиболее устойчивыми оказались асцидии (Куллини, 1981, с. 143).

Общими свойствами выживающих видов оказываются, как правило, их более мелкие размеры тела и меньшая продолжительность жизни. В пресноводной экосистеме сравнительно более устойчивыми к подкислению воды оказались стрекозы, изоподы и пиявки; быстрее их исчезали виды амфипод и улиток, а также некоторые рыбы.

Часто выпадение каких-то видов из экосистемы ведет к усиленному развитию других видов; меняется так называемое ранговое распределение. Так, уменьшение видового разнообразия верхнего яруса лесной растительности по р. Огайо в результате загрязнения воздуха привело, благодаря увеличению освещенности, к усиленному развитию кустарникового яруса и трав.

В целом в экосистеме в ответ на загрязнение доминантные виды могут постепенно терять свой статус и их место будут занимать вновь вселяющиеся виды или ранее второстепенные формы (рис. 20). Все это происходит на фоне общего падения числа видов и уменьшения сложности экосистемы в целом (Израэль и др., 1979).

Не только загрязнение, но и механические воздействия оказываются причиной изменения структуры животных и растительных сообществ. В результате вспашки, например, возрастает численность одних видов почвенных клещей (простигматит и астигматид) и резко сокращается

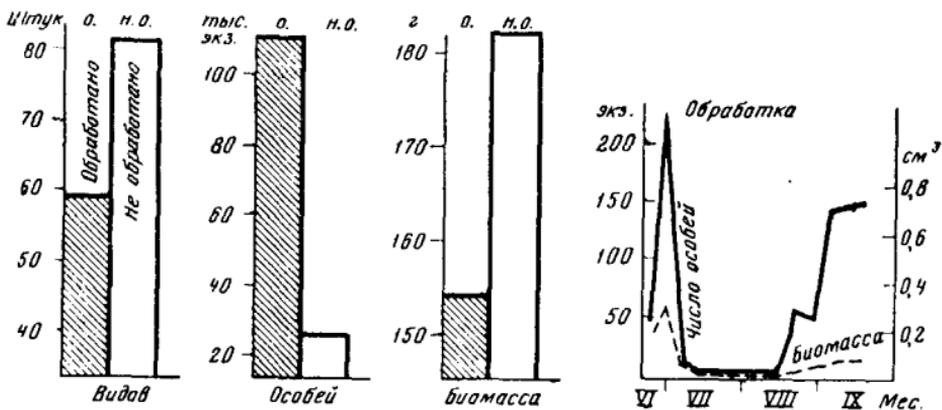


Рис. 20. Влияние обработки хлорорганическими пестицидами на видовой состав и численность животных

А — луговой биоценоз; Б — энтомофауна реки (по: Рамад, 1981)

численность клещей криптостигматид. Влияние перевыпаса и рекреации (вытаптывания) выражается обычно в деградации наземной растительности и обеднении фауны почвенных беспозвоночных.

По-видимому, одним из наиболее изученных в отношении синантропизации растительности крупных регионов мира является территория Польши. Исследования показали, в частности, что только 3,1 % территории страны покрыта фитоценозами, которые можно считать слабо синантропизированными, а на 33,5 % территории страны естественная растительность полностью замещена вторичной сельскохозяйственной, садовой, рудеральной. Даже на умеренно вытаптываемых участках леса в десятки раз сокращается численность почвенных членистоногих (обзор см.: Гиляров, 1980).

## 2. Нарушение межвидовых взаимодействий

Если в экосистеме  $N$  видов, то число возможных первичных связей между ними может достигать  $N(N-1)/2$ . Например, если в экосистеме 1000 видов, то число только первичных связей между ними может теоретически достигнуть 499 500. Для сравнения укажем, что в экосистеме Онежского озера около 2000 видов, в Азовском море — более 6100 видов, в оз. Выртсьярв (Карелия) — 1398 видов. Пока мы не в состоянии не только учесть все эти первичные связи между видами, но и даже выделить их в природе.

Наиболее часто исследовались в природе связи между хищником—жертвой (в том числе травоядные живот-

ные—поедаемые растения), симбиотические связи (включая отношения паразитизма, комменсализма и т. п.), а также связи организмов, конкурирующих за одни и те же жизненные ресурсы (пищу, местообитания и т. д.), и этот анализ широко представлен в литературе. Значительно меньше внимания уделялось таким экосистемным последствиям антропогенного влияния, как передача по пищевым цепям и биоаккумуляция загрязнений, перенос токсических веществ мигрирующими животными и нарушению экологических связей в результате разрушения информационных потоков. Ниже рассматриваются проблемы охраны природы, связанные с подобными межвидовыми взаимодействиями.

#### **2.1. Нарушение пищевых цепей и других биоценологических связей**

Причиной падения численности и исчезновения популяций (а в конечном итоге и видов) может быть исчезновение другого вида, от которого зависит выживание данного вида. Одно только перечисление ярких примеров трагических для живой природы последствий нарушения пищевых цепей в природе заняло бы толстую книгу. Здесь и уничтожение хищных птиц в охотхозяйствах Скандинавии, последствием которого стало сначала размножение пернатой дичи, а потом ее массовая гибель в результате распространения эпидемий кокцидиоза, вызванного *Eimeria avium*; и исчезновение рыбы в некоторых африканских озерах после истребления бегемотов (поскольку фекалии бегемотов служили богатым естественным удобрением водоемов и основой развития фитопланктона — пищи рыб) и т. д. В 50-х годах на о-ве Бали (Индонезия) решили избавиться от москитов и обработали все жилища в прибрежных поселках ДДТ. Москиты исчезли, а с ними исчезли и ящерицы, которые отравились москитами. За ящерицами исчезли кошки, которые отравились насыщенным ядом ящерицами. После исчезновения кошек невероятно размножились крысы, что привело к вспышке чумы. Завоз большой партии кошек на остров несколько улучшил положение, но к тому времени стали рушиться дома; после исчезновения ящериц сильно размножились термиты, которые быстро подточили балки в домах.

Антропогенные воздействия на экосистемы могут приводить и к другим нарушениям нормальных трофических

связей. Так, обработка травянистых экосистем пестицидом далапопом приводила к тому, что охотно поедалась копытными животными (обычно малопоедаемая) *Deschampsia caespitosa*. После обработки экосистем феноксиуксусными гербицидами во многих растениях уменьшается содержание перевариваемого белка и крахмала. Наоборот, некоторые ядовитые растения, обычно избегаемые фитофагами, после обработки пестицидами становятся более привлекательными. Так, дикие копытные охотнее поедают листья крестовника (*Senecio jacobaeae*) в горных районах Африки, в тканях которого после обработки некоторыми пестицидами увеличивается содержание сахара.

Трагичными последствиями для многих видов и экосистем оказываются нарушение и распадение связей между опылителями и опыляемыми растениями. Как известно, в процессе эволюции у многих животных и растений возникли теснейшие связи, основанные на получении пищи животными при опылении растений. Значительная часть современных цветковых растений приспособлена к опылению животными, причем у ряда растений опыление может совершаться только определенной группой животных (осами, пчелами, шмелями, мухами и т. д.). Значительное количество растений в тропических регионах опыляется летучими мышами, а также птицами. Так, например, только в Западной Австралии насчитывается более 560 видов местных растений, опыляемых птицами, что составляет 16 % флоры! Для средней полосы СССР известно, что в отсутствие наиболее активных опылителей, таких, как определенные перепончатокрылые, некоторые культуры существенно — на десятки процентов — сокращают урожайность.

В свою очередь, многие виды животных настолько узко специализированы на добывание пищи во время посещения цветов, что исчезновение данного вида растений неизбежно вызывает и их гибель. Так, популяции агав и опыляющих их летучих мышей листоносов, будучи взаимно необходимыми, одновременно резко сокращаются на юге США и севере Мексики. Точно так же одновременно вымирают гавайские эндемики — птицы-цветочницы из сем. *Drepaniidae* и растения рода *Hibiscadelphus*. В обоих случаях растения дают или давали пищу (нектар), животные — обеспечивают опыление.

Зависимость может быть различной: от пищи, местобитания, получения зависимым видом необходимых химических веществ (хемомедиаторов) и т. д. (табл. 16).

Таблица 16

Примеры облигатных и специфичных связей видов  
(экологических кластеров)

Зависимые организмы	Виды, от которых зависит существование (выживание) других видов	Примечание
Формы инжира <i>Ficus carica</i> (не имеющие партенокарпических плодов)	<i>Osa Blastophaga</i> (сем. <i>Agonidae</i> )	Все виды сем. <i>Agonidae</i> (и только они) специализированы на опылении фикусов. Зависимость от фикусов, по-видимому, обоюдная
Агава ( <i>Agave palmeri</i> )	Листонос <i>Leptonyciteris nivalis</i>	Летучие мыши опыляют агаву и питаются их нектаром. Зависимость обоюдная
<i>Hibiscadelphus</i> sp.	Гавайские цветочницы ( <i>Drepaniidae</i> )	Каждый из видов птиц приспособлен к опылению только определенного вида хибискадельфуса. Зависимость обоюдная
Орхидеи	Симбиотические грибы <i>Rhizoctonia</i> и другие	Семена многих орхидей без гриба не могут прорасти (т. н. эндотрофная микориза)
<i>Rafflesia</i> spp.	Лианы рода <i>Tetra-stima</i>	Раффлезия паразитирует только на этих лианах; выделения корней растений-хозяев стимулируют прорастание семян раффлезиевых
Некоторые виды дроздofil	Определенные виды кактусов	Данные виды дроздofil питаются на «своих» видах кактусов и получают из пищи вещества - предшественники, необходимые для синтеза своих гормонов
Бабочки данаиды	Растения, содержащие пирролизидиновые алкалоиды	Пирролизидиновые алкалоиды необходимы как предшественники для биосинтеза половых феромонов бабочек

Важно только, что эта зависимость облигатна (обязательна) и видоспецифична. Число примеров подобных группировок видов — *экологических кластеров* (от англ. cluster — гроздь, пучок, скопление) — крайне велико. Сюда входят, в частности, все облигатные и узкоспецифичные монофаги и специализированные на одном виде хозяина паразиты, а также узкоспециализированные к определенному опылителю растения.

Проведенные на разных группах организмов и в разных регионах мира подсчеты показывают, что гибель одного вида растения может автоматически вести к гибели по крайней мере 5—7 видов животных (в основном беспозвоночных), тесно с ним связанных. Это число может возрастать до 30—35 видов.

## 2.2. Нарушение баланса между видами

В одном из районов Канады для борьбы с паршой яблонь их опрыскивали препаратами серы. Под действием серы были уничтожены не только вызывающие паршу грибы, но и хальцида *Aphytis mutilaspidis* и клещ *Hemisarcoptes malus* — важные естественные враги запятовидной щитовки — не менее опасного, чем парша, врага яблоневых деревьев. Когда для защиты от парши стали использовать карбамат железа, то усилилось размножение паутинового клещика, наносящего значительный урон урожаю яблок, в результате гибели естественных врагов этого насекомого — хищного клеща *Typhlodromus tiliae* и трипса *Neplothrips faurei*.

Борьба с саранчой на юге Марокко с помощью гексахлорана привела сначала к уничтожению божьих коровок и златоглазок, которые сдерживали массовые размножения щитовок, белокрылок, клопов, трипсов и клещей. В конечном результате от вспышек этих видов значительный ущерб был нанесен посевам бобовых и цитрусовым.

Эти примеры из сельскохозяйственной практики не прямо относятся к проблемам охраны живой природы, но они указывают на широкое распространение процессов, которые, несомненно, происходят и в природных экосистемах, но пока еще недостаточно изучены.

Сокращение числа видов и изменение видового состава биогеоценозов ведет к разрыву эволюционно сложившихся пищевых сетей и дезорганизации экосистем, может уменьшать их стабильность. Нередко об этом приходится судить лишь по заключительным фазам процессов: по

разрушенным и обедненным биогеоценозам. Рассмотрим два примера.

В первом речь идет о так называемом «конflikте» между морскими млекопитающими и рыболовством. Рыбаки порой обвиняют тюленей и китообразных (а вместе с ними и рыбоядных птиц) в том, что они съедают «слишком много» рыбы. И действительно, убедительные на первый взгляд расчеты показывают, что, например, в Северной Пацифике эти консументы потребляют рыбы в общей сложности больше, чем вылавливает человек. Однако никогда, когда численность морских млекопитающих резко сокращалась (как это было, например, в Белом море, на Байкале, Каспии, Балтике), рыбаки не получали больше рыбы на единицу усилий. Это говорит о том, что морские млекопитающие своим присутствием стабилизируют экосистемы, поддерживают их продуктивность на уровне, который вряд ли будет достигнут без них. О стабилизирующей роли верхних трофических звеньев в экосистеме сейчас начинают говорить все чаще.

Второй пример также связан с морскими млекопитающими. Подсчеты показали, что крупные китообразные 20—30 лет назад в Антарктике потребляли ежегодно более 40 млн. т криля, тюлени — около 60 млн., головоногие моллюски — около 100 млн. т и рыба — 15—20 млн. В результате перепромысла численность крупных китов резко сокращена, и это трофическое звено пищевой сети, прежде состоявшее из 7 видов (кашалот, голубой кит, финвал, горбач, сейвал, кит Брайда, малый полосатик), теперь свелось практически к одному — малому полосатику (*Balaenoptera acutorostrata*). В последние годы в Антарктике наблюдается следующая картина: резкое колебание численности криля по годам (при среднем

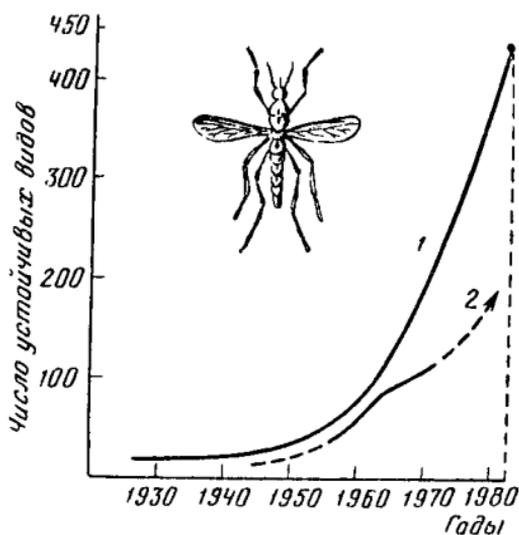


Рис. 21. Увеличение числа устойчивых к инсектицидам форм насекомых с 1920 по 1980 г.

1 — насекомые в агроценозах; 2 — переносчики инфекционных заболеваний и обитатели жилищ (по: Яблоков, Остроумов, 1983)

уровне, меньшем, чем в годы, когда было много китов) и продолжающаяся вот уже около 10 лет депрессия численности других крупных китов (несмотря на полное прекращение их промысла). Это может быть результатом разрыва пищевых сетей и перехода всей антарктической экосистемы на уровень с меньшей продуктивностью и большими колебаниями численности отдельных звеньев цепи.

Еще один пример, связанный с морскими млекопитающими, относится к оценке биогеоценотических связей с позиций биоэнергетики. Для того чтобы получить необходимую пищу, животное должно затратить определенное количество энергии. Неслучайно пищевая стратегия каждого вида в большой степени определяется энергетическим балансом. Для популяции гренландских тюленей в водах Канады подсчитано следующее. Как увеличение численности этих тюленей, так и интенсификация промысла рыб, которыми питаются тюлени, приведут к несбалансированному возрастанию энергетических затрат на добычу тюленями пищи. Возможным результатом окажется массовая гибель тюленей, которые, не накопив достаточных запасов жира в течение лета и осени, не смогут выжить зимой и весной.

И непосредственно к затронутой теме связи между видами относится обоснованное предположение о возникновении массовых вспышек численности беспозвоночных — «вредителей» в агроэкосистемах в результате применения пестицидов и других форм загрязнения биогеоценозов (рис. 21). Неизбежным следствием химизации сельского и лесного хозяйства является нарушение конкурентных и других взаимоотношений между видами (из-за неодинаковой чувствительности разных видов к разного рода загрязнениям), в конечном итоге чаще невыгодное для человека. Сложность экосистемных отношений не позволяет считать это предположение во всех случаях совершенно доказанным. Однако уменьшение устойчивости лесных, водных, луговых биогеоценозов в результате локального загрязнения среды не вызывает сомнения.

### 3. Нарушение экологических связей в результате разрушения информационных потоков

Установлено, что световые, химические, звуковые средства сигнализации широко используются живыми организмами. Следовательно, световое, химическое, шумовое и другие типы загрязнений могут нарушать экологические связи.

В последнее время накапливается все больше данных о том, что различные органические вещества могут служить посредниками (экологическими хемомедиаторами) или экологическими хеморегуляторами различных процессов в биогеоценозах.

Для понимания таких сигнальных связей между организмами в пресноводных экосистемах представляют интерес, например, новые данные о химических веществах, помогающих ориентироваться американскому угрю (*Anguilla anguilla*). Ранее было показано, что угри обнаруживают пахнущие химические вещества в концентрации порядка  $10^{-18}$  моля на литр. Оказалось, что для угря вода, в которой настаивали разлагающиеся листья дуба и березы, собранные со дна реки, может служить аттрактантом — привлекающим фактором. Были получены данные в поддержку того, что микроорганизмы речной воды способны либо усиливать выделение аттрактантов из разлагающихся листьев, либо сами синтезировать привлекающие угрей вещества. Ясно, что вырубка деревьев в пойме или загрязнение воды могут нарушить поступление необходимой для рыб информации.

Другая опасность — нарушение информационных потоков между особями одного вида в результате антропогенного воздействия на среду обитания. О возможности такого нарушения свидетельствует работа В. Ю. Пономарева и др. (1983): в опыте с личинками, мальками и половозрелыми особями горчача (*Rhodeus sericeus*) концентрация фенола в воде всего около 10 мг/л приводила к снижению чувствительности подопытных рыб к их собственному сигнальному веществу — феромону тревоги.

Сказанное не исчерпывает всех возможных проблем, касающихся и других, нехимических средств передачи информации в экосистемах. Однако общий вывод ясен: нарушение потоков информации может серьезно нарушать строение и нормальное функционирование экосистем.

#### 4. Уничтожение некоторых типов биogeоценозов и растительного покрова в целом

Существуют типы биogeоценозов, которые подверглись особенно сильному разрушению. К ним относятся в первую очередь травянистые (степного типа) биogeоценозы повсеместно, на всех континентах замещаемые агробиogeоценозами. Например, в РСФСР практически исчезли разнотравно-типчаково-ковыльные (настоящие) степи и типчаково-ковыльные (сухие) степи. Быстрому разрушению подвергаются и другие типы травянистых экосистем. Так, например, только с 1949 по 1983 г. Великобритания утратила 80 % площадей меловых злаковников.

Уничтожению подвергаются некоторые другие типы биogeоценозов, в первую очередь влажные тропические леса, особенно в Африке, Азии, Южной Америке. Эти тропические леса отличаются исключительно высоким видовым разнообразием, они содержат до 40—50 % всего числа видов в биосфере. Очень велик вклад этих экосистем в глобальный газообмен и первичную продуктивность биосферы.

Необходимость расширения сельскохозяйственных угодий, рост народонаселения, взлет цен на древесину, заготовка древесины для получения топлива и древесного угля — все это привело к уничтожению во влажных тропиках за исторический период свыше 40 % лесов уже к 70-м годам XX в. Подсчеты показали, что в Африке сведено более половины тропических лесов, в Южной Америке — более 37 %, в Южной Азии — более 60 %. Потери тропических лесов ныне ежегодно составляют до 30 млн. га. В итоге практически все тропические влажные леса, расположенные на равнинах, должны исчезнуть (при сохранении существующих темпов их разрушения) за считанные десятилетия.

С исчезновением тропических лесов связана серьезная угроза мировому видовому разнообразию: к 2000 г. биосфера может потерять около 20 % всех видов (World conservation... , 1980). Кроме потери генофонда, реальна и возможность появления, по меньшей мере, локальных климатических изменений (вследствие сдвигов атмосферного теплового баланса, изменения выпадения осадков, общей модификации гидрологии крупнейших рек); возможен также дополнительный выброс в атмосферу CO<sub>2</sub>.

Обобщение работ многих исследователей показывает, что замена леса постоянными агроценозами (пашней)

влечет уменьшение количества углерода в верхнем слое почвы толщиной 1 м на 50 %. Замена леса настбицными биогеоценозами приводит к уменьшению содержания углерода в почве на 25 %. Кроме того, уничтожение лесов означает перевод в форму  $\text{CO}_2$  значительной части углерода, содержащегося в фитомассе сведенного леса. Не менее опасным, чем утрата отдельных типов биогеоценозов, для биосферы в целом оказывается и общее сокращение площади растительного покрова, затрагивающее как естественные, так и агробиоценозы. С точки зрения получения продукции сельского хозяйства такое сокращение компенсируется обычно получением более высоких урожаев с остающейся площади. Однако с биосферной точки зрения сокращение площади, покрытой зеленой растительностью, означает крайне нежелательное уменьшение и так незначительного процента фотосинтетического поглощения солнечной энергии биосферой, а также усугубление антропогенного нарушения круговорота углерода в биосфере.

Площадь растительного покрова в Исландии за время обитания на острове человека сократилась вдвое — с 40 до 20 тыс. км<sup>2</sup>. В Японии в 1968—1974 гг. ежегодно застраивалось около 55 тыс. га (0,15 % пашни). В США за 1967—1975 гг. утрачено около 2,8 млн. га пашни. В Египте осуществление программы освоения новых земель (регулирование стока рек, ирригация и т. д.) в 1955—1975 гг. дало сельскому хозяйству 372 тыс. га новых земель, но в самой плодородной долине и дельте Нила урбанизация «съела» 400 тыс. га. Всего в мире ежегодно площади пашни и настбиц сокращаются вследствие антропогенных факторов на 5—8 млн. га, причем из-за эрозии теряется 3 млн. га, опустынивания — 2 млн. га, токсификации — 2 млн. га.

## 5. Перенос токсических веществ мигрантами

В природоохранной литературе вопрос о возможном переносе поллютантов мигрирующими животными практически не освещен. В то же время совершенно ясно, что если на размножение из африканских стран в Европу возвращается ежегодно около 1 млрд. птиц, каждая из которых может содержать доли миллиграммов персистентных загрязняющих веществ на 1 кг веса тела, то общее количество, скажем, ДДТ, транспортируемого таким образом в страны, где его применение уже давно запрещено, суммарно составит ощутимую величину.

Сказанное по отношению к ДДТ в полной мере относится и к ПХБ, и к тяжелым металлам и ко всем другим без исключения персистентным поллютантам, проникающим в организм животных.

Знаменитый пример В. И. Вернадского касался расчета веса лишь одной из нескольких стай перелетной саранчи (*Shistocerca gregaria*) в Северной Африке, который превышал 40 млн. т. Такая стая саранчи фактически может перемещать на сотни километров тонны свинца, ртути и других элементов, а при поедании обработанной инсектицидами растительности — многократно сконцентрированные пестициды в колоссальных количествах.

## 6. Перенос по пищевым цепям и биоаккумуляция загрязнений

Огромное, но порой не учитываемое до сих пор значение для проблем охраны живой природы имеет биоаккумуляция загрязнений — возрастание концентрации пол-

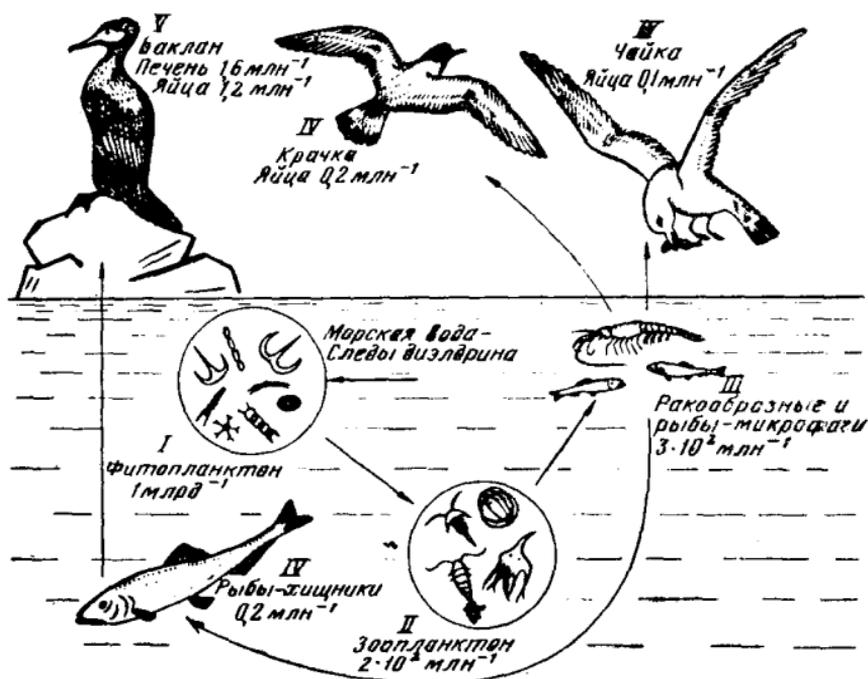


Рис. 22. Схема биоаккумуляции инсектицида дieldрина в пищевой цепи прибрежной части моря

Римскими цифрами — трофические уровни организмов. От фитопланктона до баклана концентрация инсектицида увеличивается в 1000 раз (по: Рамад, 1981)

лютапта по мере продвижения его вверх по пищевой цепи (рис. 22).

Особенно многочисленны и ярко выражены примеры увеличения концентрации поллютантов при переходе от концентрации их в водной среде, окружающей организмы, к самим организмам (табл. 17). При этом происходит значительная биоаккумуляция гидрофобных веществ, к которым относятся многие хлорорганические загрязняющие вещества (они накапливаются прежде всего в богатых липидами тканях и органах).

Выраженная биоаккумуляция в пищевых цепях описана для ряда антропогенных радиоактивных изотопов. Так, в биогеоценозах тундры может происходить накопление  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{137}\text{Cs}$  в трофической цепи, ведущей от почв и лишайников к северным оленям, употребляющим их мясо людям. В лишайниках концентрация  $^{137}\text{Cs}$  была в тысячи раз больше, чем в почвах. В тканях северных оленей его концентрация в 3 раза превышала таковую в лишайниках, а в тканях эскимосов она была в 2 раза больше, чем в мясе оленей (Рамад, 1981).

Нередкие последствия процесса биоаккумуляции пол-

Таблица 17

Примеры биоаккумуляции некоторых веществ из воды (по: Рамад, 1981; Dagani, 1980; Шипунов и др., 1981; Алпатьев, 1983; и др.)

Вещество	Организмы	Степень аккумуляции
Тяжелые металлы	Губки, моллюски, водоросли макрофиты	$\times 1000 - \times 100\ 000$
Кадмий	Креветка <i>Peaneus</i> sp.	$\times 175$
Лептофос	Солнечная рыба <i>Leromis macrochirus</i>	$\times 773$
Эндрин	Толстоголовый пимефалес	$\times 6800$
Хлорпирифос	<i>Pimerhales promelas</i>	$\times 1700$
Кепон	Карповубик <i>Cyprinodon variegatus</i>	$\times 7400$
ДДТ	Толстоголовый пимефалес <i>Pimerhales promelas</i>	$\times 133000$
	Устрица <i>Crassostrea virginica</i>	$\times 70000$
ТДЕ	Фитопланктон Гагара	$\times 333$ $\times 107\ 000 - 179\ 000$

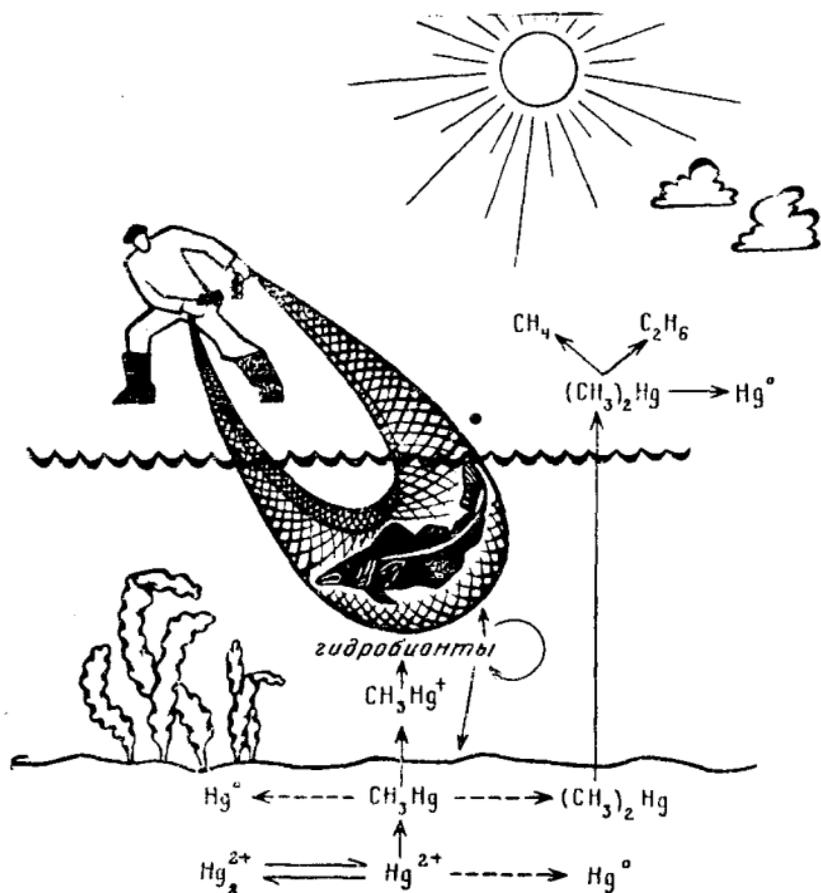


Рис. 23. Биотрансформация и биоаккумуляция ртути в водной экосистеме. Пунктиром показаны реакции, идущие под воздействием бактерий, — метилирование антропогенной ртути, попавшей в донные осадки. Метилртуть аккумулируется в тканях животных (прежде всего в липидах и мембранах). Круговая стрелка — передача ртути по трофическим цепям от одного гидробионта другим.

лютантов — тяжелые, вплоть до смертельных, поражения животных, примеры которых описаны в гл. 2 и 3.

Хотя примеры биоаккумуляции очень многочисленны и широко обсуждаются, необходимо отметить, что проблемы биоаккумуляции сложнее, чем это иногда представляют. Например, оказалось, что вредные последствия может иметь и «простой» перенос токсиканта по пищевой цепи, без возрастания его концентрации.

Содержание гидрофобных поллютантов (к ним относятся многие хлорорганические соединения) очень сильно варьирует в зависимости от содержания жиров в изучаемых тканях. Поэтому такие вещества накапливаются у млекопитающих и птиц в подкожной клетчатке, мозге, половых железах и других органах и тканях с высоким

содержанием липидов. Однако, как известно, жировые запасы в организме интенсивно используются в определенные периоды. При этом загрязняющие вещества могут переходить в кровь и поражать другие жизненно важные органы. Именно так и происходит у некоторых мигрирующих на большие расстояния птиц и летучих мышей. Оказалось, что они могут безболезненно переносить концентрации пестицидов перед началом миграций, но погибать от того же количества содержащихся в их организме поллютантов в конце миграции, при расходовании жировых запасов. Так, содержание ДДТ/ДДЕ в мозге мексиканской летучей мыши *Tadarida mexicana* в конце миграции увеличивалось в 40—160 раз!

Коэффициент биоаккумуляции сильно зависит и от того, берется ли в качестве одного из чисел в дроби концентрация только исходного соединения или сумма концентраций исходного соединения и продуктов его биотрансформации. Поэтому целесообразно рассматривать проблемы биоаккумуляции в комплексе с вопросами биотрансформации (рис. 23) (см. гл. II Б).

## 7. Кислые осадки

Для биогеоценозов опаснейшим антропогенным воздействием являются кислые осадки, обусловленные антропогенным загрязнением атмосферы  $\text{SO}_2$  и  $\text{SO}_3$  (переходят в  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) и  $\text{NO}_x$  (переходит в  $\text{HNO}_3$ ).

Снижение рН водоемов ниже 6 влечет падение численности большинства гидробионтов (см. рис. 17). Изменяются также фитоценозы — высшие водные растения замещаются мхами, что вызывает последующие изменения в животном мире и в биогеохимических процессах в водоемах.

В результате подкисления около 20 % рек и озер Швеции, Норвегии и Канады и около 10 % водоемов на северо-востоке США потеряли более половины обитающих там ранее видов растений, животных и микроорганизмов. Кроме непосредственного воздействия на биогеоценозы водоемов, кислые осадки могут вызывать растворение некоторых природных минералов, вымывая их из почвы и изменяя тем самым условия минерального питания растений. Один из важных результатов воздействия кислых осадков на экосистемы — рост подвижности и токсичности ряда металлов, особенно алюминия и кадмия. Соединения алюминия переводятся кислыми осадками

при  $pH < 5$  в активную растворимую форму, угнетающую рост корней растений. Кислые осадки угнетают микрофлору деревьев, оказывают отравляющее действие на сами деревья и другую растительность. Они вымывают из листьев растений калий, сахар, белки, аминокислоты, повреждают кутикулу (верхний защитный слой на листьях), предохраняющую растения от высыхания, бактериальных и грибковых заболеваний. К 1981 г. около 8 % древесной растительности ФРГ (в среднем каждое 13-е дерево) были повреждены кислыми осадками, а хвойные деревья, особенно пихта, на некоторых больших территориях пострадали на 80—90 %.

Загрязнение воздуха  $SO_2$  и другими поллютантами делает лесные экосистемы более уязвимыми к вспышкам численности насекомых—фитофагов и ведет к усилению заболеваемости деревьев под действием патогенных грибов.

Среди других опаснейших последствий выпадения кислых осадков — снижение первичной продуктивности биогеоценозов.

## 8. Изменение первичной продуктивности

Антропогенные воздействия нарушают несколько аспектов биоэнергетики экосистем, и прежде всего первичную продуктивность и распределение потоков энергии.

Первичная продуктивность — это общее количество органических веществ, производимое сообществом фотосинтезирующих продуцентов (в основном зелеными растениями) на единицу площади за единицу времени. Получаемая в результате фотосинтеза чистая первичная продукция, органические вещества — основа существования всего живого на планете. Максимальная первичная продуктивность характерна для тропических лесов и некоторых болотистых (высокоувлажненных) экосистем (до  $3500 \text{ г/м}^2$  в год), а также для очень небольшого числа агроэкосистем. При антропогенной трансформации природных экосистем и замене одних биогеоценозов другими первичная продуктивность обычно снижается. Так произошло в историческое время в Средиземноморье при замене дубовых лесов на основе *Quercus ilex* разреженными лесо-кустарниковыми сообществами (гарригой) с *Q. coccifera*, так происходит при антропогенном опустынивании Земли, идущем со скоростью около 2—3 млн. га в год.

Первичная продуктивность может уменьшиться и в ре-

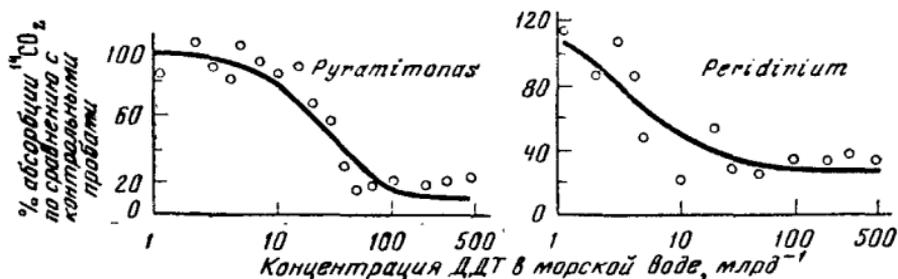


Рис. 24. Связь концентрации ДДТ в морской воде и уровня фотосинтеза двух видов планктонных водорослей

Видно, что даже небольшие концентрации ДДТ резко снижают уровень фотосинтеза (по: Рамад, 1981)

зультате влияния загрязнения на биогеоценозы. В водоемах хлорорганические соединения (ДДТ, ПХБ и т. п.) прежде всего поражают фитопланктон, многие виды которого в морских и пресных водах уже при концентрации ДДТ  $1 \cdot 10^{-8}$  (одна часть: 100 млн. частей воды) сокращают интенсивность фотосинтеза на 20—50 %, а при концентрации  $1 \cdot 10^{-7}$  — на 80 %. К резкому (на 30—65 %) снижению первичной продуктивности мелководных прибрежных вод приводило и хроническое загрязнение среды сравнительно низкими (около 1 мг/л) концентрациями нефтепродуктов (рис. 24).

Резко уменьшают первичную продуктивность соединения тяжелых металлов. Так, например,  $PbCl_2$  в концентрации  $1 \cdot 10^{-7}$  и экспозиции 48—72 часа замедлял фотосинтез некоторых водорослей на 25—50 % (Шишунов и др., 1981).

Загрязнение среды  $SO_2$  и окислами азота ведет к снижению первичной продуктивности биогеоценозов. Действие  $SO_2$  в концентрации 0,86 мг/м<sup>3</sup> в течение 8 ч в день на протяжении вегетационного сезона (т. е. реальные условия для многих районов Европы) приводит к снижению продуктивности сахарной свеклы на 20—40 %, шпината — на 20 %, некоторых зерновых культур — на 30 % и более. Сходным образом  $SO_2$  снижает и продуктивность лесов.

Негативное влияние на продуктивность  $NO_2$  сказывается при еще меньших концентрациях. В опытах урожайность томатов снижалась более чем на 20 % вследствие экспозиции  $NO_2$  в концентрации 0,47 мг/м<sup>3</sup> на протяжении 128 дней.

В реальных условиях экосистемы подвергаются воздействию смеси  $\text{SO}_2$  и  $\text{NO}_x$ . В опытах совместное влияние  $\text{NO}_2$  (40 частей на 1 млрд) и  $\text{SO}_2$  (40 частей на 1 млрд) за 38 дней приводило к снижению сухого веса лугового мятлика (*Poa pratensis*) на 40 %. Если такое же время воздействовали более высокими концентрациями (100 частей на 1 млрд  $\text{SO}_2$  + 100 частей на 1 млрд  $\text{NO}_2$ ), то сухой вес мятлика был в 5 раз меньше, чем в контроле. 100 частей на 1 млрд  $\text{NO}_2$  означает около  $0,188 \text{ мг/м}^3$ , и эта концентрация лишь незначительно превосходит среднегодовую среднюю концентрацию  $\text{NO}_2$  на значительной площади Лос-Анджелеса в 1980 г.

Совместное действие загрязнителей атмосферы и почвы, в том числе соединений серы и тяжелых металлов, снижает первичную продуктивность лесов на десятки процентов. К многократному снижению первичной продуктивности ведет закисление водоемов (см. выше раздел 7). В крайних случаях водные экосистемы полностью теряют способность продуцировать органическое вещество, становятся безжизненными.

Не увеличивая более числа примеров (что легко сделать), можно утверждать, что снижение первичной продуктивности наземных и водных экосистем является довольно обычной реакцией экосистем на загрязнение многими веществами.

В то же время хорошо известно повышение первичной продуктивности водных экосистем в процессе эвтрофикации — в результате обогащения водоемов питательными веществами (органикой, минеральными удобрениями). В экспериментальных условиях некоторые сорта арабской и нигерийской нефти после кратковременной обработки водоемов в концентрации  $0,2 \text{ мг/л}$  также приводили к увеличению первичной продукции. В других экспериментах при хроническом воздействии ПХБ в концентрации  $1 \cdot 10^{-10}$  фотосинтез фитопланктонного сообщества сохранялся стабильным, но при изменении видового состава сообщества и усиленном размножении более стойких видов. Несмотря на то только что приведенные примеры увеличения первичной продуктивности водных экосистем при некоторых загрязнениях, в целом первичная продуктивность биосферы в результате действия многих причин (в том числе замены высокопродуктивных естественных сообществ, как правило, менее продуктивными агроценозами) снизилась по некоторым оценкам примерно на

30 % за последние пару тысяч лет и в настоящее время, по-видимому, продолжает снижаться. Этот процесс идет на фоне постоянного увеличения потребления первичной продукции человечеством — в настоящее время, по-видимому, около 25 % первичной продукции суши используется человеком.

## 9. Заключение

Выше мы рассмотрели далеко не все проблемы, непосредственно связанные с охраной живой природы на биогеоценопотически-биосферном уровне, но надеемся, что затронули главные из них. Хотя каждая из проблем касается и конкретных видов, и конкретных процессов, протекающих в организмах особей разных видов, ни одна из них не может быть полностью сведена к проблемам на молекулярно-генетическом, онтогенетическом или популяционно-видовом уровнях.

Сравнительное рассмотрение разных проблем показывает также, что если на ряд проблем было обращено значительное внимание исследователей (прежде всего, пожалуй, на проблемы уничтожения некоторых типов биоценозов и сокращения растительного покрова в целом, изменения первичной продуктивности, биоаккумуляции загрязнений), то другие проблемы остаются практически без подобающего внимания (например, нарушение информационных потоков в экосистемах, перенос загрязнителей мигрантами).

Важным отличием проблем этого уровня от ранее рассмотренных является их большая комплексность и связанность с этим, несомненно, меньший уровень разработанности. Множество взаимодействующих компонентов в экосистемах, образующих непредсказуемые сочетания, куммулятивные и контриптуитивные эффекты — все это с избытком присутствует здесь, препятствуя не только решению, но и точной формулировке проблем. Объективно действующим фактором, отрицательно влияющим на резкое расширение знаний в этой области, являются огромность пространственно-временной протяженности структур и процессов на этом уровне. Мы не можем здесь, как на предыдущих уровнях, поставить эксперимент в лаборатории, а должны либо превратить в лабораторию отдельные участки биосферы, либо моделировать те или иные интересующие нас ситуации, неизбежно резко упрощая составные компоненты модели.

Оценивая уже достигнутое в познании проблем охраны живого на этом уровне, можно, к сожалению, сделать лишь такой же тревожный вывод, который делался и по отношению к проблемам на остальных уровнях: и здесь проблемы есть, они реальны и требуют срочной разработки и безотлагательных решений — для каждого последующего поколения решать эти проблемы будет все труднее, если мы уже сегодня дальновидно не зложим основы их решения. В ряде случаев от нас требуется даже не решение, а получение точек отсчета для происходящих изменений. Отсутствие таких точек отсчета крайне затрудняет сейчас точный анализ большинства изменений в экосистемах. Нам неизвестно с достаточной полнотой подавляющее большинство межвидовых экологических кластеров даже в хорошо изученных регионах планеты. Мы выясняем облигатные связи между видами, к сожалению, порой слишком поздно — когда какой-либо из видов вымирает и вслед за ним начинают один за другим исчезать тесно связанные с ним виды.

На этом биогеоценологически-биосферном уровне особенно остро ощущается несоответствие между современным устройством человеческого общества и возникающими проблемами биосферы, требующими решения. Можно лишь надеяться, что осознание необходимости дружного и координированного решения биосферных проблем окажется мощным стимулом, объединяющим усилия всего человечества.

## Глава VI

### А ЧТО ЗАВТРА?

В предыдущих главах мы постарались показать современное состояние проблем охраны живой природы нашей планеты. В этой заключительной главе мы попробуем оценить некоторые перспективы охраны живой природы в ближайшем и обозримом будущем. Но перед этим мы должны кратко остановиться на некоторых глобальных проблемах, которые имеют самое непосредственное (хотя и разное) отношение к проблемам охраны живой природы.

## 1. Связь проблем охраны живой природы с другими глобальными проблемами

Все глобальные проблемы современности теснейшим образом переплетаются и взаимно обостряют друг друга. Мы коснемся здесь лишь двух из этих проблем, без решения которых немислим прогресс и в деле охраны природы. Это, во-первых, проблема предотвращения ядерной войны и ограничения гонки вооружений и, во-вторых, проблема демографической стабилизации.

Любая деятельность в области охраны живого немедленно теряет смысл, если будет развязан ядерный конфликт.

Еще до того, как выпадающие из радиоактивных облаков осадки разрушат генофонд высших организмов (что может произойти спустя месяцы, а может быть и годы), облака пыли, дыма, сажи от пожаров, вызванных ядерными взрывами, будут выброшены в стратосферу. Это немедленно лишит поверхность планеты обычного количества солнечной энергии. Температура понизится, наступит «ядерная зима», и планета замерзнет (рис. 25). Локальное резкое повышение температуры на горах высотой свыше 5 тыс. м лишь усилит трагизм положения: ледники на горах превратятся в сметающие все потоки. Другими неизбежными последствиями ядерных взрывов будет изменение содержания озона в атмосфере и вследствие этого — изменение интенсивности ультрафиолетовой радиации. Если содержание озона уменьшится на 50% (что, по расчетам, вполне реально), то интенсивность УФ-радиации может возрасти в десятки раз. Поэтому через несколько месяцев, когда пыль, сажа и копоть от взрывов осядут, интенсивная УФ-радиация, прежде сдерживаемая озоновым экраном в атмосфере, катастрофически повлияет на все живое (Turco et al., 1984 и др.).

Но и без ядерной войны, при сохранении современных темпов гонки вооружений, человечество не сможет выделять достаточно средств даже для поддержания современного, не особенно благополучного уровня охраны природной среды. Уже сейчас расходы на военные цели во многих странах в десятки и сотни раз больше, чем затраты на охрану среды. В мире в начале 80-х годов ежеминутно на военные расходы тратилось более 1 млн. долларов (более 600 млрд. долларов в год). Только приостановка безумной гонки вооружений может дать так необходимые для улучшения качества окружающей среды

(и спасения многих видов от вымирания) средства и материальные ресурсы.

Необходимо подчеркнуть, что гонка вооружений способствует разрушению и истощению природно-ресурсной базы человечества, загрязнению среды, прямому разрушению биогеоценозов на значительных площадях, гипертрофированному развитию не являющихся необходимыми для человека отраслей промышленности и чрезмерной урбанизации. Добавим, что сама необходимость сохранения приемлемого качества окружающей среды и соответственно определенного достаточно высокого уровня охраны живой природы уже сейчас является существенным фактором поддержания мира на Земле и развития глобального сотрудничества всех стран (Федоров, 1972).

Но перед развивающимся человечеством и биосферой в целом возникает другая проблема — демографический взрыв. Доля человечества вместе с биомассой наших домашних животных в общей биомассе наземных животных достигла 15—20 % в 1980 г. и продолжает увеличиваться.

Общая численность людей на планете в 1983 г. составила около 4,7 млрд. человек, причем около 1 млрд. из них голодают или недоедают. При самой лучшей, теоретически возможной организации хозяйства людей на Земле, основанной на справедливом распределении ресурсов и использовании современных достижений науки и техники, Земля сможет прокормить, по-видимому, около 10—12 млрд. человек. Это число может быть достигнуто при нынешних темпах роста населения уже через несколько десятков лет.

Но и тут будущее не столь пессимистично. Общемировая относительная скорость прироста населения за десятилетие с 1970 г. заметно снизилась — с 1,90 до 1,72 % (рис. 26). Правда, снижение относительной скорости еще не означает снижения прироста в абсолютных цифрах: если замедление скорости прироста населения сохранится на современном уровне, то стабилизация численности может наступить лишь в конце XXI—начале XXII в. Если Земля и сможет прокормить такое количество людей, то биосфера вряд ли сумеет выдержать возрастающий поток разнообразных отходов и загрязнений (химическое, тепловое, световое и др.). Существуют, однако, и другие обоснованные прогнозы, говорящие о том, что стабилизация численности может произойти много

Рис. 25. Средняя температура континентальных районов Северного полушария после нанесения ядерного удара мощностью 100 МТ по городам и 10 000 МТ по городам и другим объектам

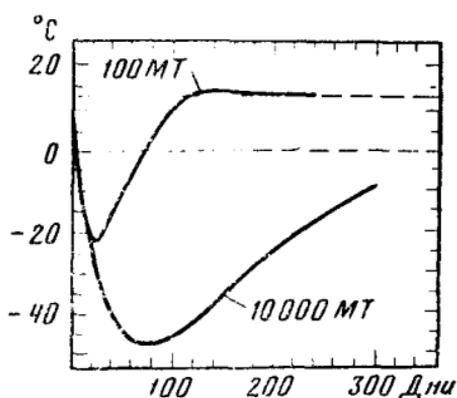
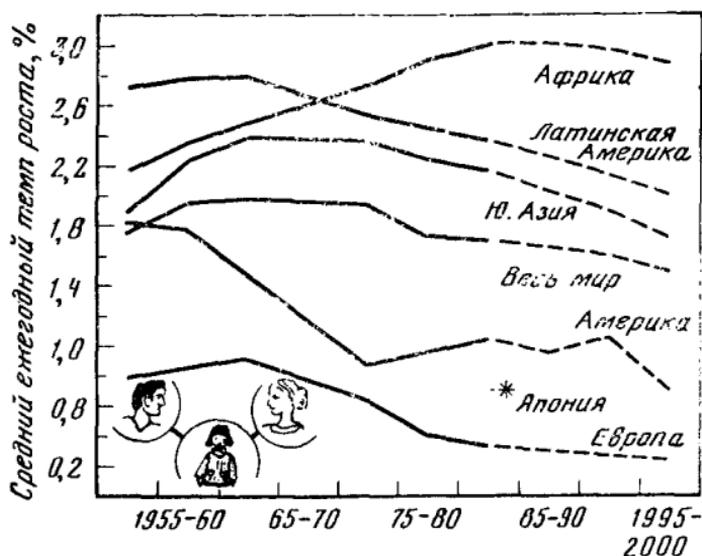


Рис. 26. Снижение скорости прироста населения в разных частях света



раньше, в XXI в. Конференции ООН по народонаселению (1979 г., Коломбо; 1984 г., Мехико) настойчиво обращают внимание мирового сообщества на необходимость резкого снижения темпов роста населения, особенно в развивающихся странах, находящихся на пути социально-экономического переустройства.

## 2. Снижение темпов загрязнения биосферы

В некоторых индустриально развитых регионах мира нарастание темпов загрязнения биосферы определенными типами поллютантов, по-видимому, уже перевалило через максимум и ныне устойчиво сокращается. Это произошло не само собой, а в результате настойчивых, порой беспрецедентных усилий отдельных государств и группы государств. Во многих крупных городах в Европе, Северной

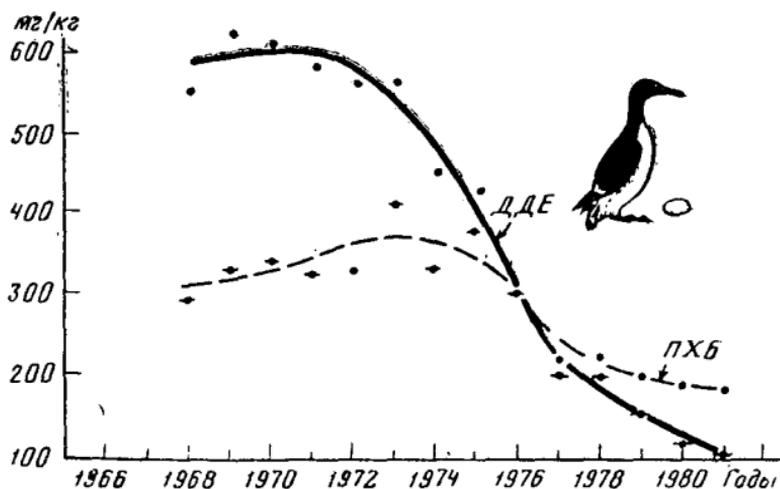


Рис. 27. Снижение темпов загрязнения Мирового океана в результате перевалок нефти

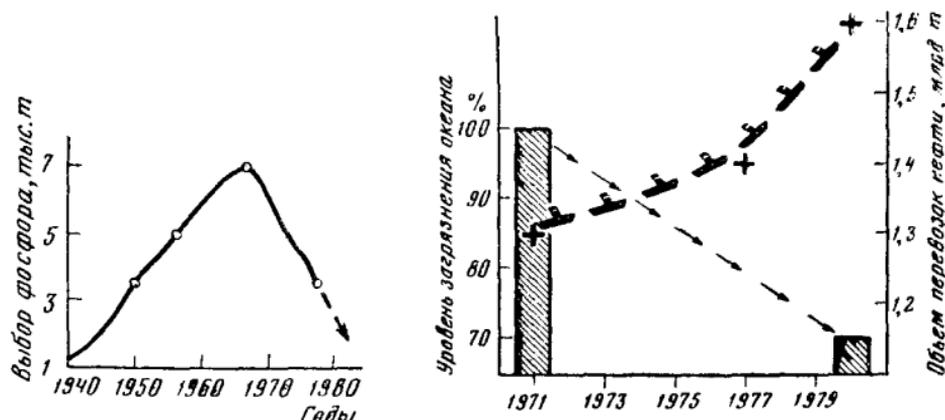


Рис. 28. Снижение выбросов фосфора в городах Швеции за последнее десятилетие

Рис. 29. Динамика содержания ДДЕ и ПХБ в яйцах тонкоклювой кайры в Центральной Балтике (по: Olsson, 1977)

Америке, Азии сточные воды стали проходить более глубокую и качественную очистку и в меньших количествах сбрасываться в водоемы. Восстановлена биота в одном из Великих озер — оз. Эри, лососи после многолетнего перерыва вновь появились в Темзе. Число видов рыб, обитающих в Сене, возросло за последние 10 лет в 4 раза (с 8 до 32) и т. д. (рис. 27, 28).

Во многих местах существенно снизилась загазованность и запыленность воздуха. Уже около 1/3 всего металла в мире ныне «добывают» из использованных про-

мышленных изделий. Несмотря на общий заметный рост мировых перевозок нефти по океану и рост добычи на шельфе, общее поступление нефти из антропогенных источников в океан за последнее десятилетие, по-видимому, сократилось (рис. 29).

Особенно эффективным оказывается улучшение качества окружающей среды в условиях социалистического хозяйствования: централизованная экономика позволяет в плановом порядке выделять на охрану среды крупные средства. В СССР в 1983—1984 гг. благодаря сооружению очистных сооружений общей мощностью более 17 млн. м<sup>3</sup> сточных вод в сутки удалось уменьшить количество сбрасываемых в водоемы загрязненных стоков на 2,9 км<sup>3</sup> в год. При росте объема промышленной продукции в СССР в 10-й пятилетке на 24 % промышленное использование воды практически не увеличилось (за счет широкого внедрения замкнутых водооборотных циклов и повторно-последовательного использования воды). По сравнению с 1980 г. объемы используемой повторно и оборотной воды возросли к 1984 г. на 36 км<sup>3</sup>. В 1984 г. 69 % потребности промышленных предприятий в СССР обеспечивается системами оборотного и повторного водоснабжения. Это позволяет отказаться от забора из природных источников свыше 220 км<sup>3</sup> воды в год, т. е. количества воды, более чем в четыре раза превышающего среднегодовой сток Днепра. Выбросы ряда вредных веществ в атмосферу от стационарных источников в большинстве наших промышленных центров либо сокращены, либо стабилизированы, несмотря на наращивание промышленных мощностей. Так, общее количество вредных веществ, выбрасываемых в воздух стационарными источниками загрязнения, в СССР в 1983 г. сократилось по сравнению с 1975 г. почти на 9 млн. т, несмотря на значительный рост объемов промышленного производства. На 1985 г. планируется снижение общих объемов вредных выбросов в атмосферу на 11 % по сравнению с уровнем 1980 г.

В мире резко возрастает уровень законодательной и общественно-политической активности, непосредственно связанной с охраной окружающей среды. Общественные движения типа «зеленых» заняли прочное место на политической арене многих западноевропейских стран. В СССР и других социалистических странах охрана среды выделяется в качестве одного из важнейших разделов в общегосударственных планах социально-экономического развития.

Укрепляется и систематизируется национальное и международное законодательство в области охраны среды. В СССР в 1980—1982 гг. приняты всесоюзные и республиканские законы об охране атмосферы и охране и использовании животного мира.

По инициативе СССР Генеральная Ассамблея ООН одобрила Конвенцию о запрещении военного или любого иного враждебного воздействия на природную среду и резолюцию об исторической ответственности государств за сохранение природы Земли для нынешнего и будущих поколений. 28 октября 1982 г. Генеральная Ассамблея ООН торжественно провозгласила Всемирную хартию природы и в этом же году специальная сессия ЮНЕП приняла декларацию о разворачивании в 1982—1992 гг. всемирной кампании в защиту биосферы.

Конечно, сказанное выше не означает, что все проблемы охраны среды уже решены или в их решении уже произошел поворот к лучшему. Но было бы неправильно недооценивать этот идущий на наших глазах небывалый по масштабам процесс экологизации экономики, промышленности, да и всей жизни общества. Этот процесс идет нелегко, иногда с отступлениями на каких-то участках, но общая тенденция экологизации хозяйства Земли и мировоззрения человечества налицо (подробнее см.: Яблоков, Остроумов, 1983, с. 154—205). Так начинают оправдываться слова крупнейшего естествоиспытателя современности В. И. Вернадского: «Жизнь человечества, при всей ее разнородности, стала неделимой, единой... это начало стихийного движения, природного явления, которое не может быть остановлено случайностями человеческой истории. Человек впервые реально понял, что он житель планеты, и может — должен — мыслить и действовать в новом аспекте, не только в аспекте отдельной личности, семьи или рода, государств или их союзов, но и в планетном аспекте...»

Все сказанное в разделах 1 и 2 этой главы позволяет нам теперь, оставив в стороне социологический и технологический аспекты проблемы охраны среды, перейти к рассмотрению конкретных перспектив и стратегических путей решения тех конкретных проблем охраны живой природы, которые были сформулированы в первых главах этой книги.

### 3. Пути сохранения живой природы

Как ни опасны и даже трагичны порой антропогенные влияния для живой природы, человек способен восстанавливать численность видов, по тем или иным причинам поставленных на грань вымирания. Число подобных примеров гораздо больше, чем это обычно представляется даже специалистам. В табл. 18 приведены только некоторые из них.

Как видно из этой таблицы, в подавляющем большинстве случаев численность видов восстанавливалась после специальных активных мер, предпринятых человеком. Часто такое восстановление численности происходит в самых густонаселенных странах. Так, например, в Великобритании во второй половине XX в. устойчиво растет численность оленей, дикого кота, хоря, куницы. Пока еще редки, но тем не менее есть примеры, когда даже в условиях промысла — при условии его жесткой регуляции, — численность вида, снизившаяся было под прессом неумеренного промысла, восстанавливается. Это происходит с сельдью в северо-западной части Охотского моря, камчатским крабом, минтаем, некоторыми тюленями и целым рядом других видов. В результате восстановления численности 10 видов и подвидов млекопитающих и птиц ныне перенесены с красных на зеленые страницы Международной Красной книги. Среди них: беличий кускус, шерстоносый вомбат, гуаделупский морской котик, два подвида оленей, белохвостый гну, зубр, травяной попугайчик и австралийская мухоловка, а также новозеландский скворец.

Все эти и многие подобные факты вселяют уверенность в целесообразности и эффективности активных действий по восстановлению численности редких видов.

#### 3.1. Охрана живых существ в природных местообитаниях

В сохранении видов и популяций непосредственно в местах их обитания успешно развиваются ныне две основные формы: развитие сети охраняемых территорий и охрана видов на преобразуемых деятельностью человека территориях.

В 1980 г. в мире под заповедниками и близкими им по функциям природными особо охраняемыми территориями находилось свыше 2,68 % суши, хотя в разных

Таблица 18

Примеры успешного восстановления численности некоторых млекопитающих и птиц (по: Яблоков, Остроумов, 1983, с дополнениями)

Вид	Численность			Главные факторы восстановления
	начальная *	минимальная	современная	
Сайгак (СССР)	Несколько миллионов	Около 1500 20-е годы	Около 1,5 млн. 1984 г.	Запрет промысла, организация промхозов
Бобр европейский (СССР)	Сотни тысяч?	Около 700 20-е годы	Около 150 тыс. 1984 г.	
Кулан-онагр (СССР)	Десятки тысяч	Около 200 50-е годы	Более 2000 1984 г.	Организация заповедников, расселение
Азиатский калан (СССР)	Не более 15 тыс.	Около 900 50-е годы	Около 7000 1982 г.	
Серый кит (Мексика, США, СССР)	Около 20 тыс.	Несколько сот 30-е годы	Около 16 тыс.	Запрет промысла, организация заказников
Дальневосточный морж (СССР, США)	Около 200 тыс.	Не более 30 тыс. 50-е годы	Около 200 тыс. 1984 г.	Регламентация промысла, охрана мест размножения
Зубр (ПНР, СССР, ГДР, ФРГ)	Десятки тысяч	48 1927 г.	Более 2000 1984 г.	Координированная национальная регламентация промысла
				Организация заповедников, заказников, запрет охоты, центры размножения и расселение

Продолжение табл. 18

Вид	Численность			Главные факторы восстановления
	начальная *	минимальная	современная	
Амурский тигр (СССР)	Несколько сот	30 1935 г.	Около 200 1982 г.	Запрет охоты, организа- ция заповедников
Северный морской слон (США, Мексика)	Сотни тысяч	20 1890 г.	Более 100 тыс. 1984 г.	Запрет охоты, охрана мест размножения
Гуаделупский котик (Мек- сика, США)	Десятки тысяч	60 1928 г.	Около 2000 1980 г.	Запрет охоты, организа- ция заповедников
Рифовый олень (США)	Несколько тысяч	25—80 1955 г.	600 1980 г.	Запрет охоты, охрана ме- стообитаний
Степной бизон (США)	Несколько миллионов	20 1893 г.	Более 10 тыс. 70-е годы	Охрана в заповедниках, реаклиматизация
Калифорнийский вапити (США)	Десятки тысяч	20 1873 г.	900 1981 г.	Запрет промысла, орга- низация заповедников
Викунья (Перу, Боливия, Чили)	Около 200 тысяч	6200 1965 г.	Более 100 тыс. 1984 г.	Запрет промысла и между- народной торговли, орга- низация заповедников, расселение
Абруцкая серна (Италия)	Несколько тысяч	30 1915 г.	450 1981 г.	Организация заповедни- ка, запрет охоты
Бенгальский тигр (Ин- дия, Бангладеш)	Около 40 тысяч	1827 1972 г.	Более 4000 1984 г.	Запрет охоты, организа- ция заповедников

Оживление табл. 18

Вид	Численность			Главные факторы восстановления
	начальная *	минимальная	современная	
Южный белый носорог (ЮАР)	Десятки тысяч	10 1900 г.	3000 1984 г.	Запрет охоты, размножение в неволе, расселение, организация заповедников
Белохвостый гну (ЮАР)	То же	300 (на ферме) 1900 г.	Несколько тысяч 70-е годы	Расселение, охрана в местах выпуска
Коала (Австралия)	Несколько сот тысяч	Несколько сот 1937 г.	Более 60 тыс. 70-е годы	Охрана местообитаний, запрет охоты
Гавайская казарка (США)	Около 25 тыс.	30 1952 г.	900 1980 г.	Размножение в неволе, реинтродукция в природу
Лебедь-трубач (США)	Десятки тыс.	69 1932 г.	Более 2200 1966 г.	Охрана на перелетах и зимовках, создание центров размножения
Чомга (Великобритания)	Около 20 тыс.	Около 2500 1955 г.	Более 6000 1975 г.	Приспособление птиц к гнездованию в искусственных водоемах
Лейсанский чирок (США)	Тысячи	6 1911 г.	Более 600 60-е годы	Уничтожение кроликов, охрана, разведение в неволе, реинтродукция

\* До начала подавляющего антропогенного воздействия.

странах положение весьма различно (табл. 19). Практически во всех регионах планеты площадь охраняемых территорий непрерывно растет.

Таблица 19

Относительная площадь системы особо охраняемых природных территорий (ООПТ) в некоторых странах мира (по: Яблоков, Остроумов, 1983, с дополнениями)

Страна	Площадь, в % территории страны		Год
	всей системы ООПТ	заповедников *	
ФРГ	20,0	0,67	1981
Япония	14,0	0,20	1975
Нидерланды	15,0	5,70	1983
Руанда	15,0	10,43	1984
Новая Зеландия	16,8	8,00	1981
ЧССР	13,5	1,42	1982
США	12,0	1,20	1975
Зимбабве	11,8	6,80	1975
ГДР	?	0,90	1984
Великобритания	10,0	0,56	1982
СССР	8,0	0,61	1984
Куба	7,5	?	1982
Кения	7,5	4,38	1984
Франция	7,5	0,70	1982
Венгрия	4,63	1,01	1983
Болгария	1,45	0,63	1982

\* И приравненных к ним по режиму охраны.

За приведенными средними цифрами в крупных странах скрываются весьма различные ситуации в разных частях страны. Это хорошо видно на примере СССР (табл. 20).

Особо охраняемые природные территории являются ключевым звеном в организации охраны большого числа видов животных и растений. Их площадь постоянно растет, однако приходится помнить, что подавляющее большинство заповедников (и природных парков) по территории таково, что не в состоянии обеспечить жизненное пространство для популяций млекопитающих и птиц с крупными размерами тела (Сулей, Уилкоккс, 1983). Из этого положения должен быть сделан один существенный вывод: если мы хотим сохранить в наших заповедниках на длительный срок крупных животных, необходимо разработать и осуществлять специальные мероприя-

Таблица 20

Относительная площадь особо охраняемых природных территорий в республиках

Республика	Площадь	
	заповедников и природных парков	всей системы ООПТ (без лесов первой группы)
Эстонская ССР	2,63	6,7 (1983)
Армянская ССР	2,61	? (1981)
Туркменская ССР	2,23	3,35 (1984)
Азербайджанская ССР	1,85	? (1982)
Грузинская ССР	1,73	? (1982)
Латвийская ССР	1,62	5,0 (1981)
Белорусская ССР	1,14	15,6 (1984)
Литовская ССР	0,73	4,7 (1983)
Узбекская ССР	0,62	? (1982)
Украинская ССР	0,88	? (1982)
РСФСР	0,47	? (1981)
Таджикская ССР	0,44	? (1981)
Киргизская ССР	0,31	2,1 (1983)
Молдавская ССР	0,29	15,4 (1984)
Казахская ССР	0,31	? (1982)

тия по поддержанию их популяций в жизнеспособном состоянии. Такими мероприятиями могут быть обмен генетическим материалом между разными заповедниками, снижение пресса естественного отбора в первые годы жизни, создание буферных зон вокруг заповедников и т. п. Это означает, что мы должны в ряде случаев вмешиваться в жизнь животных в заповедниках, не пытаясь оставлять их нетронутыми, как эталоны неизменной природы. Впрочем, такими эталонами заповедные территории уже не могут быть и потому, что ныне глобальное антропогенное влияние неизбежно сказывается в любом уголке Земли.

Как ни велико значение собственно заповедников в деле охраны живой природы, несомненно, что одни лишь заповедники мало что могут сделать в этом направлении. Поэтому правильнее при оценке перспектив охраны живого рассматривать всю систему ООПТ. В СССР в эту систему входят заказники разных типов, природные парки, памятники природы, различного рода леса первой группы, курортные и зеленые зоны вокруг крупных городов и т. д. Общая площадь этих территорий составила в СССР в 1980 г. около 8,0 % (см. табл. 19).

Говоря о создании сети заповедных территорий, надо отметить одно обстоятельство, относящееся в первую

очередь к сильно освоенным человеком регионам, где создание заповедников обычного типа затруднено. В некоторых случаях, по-видимому, было бы целесообразно создавать «пятнистые» заповедники, состоящие из архипелага нескольких мелких участков, вкрапленных в преобразованные территории. В таких условиях заповедные территории могут быть станциями переживания, размножения и отдыха животных, а также местами подкормки. Так и было сделано на небольшом единственном заповедном участке на о-ве Ириомоте (из группы островов Рюкю, Япония) для ириомотейской кошки: этот заповедник сам по себе не может обеспечить защиту популяции кошки и служит лишь неким центром для проведения природоохранных мероприятий. Во всех регионах мира имеются широкие возможности для создания таких небольших «микрозаповедников» площадью до нескольких гектаров. Особенно эффективны также микрозаповедники для охраны беспозвоночных и мелких позвоночных, а также для защиты уникальных гнезд, нор и других *критических местообитаний*.

Даже при самом благоприятном для создания охраняемых территорий развитии событий в обозримом будущем нельзя рассчитывать на то, что под заповедниками будет площадь много выше 5% территории. Поэтому первостепенным по важности становится возможность сосуществования живой природы и человека на одной территории, бок о бок. Здесь существуют разнообразные и обычно недостаточно оцениваемые обнадеживающие тенденции. Они связаны в первую очередь с экологизацией всей жизни общества, в том числе с экологизацией сельского, лесного и промыслового хозяйства, рекреации, урбанизации и т. д. Рассказ об этих тенденциях увел бы нас далеко от темы настоящей книжки, и мы отсылаем заинтересованных читателей к нашей предыдущей работе (Яблоков, Остроумов, 1983). Здесь же мы отметим только два из многих мероприятий в этой области.

Первое из них связано с наметившейся определенной тенденцией резкого сокращения добывания редких и исчезающих видов животных и растений. В СССР это подтвердил и Совет Министров СССР Постановлением от 12 апреля 1983 г. «О Красной книге СССР», установивший, что добывание животных и растений тех видов, которые занесены в Красную книгу СССР, а также сбор гнезд, яиц, плодов, семян, частей и продуктов этих животных и растений может производиться только в иск-

лючительных случаях и по специальному разрешению. Второе касается разработки путей борьбы с загрязнением среды, и в частности, путей и способов биодegradации загрязнителей. Как известно, большинство ныне используемых технологических средств борьбы с загрязнением лишь отодвигают, как правило, нежелательный эффект загрязнения, но не ведут к ликвидации загрязнения. Так, сверхвысокие трубы, например, лишь рассеивают загрязнения на большей территории, а дисперсанты, применяемые для борьбы с нефтяным загрязнением водоемов, оказываются даже более опасными для живых существ, чем нефтепродукты. Возможно, что принципиально новое решение проблем загрязнения дает использование биотехнологии — биотрансформации и биоаккумуляции загрязнений.

Биотрансформация загрязнений уже давно практически применяется во многих способах очистки сточных вод посредством использования так называемого активного ила — сложного комплекса разных микроорганизмов, водорослей и простейших, разлагающих (минерализующих) многие загрязнители. В результате специально проводимых ныне в широком масштабе селекционных работ в СССР и США удалось в несколько раз повысить эффективность очистки сточных вод. Эти работы являются прекрасным примером микроэволюционного подхода: на первых этапах работы исследователи (в СССР — группа ученых Института химической физики АН СССР под руководством И. А. Рапопорта) увеличили спектр наследственной изменчивости организмов, входящих в активный ил посредством воздействия мощными мутагенами, а затем в действие вступил интенсивный естественный отбор на выживаемость в условиях загрязнения разных сочетаний микроорганизмов. Эти выжившие сообщества организмов могут существовать при многократно более высоких концентрациях загрязнителей. Среди этих выживших сообществ проводится отбор на большую скорость минерализации загрязняющих веществ.

Учитывая тенденции повышения фонового уровня многих загрязнений в масштабах Земли, особое значение может приобрести явление биоаккумуляции поллютантов. Такая биоаккумуляция в сочетании с последующей биотрансформацией загрязнений (или другой технологией инактивации опасных веществ) показывает принципиально возможные пути управления качеством природной среды в будущем.

Другое направление борьбы с загрязнением связано с селекцией микроорганизмов и отбором штаммов, специально адаптированных к биодegradации определенных загрязнителей. Недавно американским ученым удалось выделить культуру бактерии *Pseudomonas* *serasia*, которая способна размножаться на субстрате хлорированных углеродов (к этим соединениям относится ДДТ и его производные, а также такой гербицид, как 2,4,5-Т — основной компонент достаточно известного препарата Эйджент-Орандж, использованного для уничтожения растительности во время военных действий США во Вьетнаме) и выделить из них до 90 % хлора в течение нескольких дней. Расчеты показали, что стоимость очистки загрязненных участков водоемов с помощью специальных бактериальных препаратов может составлять всего лишь 1/10 от стоимости их очистки другими способами.

Исследователям во Франции удалось недавно вывести микроорганизмы, способные быстро размножаться на субстрате нефтепродуктов. За несколько дней такие микроорганизмы способны очистить сильно загрязненные нефтью контрольные участки моря на 70—90 %.

В будущем, по-видимому, одним из важных требований при создании любых синтетических веществ, которые могут в широких масштабах использоваться в хозяйстве, будет требование их быстрой «деградельности» — способности минерализоваться и поступать вновь в биотический круговорот как под действием света и влаги, так и под действием биопрепаратов. Успехи в разработке таких запрограммированных на быстрое разрушение в природе веществ, после окончания срока службы предметов и материалов, уже есть.

### 3.2. Разведение в контролируемых условиях

Разведение под контролем человека быстро становится крайне важным путем сохранения все большего числа видов. По-видимому, не меньше чем для нескольких десятков форм животных разведение в неволе — сегодня единственная основа для их сохранения: они либо полностью исчезли в естественных местообитаниях, либо численность вида в неволе составляет уже значительную часть общей видовой численности (табл. 21).

Важность сохранения видов даже ценой искусственного поддержания их численности в неволе (зоопарках и ботанических садах, специальных центрах разведения

Таблица 21

Число особей в неволе для некоторых редких млекопитающих  
(по: Яблоков, Остроумов, 1983, с изменениями)

Вид, подвид	Число особей в неволе	% в неволе от общей численности	Год
Целебеская гигантская циветта	3	100	1981
Берберийский лев	9	100	1980
Суматранский тигр	90—100	100	1982
Красный волк (США)	46	100	1982
Олень Давида	986	100	1980
Лошадь Пржевальского	464	100	1982
Аравийский орикс	316	100*	1979
Аддакс	390	100?	1980
Зубр	2000	100,	1982
Белохвостый гну	Около 4000	полувольтные 100, включая полувольтных	1980
Южнокитайский тигр	Менее 50	65	1984
Амурский тигр	943	78	1980
Амурский леопард	42	50—60	1982
Тайванский пятнистый олень	333	53	1980
Орангутан	603	38	1980

\* В 1979—1983 гг. 41 экз. реинтродуцирован в природу.

и т. п.) настолько велика, что в последние годы зоопарки и ботанические сады во все большей степени становятся центрами по разведению редких видов. Об этом наглядно свидетельствует рост среднего числа особей каждого вида (при сокращении числа содержащихся видов) в ведущих зоопарках мира (табл. 22). В Вашингтонском зоопарке в 1983 г. 75% содержащихся животных родилось в неволе.

В ботанических садах Канберры и Претории содержится около 25% местной флоры. Доля локальной флоры, представленная в ботанических садах, может быть еще выше. Так, в калифорнийском ботаническом саду Ранчо Санта-Ана содержится около  $\frac{1}{3}$  местной флоры (1500 видов), а в ботаническом саду университета Британской Колумбии (США) такое же число видов представляет около половины флоры этой провинции. Только в коллекции сосен Института лесной генетики в Пласервиле (США) произрастает 72 вида (65,4%) общемирового числа видов этой группы. По оценке П. Рейвена, к на-

Таблица 22

Число животных в некоторых зоопарках (по: Яблоков, Остроумов, 1983, с дополнениями)

Зоопарк	Число видов	Число особей		Год
		всего	в среднем на 1 вид	
Нью-Йоркский (Бронкс)	1019	3104	3,0	1968
	598	3202	5,4	1980
Сан-Диего	1549	4933	3,2	1968
	1050	6500	6,2	1981
Вашингтонский	452	2294	5,1	1978
	428	2481	5,8	1980
Лондонский	1548	6727	4,3	1968
	1107	8941	8,1	1980
Антверпенский	1074	5114	4,8	1968
	1161	6818	5,9	1980
Московский	722	4161	5,8	1982
	1500	12 000	8,0	Проект
Джерсей	135	850	6,3	1978
	90	1000	11,1	1982

чалу 80-х годов все ботанические сады мира содержали около 35 тыс. видов, т. е. около 15% мировой флоры. Эти цифры показывают, что возможности ботанических садов в охране редких видов исключительно велики.

В практике спасения редких видов от полного уничтожения наметился и другой перспективный подход: создание специальных центров размножения редких видов. В нашей стране действует ряд таких центров: Окский государственный журавлиный питомник, Бухарский джейрановый питомник, Приокско-Тerrasный зубровый питомник и ряд других. В Индии и других странах существуют специальные питомники по разведению редких форм крокодилов, в Индонезии и Бразилии — приматов, на Галапагосских островах — гигантских черепахах, в Китае — по разведению кабарги и панды и т. д. Большое число аналогичных питомников в США, Канаде и Англии связано с разведением редких хищных и водоплавающих птиц. Порой подобные питомники создаются не только для поддержания численности редких видов, но и с коммерческими целями (фермерское разведение некоторых оленей, антилоп для охоты и т. п.). На протяжении десятилетий в СССР ведется активная работа по искусственному воспроизведению редких и ценных видов рыб. В результате

численность, например, белорыбицы (*Stenodus leucichthys*) возросла от нескольких тысяч до многих десятков тысяч. Ежегодно в 80-е годы в Каспийский бассейн выпускается более 100 млн. мальков осетровых рыб, выращиваемых на рыбоводных заводах.

При разведении в контролируемых условиях возникает возможность использования самых современных средств животноводства, таких, например, как искусственное оплодотворение, транспортировка и хранение замороженной спермы, трансплантация эмбрионов, стимуляция овуляции, использование особей других видов в качестве приемных родителей для сохранения всех появившихся на свет особей редких видов<sup>1</sup> и т. п.

Крайне важным для организации долгосрочных программ разведения редких животных в контролируемых условиях, оказывается всемирный учет особей редких видов, ведение их племенных книг и на этом основании — планирование схем скрещивания для минимизации последствий инбридинга (см. гл. IV, раздел 3). Такое реальное управление генетическими ресурсами уже осуществляется практически в глобальном масштабе по отношению к лошади Пржевальского, амурскому тигру, арабскому ориксу, индийскому носорогу, золотистой игрунке, окапи и многим другим видам.

Сравнительно новым явлением в мировой практике охраны животных стали так называемые «центры реабилитации». В этих центрах оказывается помощь пострадавшим (раненым и больным) животным. Только во Франции в 1980 г. было более 20 таких центров. В период 1975—1980 гг. и только через 10 из этих центров прошли 4179 «пациентов», из которых 33% остались в неволе (в связи с невозможностью для них жить на свободе), а 36% было выпущено на волю после полного излечения. При крупнейшем американском океанариуме «Морской мир» в г. Сан-Диего много лет существует центр реабилитации для морских млекопитающих. По соглашению с властями штата Калифорния туда поступают все найденные ранеными или в беспомощном состоянии морские млекопитающие с побережий Южной Калифорнии: морские львы, морские слоны, каланы, дельфины. Многие животные вполне излечиваются после травм: одна из спасенных таким образом косаток прожила затем в неволе

---

<sup>1</sup> У многих хищных птиц, например, второй птенец в природе обычно погибает в результате каннибализма.

7 лет и стала одной из лучших дрессированных косаток мира. Центры реабилитации могут оказаться важным звеном в системе мероприятий по охране животных уже потому, что с их помощью можно резко сократить специальный отлов редких животных, например, для пополнения зоопарков, научных целей и т. п.

### 3.3. Экологическая инженерия

Целенаправленные практические мероприятия, связанные с решением задач в области охраны живой природы посредством использования экологических подходов и методов, по-видимому, можно назвать *экологической инженерией* (по аналогии с понятием генетической инженерии в молекулярной биологии).

Простейшие формы экологической инженерии — разработка и осуществление научно обоснованных проектов по реакклиматизации и акклиматизации. Так, с целью наиболее надежной охраны немногочисленных представителей редких форм можно переселить их в места, менее подверженные антропогенному влиянию, и куда они не могли попасть в ходе естественного расселения. Часто такими естественными резерватами живого выбираются уединенные или сравнительно изолированные острова. На о-в Кейлейвит (Филиппины) была переселена группа ставших опасно малочисленными местных оленей-аксисов (*Axis calamensis*), а на о-в Кунашир (Курильские острова) — европейская порка, вытесняемая быстро распространяющейся по Евразии в последние десятилетия американской норкой.

Обнадеживающий успех сопутствовал переселению знаменитого мадагаскарского лемура ай-ай — единственного представителя сем. руконожек. К 1969 г. в природе оставалось всего около 50 особей. Однако в 1963 г. благодаря усилиям энтузиастов несколько руконожек были перевезены на о-в Нози Мангаба у северного побережья Мадагаскара. И вот в 1983 г. удалось обнаружить в природе первого детеныша ай-ай на этом острове.

Все шире практикуется реинтродукция исчезнувших в прошлом животных и растений в исконные местообитания. Последний арабийский орикс был убит в Центральном Омани в 1972 г. В 1979—1983 гг. 41 орикс из состава так называемого «мирового стада» этого вида (составленного по инициативе Всемирного фонда диких животных и МСОП путем учета всех ориксов, содержа-

щихся в неволе в разных странах мира) был реинтродуцирован в Оман и Иорданию. В 1981 г. в оманском стаде было отмечено появление первых новорожденных. Бабочка-голубянка *Licaena dispar batavus* исчезла из фауны Англии еще в 1851 г. в связи с широкомасштабным осушением болот и выжиганием растительности. Четыре раза предпринимались неудачные, экологически необоснованные, попытки реинтродуцировать этот подвид, но только в 1927 г. это удалось сделать. В первые годы после интродукции гусеницы воспитывались в садках, а в местах выпуска подсаживалось главное кормовое растение этой бабочки — один из видов щавеля (*Rumex hydrolapatum*). В результате спустя несколько лет этот подвид был полностью восстановлен в Англии (Израэль и др., 1979).

Атлантический лосось, который исчез из Рейна в 1958 г., был реинтродуцирован сюда в 1983 г. Обыкновенная рысь, исчезнувшая из фауны многих европейских стран в XVIII—XIX вв., к настоящему времени успешно реинтродуцирована в Швеции, ФРГ, Австрии, Югославии, а в 1983 г. — и во Франции. Правда, до создания настоящих, самоподдерживающихся популяций этого вида в Западной Европе еще далеко, но на уровне демов группы рысей могут, по всей видимости, благополучно существовать в этих странах на протяжении десятков лет, после чего потребуются проведение специальных биотехнических (по сути дела — инженерно-экологических!) мероприятий по поддержанию их жизнеспособности. Белые аисты исчезли в Швейцарии в 1950 г. В результате успешной реинтродукции из ФРГ и Франции к 1979 г. в Швейцарии загнездились уже 79 пар, которые вывели в общей сложности 131 птенца.

Во всех случаях успешной реинтродукции ей предшествовала большая экологическая работа, связанная как с созданием необходимых местообитаний, так и с подготовкой вселяемых животных (например, в случае реинтродукции рысей, которые были взяты частично из чехословацких зоопарков, потребовалось разработать комплекс мероприятий по обучению животных жить в природе).

Интереснейший инженерно-экологический проект был недавно успешно осуществлен шведскими учеными. В результате ежегодного массового отстрела малых казарок (*Anser erythropus*) на зимовках в Турции их численность в Швеции сократилась с 30 тыс. в 1953 г. до 200—300 особей в 1983 г. Несколько лет назад яйца части малых казарок были переложены в гнезда многочисленных



Рис. 30. Схема изменения мест зимовки малой казарки

1 — малая казарка; 2 — белошекая казарка; 3 — пути миграции

в Швеции белошеких казарок (*Branta leucopsis*), которые зимуют в сравнительной безопасности в Голландии. И вот в 1983 г. впервые в Стокгольме наблюдались 5 взрослых и 20 молодых малых казарок, вернувшихся с зимовки в Голландии (рис. 30). Сейчас аналогичный прием, связанный с изменением путей миграции, осуществляется в отношении некоторых редких журавлей в ходе совместных советско-американских работ по охране журавлей (Флинт, 1984).

Возможно, одним из направлений экологической инженерии станет создание новых биогеоценозов с заранее определенными комплексными функциями. Так, уже сейчас для доочистки сточных вод в некоторых случаях создаются специальные заболоченные участки или зарастающие макрофитами мелководные озера. Содержащиеся в сточных водах соединения фосфора и азота стимули-

руют рост водных растений. Такая искусственная экосистема озерно-болотного типа может служить прекрасным местообитанием для многих диких водоплавающих птиц. Так, например, на известных Люберецких и Люблинских полях орошения под Москвой (ныне в пределах Москвы) живут многие кулики, чайки, куропатки, утки, турухтаны, совы (на пролете останавливаются аисты, цапли, гуси, журавли), а также зайцы, лисы, ежи, хори, горностаи, ласки. Эти биоценозы сложились стихийно, без преднамеренного участия человека, но они указывают на возможный путь действия в области экологической инженерии.

Несомненно, широкое поле деятельности для экологической инженерии открывается в области рекультивации нарушенных земель (в результате разработок полезных ископаемых, торфодобычи, строительства и т. п.).

#### **3.4. Генетические банки и другие пути сохранения живого**

Широко известно то значение, которое придается теперь сохранению разнообразия сортов культурных растений. Знаменитая вавилонская коллекция мировых растительных ресурсов к 1940 г. насчитывала более 200 тыс. образцов. Сейчас в СССР Национальное хранилище мировых растительных ресурсов размещено на Кубанской станции ВНИИ растениеводства им. Н. И. Вавилова в Краснодарском крае. В 24 комнатах, расположенных глубоко под землей, при постоянной температуре  $+4,5^{\circ}\text{C}$  могут поместиться 400 тыс. образцов. Всего же в мире насчитывается ныне более 40 семенных банков, входящих в систему хранилищ Международного бюро по генетическим ресурсам растений, учрежденном Стокгольмской (1972 г.) конференцией по окружающей среде. В этих банках хранится более 1 млн. разновидностей сельскохозяйственных растений.

Банк семян не решает, однако, проблем сохранения генофонда всех растений, поскольку многие виды размножаются вегетативно. Но уже на сегодня разработанные методы глубокого замораживания тканей позволяют надеяться, что при условии сохранения меристем можно было бы сохранить генофонд значительно более широкого круга растений.

Сложнее обстоит дело с генетическим банком животных. Пока нет достаточно простых и универсальных спо-

собов сохранения генов животных. Оказалось, например, что сперма быка может храниться в замороженном виде десятилетиями, а сперма овец и лошадей — лишь несколько часов. В то же время принципиальная схема сохранения — и что не менее важно, — восстановления животных из консервированных половых и соматических клеток, зигот, гонад и эмбрионов уже разработана довольно полно (Вепринцев, Ротт, 1980). Созданы и первые банки замороженных клеток исчезающих видов животных: в Техасском медицинском центре, в зоопарке г. Сан-Диего, в Научном биологическом центре в г. Пущино-на Оке.

Кроме материальных трудностей, нет принципиальных препятствий к тому, чтобы система генетических банков для растений, животных, грибов и микроорганизмов в будущем многократно продублировала бы все богатство генетических ресурсов мира и в самом крайнем случае послужила бы резервом, «последней соломинкой» для восстановления утраченных в природе форм. Однако для превращения этой возможности в реальность нужны значительные материальные затраты и напряженная исследовательская работа.

В ближайшем будущем важным направлением в охране живой природы может стать целенаправленное введение в культуру и одомашнивание новых видов растений и животных — расширение спектра одомашненных и окультуренных видов. Ясно, что введение в культуру и одомашнивание являются падежными гарантиями достаточной численности и сохранения генофонда. Широко известно и то, что каждый вид может быть чем-то практически полезен. Отсюда возникает объективная возможность для введения в культуру все новых и новых форм живых организмов, особенно имея в виду быстрое расширение спектра интересов человеческого общества, возникновение многих совершенно новых отраслей хозяйства и производства.

До XX в. в культуре было, по-видимому, лишь несколько десятков (не более немногих сотен) видов комнатных растений. Сейчас их число превышает несколько тысяч (в том числе несколько полностью исчезнувших в природе). По-видимому, около 500 видов различных растений введены в культуру для получения фармакологических препаратов (только в СССР существует 27 специализированных совхозов, разводящих более 50 видов таких растений; 160 видов растений культивируется для

медицинских целей в Венгрии и т. д.). Около сотни видов растений разводятся специально для нужд парфюмерной промышленности. Число всех таких видов постоянно растет, и, учитывая традиционные пищевые и технические культуры, можно считать, что, по-видимому, несколько тысяч видов растений (возможно, свыше десятка тысяч) уже в настоящее время специально разводятся человеком.

Вот только один из последних примеров. В ряде стран начинает вводиться в культуру мексиканское растение хохоба, еще 10—12 лет тому назад известное лишь узкому кругу систематиков и местному населению. Оказалось, что семена этого растения способны давать ценный технический жир, практически аналогичный спермацету кашалотов (численность последних в Мировом океане резко сократилась в результате неумеренного промысла).

Широкие масштабы приобретает и одомашнивание новых форм животных. Оно связано, естественно, с получением каких-то новых полезностей от разводимых животных. Так например, оказалось, что в ряде регионов мира выгоднее разводить диких копытных, чем традиционные формы крупного рогатого скота. Это становится более понятным, если учесть, что буйволы, например, кормятся травой, достигающей высоты 26 см, зебры — около 20 см, антилопы гну — около 12 см, а носороги — всего 7 см. Ясно, что на одном участке африканской саванны может пастись, таким образом, богатое сообщество диких копытных, суммарная биомасса которых превосходит биомассу домашнего скота. Поэтому неудивительно, что в Африке ныне существует несколько тысяч ферм, ориентированных на коммерческое разведение канны, гну, бубалы, шпрингбока, импалы, большого куду, а также наиболее доверчивой из всех африканских антилоп — орикса. К концу 70-х годов в США также существовало несколько сотен ферм, связанных с коммерческим разведением ланей, муфлонов, оленей аксиса и пятнистого, гарны, нильгау, гривистого барана, зебр, лам, а также более 20 других видов млекопитающих. В нашей стране проделана значительная работа по domestикации пятнистых оленей, лосей, маралов. Капибара в Венесуэле и африканская хомяковая крыса в Нигерии представляют собой интересные примеры сравнительно мелких млекопитающих, одомашниваемых с целью получения пищевых продуктов. Велики масштабы и расширяется спектр фермерского разведения пушных млекопитающих: только в СССР в конце 70-х годов выращивалось ежегодно свыше

10 млн. пушных зверей, принадлежащих к десятку видов.

Из необычных объектов плантационного и фермерского разведения последних десятилетий назовем некоторых земляных червей, тысячи тонн которых ныне получают на Филиппинах и в ряде штатов США, используемые не только в качестве наживки для ловли рыбы, но и на корм при промышленном разведении креветок, угрей, лягушек. Плантации каучукового дерева, какао-бобов и пальм оказались удобными местами для сочетания с фермерским разведением африканской гигантской улитки ахатины (*Achatina* sp.), каждая из которых дает около 200 г вкусного мяса. В Бразилии, на Тайване, в Папуа-Новой Гвинее распространено фермерское разведение десятков видов тропических бабочек для коллекций и сувениров.

В широком масштабе новые виды животных и растений вовлекаются в хозяйство человека в рамках аквакультуры. Нельзя сбрасывать со счетов и любительское разведение с эстетическими целями многих видов рыб, певчих птиц и др. Вероятно, численность некоторых видов аквариумных рыб, ныне содержащихся в домах, во много раз превышает их естественную численность в природе.

В целом, однако, можно считать, что как бы ни были многочисленны уже введенные в наше хозяйство и одомашненные (или находящиеся на пути к одомашниванию в широком смысле слова) виды животных, перспективы в этой области очень широкие и этот процесс одомашнивания, несомненно, поможет сохранению разнообразия форм живой природы.

Выше перечислены далеко не все современные подходы к сохранению многообразия форм живого: мы не сказали о перспективах использования урбанизированных территорий, не затронули проблему придорожных местообитаний как резерватов живого, не коснулись крайне важного практически вопроса о переходе от монокультур к поликультурам в сельском и лесном хозяйстве, не сказали о целом ряде других перспективных путей сохранения живого (заинтересованного читателя мы вновь вынуждены отослать к нашей работе — Яблоков, Остроумов, 1983). Но и приведенных здесь примеров достаточно для утверждения о существовании целого спектра путей человеческой деятельности, крайне перспективных для сохранения многообразия живого, и для оптимистического

в целом вывода о возможности положительного решения большинства из поднятых в предыдущих главах проблем охраны живой природы.

### 3.5. Естественное повышение резистентности

Причиной вымирания многих видов под антропогенным давлением оказывается резкое расхождение скоростей антропогенного изменения среды и обычного, выработанного на протяжении сотен миллионов лет, темпа эволюционного процесса. Если бы те же опасные для живого химические вещества накапливались в среде не быстро, а постепенно, на протяжении достаточно большого числа поколений, то естественный отбор, возможно, смог бы на основе наследственной изменчивости сформировать новые, более устойчивые формы организмов. В некоторых случаях это происходит и сегодня. Широко известно увеличение числа видов беспозвоночных, устойчивых к инсектицидам (см. рис. 23). Сейчас общее число таких видов составляет не менее 450. К сожалению, все это виды, либо наносящие ущерб сельскому и лесному хозяйству, либо виды—переносчики и хранители возбудителей опасных заболеваний. Против всех этих видов человек применял различные, все возрастающей концентрации химические соединения. Резкое убыстрение процесса выработки приспособлений к поражающим веществам (убыстрение процесса их эволюции) произошло фактически по вине человека: мы сначала сами создали условия для их невиданного в прошлом, в природных условиях, массового размножения, например, монокультурное сельское хозяйство.

При таком массовом размножении, вызванном благоприятными условиями антропогенной среды, среди очень большого числа особей всегда находились устойчивые к применяемым веществам. Они-то и оказывались источниками новых массовых вспышек, при которых резистентность вновь завоевывавших наши поля насекомых оказывалась все выше и выше. Этот процесс был экспериментально прослежен в лабораториях, и удалось даже вывести линии дрозофил, которые не только выживали при высоких концентрациях ДДТ, но и не могли жить в среде, лишенной этого препарата! Распространение нечувствительности к действующим первоначально смертельным препаратам хорошо иллюстрируется историей распространения так называемых «суперкрыс» в Западной Европе.

Антикоагулянт (вещество, вызывающее несвертываемость крови) варфарин обладал, казалось бы, всеми необходимыми качествами идеального дератизационного препарата: гибель крыс была поголовной. Но вскоре в разных частях Англии стали появляться крысы, нечувствительные к варфарину, — суперкрысы. Генетические исследования, проведенные впоследствии, показали, что нечувствительность возникала каждый раз на разной генетической основе — по меньшей мере семь разных генов оказались способными дать мутации, повышающие чувствительность крыс к данному препарату. Со средней скоростью около 7 км/год нечувствительные к варфарину крысы быстро распространились по всей Великобритании и ныне численность крыс там не меньше, а, пожалуй, выше, чем до применения варфарина.

Повышение резистентности в результате естественного отбора коснулось и некоторых видов растений. В обычных условиях концентрации свинца, меди и цинка выше 1 : 1 млн. подавляют рост растений (см. гл. III). В Уэльсе, в окрестностях заброшенных шахт, концентрации этих металлов достигали 1 : 100—1 : 4000, и там тем не менее росли травы 21 вида (полевицы, душистый колосок и др.). Как показали специальные полевые и лабораторные эксперименты, это произошло в результате сильного давления естественного отбора, выработавшего устойчивые формы растений из единичных генетически устойчивых особей за считанное число поколений (Berry, 1983).

Во всех случаях возникновения резистентности к загрязнителям главной причиной было наличие генетически отличных от остальных и случайно оказавшихся устойчивыми к данному виду загрязнения среды особей, то есть достаточная многочисленность исходных популяций. Фактором, способствующим выработке приспособлений, оказывалось и постепенное повышение концентрации действующего вещества: малые дозы инсектицидов для насекомых или удаленность от источника загрязнения у растений вокруг шахт. По-видимому, для многочисленных форм с частой сменой поколений процесс приспособления к антропогенным изменениям среды будет наблюдаться в самых разных природных условиях по мере дальнейшего возрастания глобального или локального загрязнения. Можно даже представить, что глобальное загрязнение среды некоторыми мутагенами в некоторых случаях способно, — несколько увеличив темп обычного мутационного процесса, — ускорить процесс выработки подобных

устойчивых форм, дав для отбора более широкий набор исходных мутаций. Подчеркнем, что такой путь адаптации к антропогенным условиям возможен, как правило, лишь для численно больших популяций.

На этом эволюционный путь приспособления некоторых видов к растущему антропогенному загрязнению биосферы до сих пор обращало мало внимания, хотя он заслуживает хотя бы ориентировочной оценки уже потому, что результаты его могут сказаться неожиданно в самых разных уголках Земли.

#### 4. Новое отношение к природе

Отношение человека к природе, в том числе и к живой природе, является одной из форм общественного сознания и определяется нравственными установками общества. Сейчас мы не обращаем внимания на уровень опасности гибели каждого из нас от стихийного бедствия — молнии, наводнения, землетрясения.

Сейчас уровень смертности, связанный с состоянием природной среды, в среднем по миру (учитывая вызванные средой заболевания), по-видимому, не менее 1 : 100 000, а местами и значительно выше. Именно поэтому, в частности, антропогенные факторы, вызывающие ухудшение природной среды, становятся определяющими или лимитирующими для некоторых направлений человеческой деятельности.

Гораздо труднее, чем это сделано по отношению к человеку, определить уровень заинтересованности общества в сохранении отдельной особи других организмов, иных, чем человек. Так, сегодня США считают возможным выделить на программу спасения калифорнийского кондора (их осталось около 25 в природе) сумму в 25 млн. долларов.

Ценность многих видов крупных млекопитающих в африканских заповедниках оказывается настолько высокой для государств, что они организуют эффективную охрану слонов и носорогов от браконьеров.

Д. Адамсон и многие десятки других защитников природы погибли, защищая жизнь редких животных.

Растущий успех общественного движения за охрану природы охватывает ныне не энтузиастов-одиночек, а миллионы людей во всех странах мира. В СССР только в РСФСР в рядах Всероссийского общества охраны природы в 1982 г. насчитывалось более 36 млн. человек. За

движения типа «зеленых» в западных странах ныне голо-  
суют миллионы избирателей. Опросы общественного мнени-  
я в 10 странах Западной Европы в 1984 г. показали,  
что 70—80 % населения беспокоят проблемы охраны  
окружающей среды.

Все эти факты отражают быстро идущую экологиза-  
цию сознания широких кругов населения во многих стра-  
нах, которая неизбежно должна положительно сказаться  
на решении большинства проблем охраны живой природы.  
Похоже, что человечество, действительно, как и предвидел  
В. И. Вернадский (см. раздел 2 этой главы), начинает  
и в отношении живой природы действовать и мыслить  
не только с позиций интересов и забот отдельной лич-  
ности, семьи или иных небольших групп людей, но и  
«в планетном аспекте».

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Известно, что если бросить лягушку в горячую воду, она мгновенно реагирует и сильным прыжком может выскочить из сосуда. Но если такую же лягушку посадить в холодную воду и постепенно, медленно нагревать сосуд, лягушка погибает незаметно для нее самой. Главной причиной написания этой маленькой книги была боязнь того, что человечество может оказаться в таком же положении. Биологам, больше чем другим специалистам, изучающим биосферу, видны многие конечные результаты того небывалого по масштабам антропогенного изменения среды, в котором мы все участвуем. В известной нам части Вселенной нет ничего, подобного биосфере нашей планеты. Существование человечества целиком зависит от состояния и работы биосферы. Данные, обсуждаемые в этой книге, однозначно говорят, что все «этажи» биосферы ныне оказываются уязвимыми для антропогенного влияния. Характер нашей человеческой деятельности таков, что естественные возможности репарации биосферы близки к пределу, а во многих случаях этот предел достигнут или превзойден.

В то же время начиная с начала 70-х годов XX в. стало ясно, что усиление воздействия общества на природу приводит к усилению ответного воздействия изменившихся параметров природы на общество. Выход из этого положения только один: забота об охране окружающей среды (и едва ли не в первую очередь — о сохранении качественного разнообразия живого), которая оказывается не препятствием, а необходимым *условием*, жизненно важной предпосылкой дальнейшего развития общества.

Экологизация всех сторон деятельности общества составляет содержание современного этапа перехода биосферы в ноосферу; широкое осознание этой тенденции должно убыстрить путь к ноосфере. Преступлением грядущими поколениями будет расценена такая наша деятельность, при которой игнорируются ее долгосрочные экологические последствия, и прежде всего — влияние на живую природу планеты. Если, прочтя эту книгу, читатель согласится с этими выводами, — первая задача авторов будет выполнена. Если же читатель задумается над своей собственной деятельностью в свете сказанного выше, — будет выполнена и вторая главная задача книги.

## ЛИТЕРАТУРА

- Алпатьев А. М. Развитие, преобразование и охрана природной среды: Проблемы. Аспекты. Л.: Наука, 1983. 240 с.
- Барбье М. Введение в химическую экологию. Пер. с англ. М.: Мир, 1978. 229 с.
- Благосклонов К. Н. Охрана и привлечение птиц. М.: Просвещение, 1972. 240 с.
- Большаков В. Н. Экологическое прогнозирование. М.: Знание, 1983. 64 с.
- Вепринцев Б. Н., Ротт Н. Н. Консервация генетических ресурсов. Пушино, 1980. Вып. 1. 69 с.; Вып. 2. 19 с.
- Гиляров М. С. Биогеоценология и агроценология. Пушино, 1980. 18 с.
- Головлева Л. А., Скрябин Г. К. Кометаболизм чужеродных соединений микроорганизмами. — В кн.: Миграция и превращения пестицидов в окружающей среде/Под ред. С. Г. Малахова, В. А. Борзилова. М.: Гидрометеиздат, 1979, с. 40—46.
- Дарелл Дж. Ковчег на острове. Пер. с англ. М.: Мир, 1982. 128 с.
- Дежкин В. В. Охота и охотничье хозяйство мира. М.: Лесн. пром-сть, 1983. 359 с.
- Жаворонков Н. М., Зуев Е. Я. Охрана охотничьих животных в СССР. М.: Лесн. пром-сть, 1983. 168 с.
- Заповедники СССР/Под ред. А. М. Бородина, Е. Е. Сыроечковского. М.: Лесн. пром-сть, 1983. 248 с.
- Израэль Ю. А., Филиппова Л. М., Семевский Ф. Н., Инсаров Г. Э., Семенов С. М. О некоторых теоретических аспектах экологического мониторинга состояния природной среды. — В кн.: Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. Л.: Гидрометеиздат, 1979, т. 2, с. 7—29.
- Исаков Ю. А., Казанская Н. С., Панфилов Д. В. Классификация, география и антропогенная трансформация экосистем. М.: Наука, 1980. 227 с.
- Казначеев В. П. Очерки теории и практики экологии человека. М.: Наука, 1983. 262 с.
- Ковда В. А. Аридизация суши и борьба с засухой. М.: Наука, 1977.
- Коммонер Б. Замыкающийся круг: Природа, человек, технология. Пер. с англ. Л.: Гидрометеиздат, 1974. 326 с.
- Комплексный глобальный мониторинг загрязнения окружающей природной среды/Под ред. Ю. А. Израэля. Л.: Гидрометеиздат, 1982.
- Красная книга СССР: Редкие и находящиеся под угрозой исчезновения виды животных и растений. М.: Лесн. пром-сть, 1984. Т. 1. 492 с. Т. 2. 478 с.
- Куллини Дж. Леса моря: Жизнь и смерть на континентальном шельфе. Пер. с англ. Л.: Гидрометеиздат, 1981. 280 с.
- Курдюков В. В. Последствие пестицидов на растительные и животные организмы. М.: Колос, 1982. 128 с.

- Лежачий Р. К.* Химический мутагенез и загрязнение окружающей среды. Вильнюс: Моклас, 1983. 224 с.
- Миграция и превращения пестицидов в окружающей среде / Под ред. С. Г. Малахова, В. А. Борзилова. М.: Гидрометеоздат, 1979. 160 с.
- Никитин Д. П., Новиков Ю. В.* Окружающая среда и человек. М.: Выш. шк., 1980. 424 с.
- Николишин И. Я., Вронская Г. Н., Алексеева И. Г.* Исторический мониторинг состояния загрязнения окружающей природной среды (обзор методов). — В кн.: Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. Л.: Гидрометеоздат, 1979, т. 2, с. 125—133.
- Об охране и использовании животного мира: Закон Союза ССР. — Ведомости Верхов. Совета СССР, 1980, № 27, Ст. 530, с. 537—552.
- Остроумов С. А.* Проблемы биохимии и защиты среды: В поисках регуляторов. — Человек и природа, 1984, № 4, с. 11—69.
- Охрана генофонда природной флоры / Под ред. Л. И. Малышева. Новосибирск: Наука, 1983. 192 с.
- Павлов Д. С., Пахорук А. М.* Биологические основы защиты рыб от попадания в водозаборные сооружения. М.: Легкая и пищевая промышленность, 1983. 264 с.
- Парнес Т. Л., Сысоева В. С., Иотемкина Е. А.* Охрана природы: Библиогр. указ. отеч. лит., 1977—1981. М.: Изд-во МГУ, 1982. 150 с.
- Пашин Ю. В., Коваченко В. И., Зацепилова Т. А., Бахитова Л. М.* Химические мутагены окружающей среды. М.: Наука, 1983. 204 с.
- Песков В.* Птицы на проводах. М.: Мол. гвардия, 1982. 304 с.
- Пианка Э.* Эволюционная экология. Пер. с англ. М.: Мир, 1981. 399 с.
- Применение химических мутагенов в защите среды от загрязнений и в сельскохозяйственной практике / Под ред. И. А. Рапопорта. М.: Наука, 1981. 270 с.
- Протасов В. Р.* Физические поля антропогенного происхождения на акваториях. — Вестн. АН СССР, 1982, № 9, с. 71—79.
- Разведение и создание новых популяций редких и ценных видов животных. Тез. докл. III совещ., 27—29 сентября 1982, г. Ашхабад. 1982. 188 с.
- Рамад Ф.* Основы прикладной экологии: Воздействие человека на биосферу. Пер. с фр. Л.: Гидрометеоздат, 1981. 544 с.
- Редкие и исчезающие виды природной флоры СССР, культивируемые в ботанических садах и других интродукционных центрах страны / Под ред. П. И. Лапина. М.: Наука, 1983, 303 с.
- Редкие насекомые / Под ред. С. А. Мирзояна. М.: Лесн. пром-сть, 1982. 168 с.
- Редкие и исчезающие виды флоры СССР, нуждающиеся в охране. Л.: Наука, 1981. 263 с.
- Реймерс Н. Ф., Штильмарк Ф. Р.* Особо охраняемые природные территории. М.: Мысль, 1978. 296 с.
- Санюцкий И. В., Сальников Л. С.* Вопросы эмбриотопного действия химических факторов внешней среды. — В кн.: Экологическое прогнозирование. М., Наука, 1978, с. 236—260.
- Сидоренко Г. И.* Окружающая среда и здоровье населения. — В кн.: Материалы заседания, посвященного Всемирному дню окружающей среды 4 июня 1980 г. М.: ВИНТИ, 1981, с. 18—27.

- Судей М., Уилкокс Б.* Биология охраны природы. Пер. с англ. М.: Мир, 1983. 432 с.
- Тихомиров В. Н.* Организационные проблемы научных исследований по охране растительного мира. — Вестн. АН СССР, 1980, № 3, с. 40—46.
- Степанский Г. А.* Токсикологические аспекты blastomогенных загрязнений окружающей среды. — В кн.: Итоги науки и техники. Токсикология. М.: ВИНТИ, 1978, т. 9.
- Федоров Е. К.* Взаимодействие природы и общества. Л.: Гидрометеоздат, 1972. 88 с.
- Флинт В. Е.* Охрана животного мира: Новые задачи. — Охота и охотничье хоз-во, 1984, № 1, с. 1—3.
- Шипунов Ф. Я., Степанов А. М., Фролов В. А.* Загрязнение биосферы в северном полушарии на фоновом уровне. — В кн.: Антропогенные нарушения и природные изменения экосистем. М., 1981, с. 7—28.
- Экологическое прогнозирование / Под ред. В. Е. Соколова. М.: Наука, 1979. 280 с.
- Яблоков А. В., Остроумов С. А.* К теории охраны живой природы: От проблем — к решению. — Человек и природа, 1982, № 7, с. 7—64.
- Яблоков А. В., Остроумов С. А.* Охрана живой природы: Проблемы и перспективы. М.: Лесн. пром-сть, 1983, 272 с.
- Vene J.* Radioaktive Kontamination der Biosphäre. Jena: VEB G. Fisher Verl., 1981. 206 S.
- Berry R. J.* Environmental ethics and conservation action. — In: The conservation and development programme for the U. K.: A response to the World conservation strategy. L., 1983, p. 407—438.
- Bourdeau P., Treshow M.* Ecosystem response to pollution. — Principles Ecotoxicol., 1978, N 5, p. 79—88.
- Conservation of threatened plants. N. Y.: Plenum press, 1976. 336 p.
- Dagani R.* Aquatic toxicology matures, gains importance. Conserv. and Environment, 1980, N 6, p. 18—73.
- Ehrlich P., Ehrlich A.* Extinction: The causes and consequences of the disappearance of species. N. Y.: Random House, 1981. 305 p.
- Florence T.* Trace element speciation and aquatic toxicology. Trends in analytical chemistry, 1983, vol. 2, N 7, p. 162—166.
- Frankel O. H., Soulé M. E.* Conservation and evolution. Cambridge: Univ. press, 1981. 327 p.
- Helander B.* Reproduction of the White-tailed sea eagle *Haliaeetus albicilla* (L.) in Sweden, in relation to food and residue levels of organochlorine and mercury compounds in the eggs. Stockholm, 1983. 192 p.
- Hilemann B.* Radiofrequency and microwave radiation. — Environ. Sci. and Technol., 1982, vol. 16, N 8, p. 442—444.
- Honegger R. E.* Threatened amphibians and reptiles in Europe. Strasbourg, 1978. 123 p.
- Inskipp T., Wells S.* International trade in wildlife: Publ. Intern. inst. for environment and development. L., 1979, 104 p.
- Lande O., Nobel P., Osmond C., Zieger H.* Ecosystem processes: Mineral cycling, productivity and man's influence. B.: Springer-Verl., 1983. 239 p.
- Lelek A.* Threatened freshwater fishes of Europe. Strasbourg, 1980. 269 p.

- MacArthur R. H., Wilson E. O.* The theory of island biogeography. Princeton: Univ. press, 1967. 203 p.
- Meyers Th. R., Hendricks J. D.* A summary of tissue lesions in aquatic animals. induced by controlled exposures to environmental contaminations chemoterapeutic agents. and potential carcinogens. — Mar. Fish. Rev., 1982, vol. 44, N 12, p. 1—17.
- Moriarty F.* Ecotoxicology: The study of pollutants in ecosystems. L.: Acad. press, 1983. 233 p.
- Myers N.* A welath of wild species: storehouse for human welfare. Boulder: Westview Press, 1983. 300 p.
- Neely W. B.* Chemicals in the environment: Distribution, transport, fate, analysis. N. Y.: Dekker Publ., 1980. 303 p.
- Nilsson G.* The bird business: A study of the commercial cage bird trade. Wash.: Anim. Welfare Inst. Publ. 1981. 121 p.
- Nilsson G., Stevens C., Gleiber J.* Facts about furs. Wash.: Anim. Welfare Inst. Publ., 1980. 258 p.
- Nilsson G.* The endangered species handbook. Wash.: Anim. Welfare Inst. Publ., 1983. XIII+245 p.
- Odlisjö T.* Eggshell thickness and levels of DDT, PCB and mercury in eggs of osprey (*Pandion haliaetus* L.) and marsh harrier (*Circus aeruginosus* L.) in relation to their breeding success and population status in Sweden. Stockholm, 1982. 150 p.
- Olsson M.* Mercury, DDT and PCB in aquatic test organisms. Stockholm: Swedish Museum of Natural History, 1977. 139 p.
- Ostroumov S. A., Vorobiev L. N.* Membrane potential and surface charge densities as possible generalized regulators of membrane protein activities. — J. Theor. Biol., 1978, vol. 55, p. 289—297.
- Parslow J. L. F., Everett M. J.* Birds in need of special protection in Europe. Strasbourg, 1981. 154 p.
- Peterken G. F.* Woodland conservation and management. N. Y.: Chapman and Hall, 1981. 328 p.
- Red Data Book: IUCN. Morges; Gland: Intern. Union for Conserv. of Nature. Vol. 1. Mammalia. 1978; Vol. 2. Aves. 1979; Vol. 3. Amphibia and reptilia. 1979; Vol. 4. Pisces. 1978; Vol. 5. Plant Red Data Book. 1978; Invertebrates Red Data Book. 1983.
- Simberloff D. S., Abele L. G.* Island biogeography: Theory and conservation practice. — Science, 1975, vol. 191, p. 285—287.
- Smith C. J., Van Wijngaarden A.* Threatened mammals in Europe. Strasbourg, 1976. 189 p.
- Ten years after Stockholm. Nairobi: UNEP, 1982. 63 p.
- The biological aspects of rare plant conservation / Ed. H. Synge. N. Y.: Wiley Intersci., 1981. 558 p.
- Turco R. P., Toon O. B., Ackerman T. P.* et al. Nuclear winter: Global consequences of multiple nuclear explosions. — Science, 1983, vol. 222, N 4630, p. 1283—1292.
- World conservation strategy: Living resources conservation for sustaible development. Gland: INCN—UNEP—WWF, 1980, 48 p.+5 maps.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

	Предисловие . . . . .	3
	Введение . . . . .	5
Глава	I. Биосфера сегодня: масштабы антропогенного воздействия . . . . .	9
	1. Использование территории планеты . . . . .	9
	2. Использование некоторых природных ресурсов и загрязнение биосферы . . . . .	11
	3. Заключение . . . . .	19
Глава	II. Молекулярно-генетический уровень . . . . .	20
	A. Воздействие на структурно-функциональные системы клетки . . . . .	21
	1. Воздействие на генетические системы . . . . .	21
	2. Воздействие на биомембраны . . . . .	31
	3. Воздействие на белково-ферментные системы . . . . .	34
	Б. Биотрансформация и биodeградация загрязняющих веществ . . . . .	39
	1. Биотрансформация загрязняющих веществ в организме животных . . . . .	40
	2. Биотрансформация загрязняющих веществ в растениях . . . . .	45
	3. Биотрансформация загрязняющих веществ в биокосных системах . . . . .	45
	4. Заключение . . . . .	49
Глава	III. Онтогенетический уровень . . . . .	50
	1. Изменения в эмбриогенезе . . . . .	51
	2. Нарушение процессов роста . . . . .	54
	3. Нарушение процессов размножения . . . . .	56

4. Нарушение метаболизма, отравления и заболевания . . . . .	60
5. Заключение . . . . .	74
<b>Глава IV. Популяционно-видовой уровень . . . . .</b>	<b>76</b>
1. Характеристика исчезновения видов . . . . .	77
1.1. Исчезающие растения, лишайники, грибы . . . . .	77
1.2. Исчезающие беспозвоночные . . . . .	80
1.3. Исчезающие рыбы . . . . .	81
1.4. Исчезающие амфибии . . . . .	81
1.5. Исчезающие рептилии . . . . .	82
1.6. Исчезающие птицы . . . . .	82
1.7. Исчезающие млекопитающие . . . . .	84
2. Причины исчезновения видов . . . . .	85
2.1. Разрушение местообитаний . . . . .	88
2.2. Чрезмерное добывание . . . . .	90
2.3. Влияние вселенных видов . . . . .	97
2.4. Специальное уничтожение . . . . .	100
2.5. Случайное (непреднамеренное) уничтожение . . . . .	101
3. Значение особенностей популяций и видов для охраны живой природы . . . . .	107
3.1. Популяционные особенности . . . . .	107
3.2. Значение структуры и типологии видов . . . . .	115
4. Заключение . . . . .	116
<b>Глава V. Биогеоценологически-биосферный уровень . . . . .</b>	<b>117</b>
1. Изменение структуры биогеоценозов . . . . .	118
2. Нарушение межвидовых взаимодействий . . . . .	120
2.1. Нарушение пищевых цепей и других биогенотических связей . . . . .	121
2.2. Нарушение баланса между видами . . . . .	124
3. Нарушение экологических связей в результате разрушения информационных потоков . . . . .	127
4. Уничтожение некоторых типов биогеоценозов и растительного покрова в целом . . . . .	128
5. Перенос токсических веществ мигрантами . . . . .	129
6. Перенос по пищевым цепям и биоаккумуляция загрязнений . . . . .	130
7. Кислые осадки . . . . .	133
8. Изменение первичной продуктивности . . . . .	134
9. Заключение . . . . .	137
<b>Глава VI. А что завтра? . . . . .</b>	<b>138</b>
1. Связь проблем охраны живой природы с другими глобальными проблемами . . . . .	139

2. Снижение темпов загрязнения биосферы	141
3. Пути сохранения живой природы . . . . .	145
3.1. Охрана живых существ в природных местообитаниях . . . . .	145
3.2. Разведение в контролируемых условиях	153
3.3. Экологическая инженерия . . . . .	157
3.4. Генетические банки и другие пути сохранения живого . . . . .	160
3.5. Естественное повышение резистентности	164
4. Новое отношение к природе . . . . .	166
Заключение . . . . .	168
Литература . . . . .	169

**Алексей Владимирович Яблоков,  
Сергей Андреевич Остроумов**  
**УРОВНИ ОХРАНЫ  
ЖИВОЙ ПРИРОДЫ**

Утверждено к печати редколлегией  
серии научно-популярной литературы  
Академии наук СССР

Редактор издательства А. М. Гидалевич  
Художник Б. Е. Захаров  
Художественный редактор Н. А. Фильчагина  
Технический редактор И. В. Бочарова  
Корректоры В. А. Нарядчикова, Е. Л. Сысоева  
ИБ № 28871

Сдано в набор 03.01.85.

Подписано к печати 11.04.85.

T-01087. Формат 84×108<sup>1/32</sup>.

Бумага типографская № 2.

Гарнитура обыкновенная новая.

Печать высокая.

Усл. печ. л. 9,24. Усл.кр.- отт. 9,56. Уч.-изд. л. 10,0.

Тираж 15 500 экз. Тип. зак. 7.

Цена 60 коп.

Ордена Трудового Красного Знамени  
издательство «Наука»  
117864 ГСП-7, Москва В-485  
Профсоюзная ул., 90

Ордена Трудового Красного Знамени  
Первая типография издательства «Наука»  
199034 Ленинград, В-34, 9 линия, 12



**КУРАШВИЛИ Б. Е.**

**Охрана и рациональное использование животного мира в Грузии —**

**10 л.**

Животный мир Кавказа, хорошо представленный в Грузии, богат и своеобразен. Для кавказской фауны характерны реликтовые и эндемичные формы, например кавказская саламандра, шесть видов ящериц, два вида туров, кавказский тетерев и др. После принятия Закона СССР «Об охране и использовании животного мира» в Грузинской ССР были приняты энергичные меры по охране диких животных. В книге подведены итоги природоохранной деятельности в Грузии, намечены ее перспективы. Большое внимание уделено грузинским

заповедникам. Описаны редкие и исчезающие животные Кавказа. Для зоологов, ботаников, географов, охотоведов.

Заказы просим направлять по одному из перечисленных адресов магазинов «Книга почтой» «Академкнига»:

480091 Алма-Ата, 81, ул. Фурманова, 91/97; 370005 Баку, 5, ул. Джапаридзе, 13; 320093 Днепропетровск, проспект Ю. Гагарина, 24; 734001 Душанбе, проспект Ленина, 95; 252030 Киев, ул. Пирогова, 4; 277012 Кишинев, проспект Ленина, 148; 443002 Куйбышев, проспект Ленина, 2; 197345 Ленинград, Петрозаводская ул., 7; 220012 Минск, Ленинский проспект, 72; 117192 Москва, В-192, Мичуринский проспект, 12; 630090 Новосибирск, Академгородок, Морской проспект, 22; 620151 Свердловск, ул. Мамина-Сибиряка, 137; 700187 Ташкент, ул. Дружбы народов, 6; 450059 Уфа, 59, ул. Р. Зорге, 10; 720001 Фрунзе, бульвар Держинского, 42; 310078 Харьков, ул. Чернышевского, 87.