БИОЛОГИЯ
ПОДПИСНАЯ НАУЧНО-ПОПУЛЯРНАЯ СЕРИЯ
1983/5

В.Н.Большаков

ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЕ

ЗНАНИЕ
НОВОЕ В ЖИЗНИ, НАУКЕ, ТЕХНИКЕ

НОВОЕ В ЖИЗНИ, НАУКЕ, ТЕХНИКЕ

ПОДПИСНАЯ НАУЧНО-ПОПУЛЯРНАЯ СЕРИЯ

БИОЛОГИЯ

5/1983

Издается ежемесячно с 1967 г.

В. Н. Большаков,

член-корреспондент АН СССР

ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЕ

Издательство «Знание» Москва 1983

ББК 28.08
Б79

БОЛЬШАКОВ Владимир Николаевич — член-корреспондент АН СССР, директор Института экологии растений и животных Уральского научного центра АН СССР, главный редактор журнала «Экология». Он изучает различные проблемы общей и популяционной экологии и занимается экологическими проблемами охраны природы. В. Н. Большаков — автор более 180 научных статей и книг.

Рецензенты: Яблоков А. В.— доктор биологических наук, профессор; Пястолова О. А.— доктор биологических наук.

Большаков В. Н.

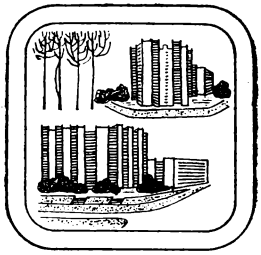
Б79 Экологическое прогнозирование.— М.: Знание, 1983.— 64 с.— (Новое в жизни, науке, технике. Сер. «Биология»; № 5).

11 к.

В брошюре показаны главные направления и методы экологического прогнозирования, значительное место уделено общим вопросам строения и функционирования природных систем, лежащих в его основе. Приведены примеры разработки различных прогнозов.

2001050000 ББК 28.08
57.026

© Издательство «Знание», 1983 г.



Введение

Одной из важнейших проблем современности по праву стала проблема взаимодействия человеческого общества и природной среды. Многочисленные статьи, книги, проекты и программы наполнены данными, свидетельствующими о колоссальных нарушениях в природном балансе, вызванных деятельностью человека. Вырубается 20 га лесов планеты в одну минуту и лесистость суши уменьшилась с 75 до 27%, под угрозой исчезновения $(25—50) \cdot 10^3$ видов растений и около 1200 видов животных, в XX в. загрязнение тяжелыми металлами по сравнению с XIX в. увеличилось в 10—15 раз, за исторический период площади пустынь возросли более чем на 9 млн. км^2 — подобные цифры заставляют всерьез задуматься о будущем нашей планеты.

Задача сохранения и рационального использования природной среды стала одной из важнейших в деятельности нашего государства. В Отчетном докладе ЦК XXVI съезду КПСС отмечалось: «...Речь идет о невосполнимых богатствах. За их правильное, рачительное использование мы несем ответственность не только перед нынешним, но и перед будущими поколениями. И об этом никто не вправе забывать». Сейчас необходимо не только разрабатывать и внедрять мероприятия по использованию и охране среды, но и предвидеть последствия влияния производства, всей деятельности общества на природу. И в нашей стране, и за рубежом можно найти немало примеров, когда возведение крупных гидроэлектростанций и создание громадных водохранилищ, осушение болот, распашка земель и т. д. приводили к существенным отрицательным последствиям для природной среды и народного хозяйства.

Во многих случаях подобных последствий можно

было бы если не избежать, то в значительной степени уменьшить отрицательное действие — для этого необходимо было их предвидеть, прогнозировать, а на основе прогноза разработать систему мероприятий. На XXV съезде КПСС впервые в государственном масштабе была поставлена задача совершенствовать прогнозирование влияния производства на окружающую среду и учитывать его возможные последствия при подготовке и принятии проектных решений. На повестку дня стало экологическое прогнозирование.

Что такое экологическое прогнозирование?

Для меня понятия «прогноз», «прогнозирование» всегда казались достаточно ясными: это предсказание, суждение относительно неизвестных будущих событий, явлений. Однако углубленное ознакомление с работами ученых, занимающихся прогнозами, показало, что их взгляды на это понятие существенно различаются. Сибирские ученые, входящие в состав специальной междуведомственной научной комиссии по долгосрочным прогнозам природных явлений, подчеркивают, например, что приведенное выше определение прогноза открывает слишком большой простор для вымыслов о будущем под видом прогнозов, а это ни в коей мере не может быть увязано с принятием ответственных решений. Последнее же очень важно: «у ученого прогнозиста-эколога нет права на ошибку»[1], она может обойтись слишком дорогой ценой.

Так как мы не ставим здесь цель обсуждать суждения ученых по анализу этого понятия, то раскроем вышедшую в 1982 г. «Рабочую книгу по прогнозированию», в которой сделана попытка свести в систему тер-

[1] Реймерс Н. Ф. Без права на ошибку. М., Знание, 1980, с. 13—64 (Человек и природа, № 10).

мины, связанные с разработкой прогнозов. «Прогноз определяется как вероятностное научно обоснованное суждение о перспективах, возможных состояниях того или иного явления в будущем и (или) об альтернативных путях и сроках их осуществления». Это определение, очевидно, достаточно хорошо отражает суть явления.

Гораздо сложнее обстоит дело с прилагательным «экологическое». Экология, возникшая более 100 лет назад как учение о взаимосвязи организма со средой, прошла несколько этапов развития, и в настоящее время взгляды на экологию как науку сильно различаются. В моей картотеке насчитывается болеее 30 (!) определений экологии. Приведу лишь некоторые из них.

«Экология — это изучение отношения животного к окружающей его органической и неорганической среде» (Э. Геккель, 1866).

«Содержанием экологии является изучение взаимоотношений организма (вида) со средой его обитания, изучение приспособлений и противоречий между особями вида и элементами этой среды, именуемой факторами» (Д. Н. Кашкаров, 1938).

«Экология — это наука о живых существах как членах природных компонентов» (К. Ф. Фридерикс, 1958).

«Экология — биологическая наука, которая имеет своей целью изучение законов, управляющих жизнью растений, животных и микроорганизмов в естественной среде обитания» (С. С. Шварц, 1969).

«Экология — это отрасль биологии, исследующая исторически сложившиеся взаимодействия организмов с окружающей их физико-химической, биологической и антропогенной средой на уровнях видов, видовых популяций, биогеоценозов и биосферы для раскрытия закономерностей указанных процессов и решения актуальных задач народного хозяйства, здравоохранения, охраны природы» (Г. А. Новиков, 1979).

В «Проблемной записке» Научного совета АН СССР «Биологические основы освоения, реконструкции и охраны животного мира» (1979) дано следующее определение экологии: «Современная экология — наука о закономерностях существования и развития надорганизменных биологических систем».

Вряд ли сейчас есть еще одна какая-либо наука с отсутствием четкого определения ее предмета, целей и

задач. Ряд ученых рассматривает экологию как межотраслевую дисциплину, изучающую отношение любого изучаемого явления к окружающей среде, другие считают ее социальной наукой. Академик И. П. Герасимов определяет экологию вообще не как самостоятельную науку, а как особый общенаучный подход к изучению различных объектов природы и общества; цель такого экологического подхода — выявление и исследование связей, существующих между изучаемым той или иной естественноисторической и социально-экономической наукой объектом и окружающей его природной средой. И все же, несмотря на подобные различия во взглядах, экология — самостоятельная биологическая наука, способная исследовать процессы жизни своими специфическими методами. В различные периоды ее развития менялись определения экологии и задачи исследования. Читатели уже познакомились с некоторыми из них.

Конечно, неправильно ограничивать экологию определенными жесткими рамками: разработка принципов использования и охраны живой природы потребовала от экологии комплекса со многими другими отраслями науки — географией, математикой, физикой и т. д., а прикладные проблемы экологии могут быть решены только в неразрывном содружестве с промышленностью, сельским хозяйством, экономикой, но суть ее как биологической науки от этого не меняется. Совершенно ясно, что специфика экологического прогнозирования в каждой из этих групп будет различной. Все же задачи экологического прогнозирования и его основные направления можно определить достаточно четко.

Академик В. Е. Соколов (1979) [2] подчеркивает, что экологическое прогнозирование охватывает сложный комплекс объектов — от природных экосистем до промышленных и сельскохозяйственных. Одни из центральных компонентов прогнозирования — экосистемы, в свою очередь, представляющие собой сложный комплекс биологических явлений в их взаимосвязи со средой. Одна из целей прогнозирования — сохранение природных ресурсов на высокопродуктивном уровне, которые могут быть использованы в течение неопределенно продолжительного времени.

---

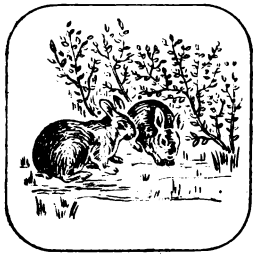
[2] Соколов В. Е. Предисловие к книге «Экологическое прогнозирование». М., Наука, 1979, с. 5—6.

В «Словаре терминов и понятий, связанных с охраной живой природы» (М., 1982) Н. Ф. Реймерс и А. В. Яблоков определяют экологическое прогнозирование как «предсказание поведения природных систем, определяемого естественными процессами и воздействием на них человечества».

Итак, в основу экологического прогнозирования должны быть положены естественные природные системы. Это связано с тем, что именно экология представляет собой научную основу рационального использования и охраны живых природных ресурсов. Академик С. С. Шварц, выступая на общем собрании АН СССР, посвященном главным направлениям охраны природы, дал, по существу, обобщающую теорию научного подхода к этому вопросу. С. С. Шварц (1919—1976) был одним из ведущих экологов нашей страны, он много сделал для развития теории экологии, поэтому его высказывания очень важны для понимания основных проблем современного экологического учения, использования достижений экологии в практической деятельности общества. «Бить тревогу безусловно нужно, однако еще важнее определить конкретные пути разрешения противоречий между интересами развития современного общества и задачами сохранения биосферы в оптимальном состоянии. Современная биология, в частности экология, обладает достаточно развитой теорией, которая позволяет наметить эти пути и может стать научной основой активной охраны биосферы.

Нужно понять, что даже в том случае, если промышленные предприятия будут свято выполнять все меры охраны среды, развивающееся общество будет оказывать на природу прогрессирующее воздействие. Замена сложных биогеоценозов агроценозами, строительство городов и различных сооружений, снижающих биопродуктивность громадных территорий, химизация сельского хозяйства, локальное изменение гидротермического режима акваторий и территорий, промышленное использование все большего числа видов животных и растений — эти и многие другие неизбежные спутники современного общества оказывают и будут оказывать на природу все более сильное влияние даже при соблюдении всех мыслимых мер предосторожности. Отсюда следует, что борьба за «здоровую биосферу» должна вестись в двух направлениях: путем сведения к минимуму непо-

средственных вредных последствий индустриального давления на природу и путем разработки системы мероприятий, обеспечивающих возможность нормального функционирования биосферы и слагающих ее биогеоценозов в новых условиях».



Современная экология — научная основа охраны среды

Хотя взгляды ученых на экологию в значительной степени различаются, большинство биологов считает, что объектами экологического изучения служат отдельные виды, видовые популяции и природные комплексы организмов (биогеоценозы). В соответствии с этим в экологии различают: экологию видов, экологию популяций и биогеоценологию. Образно сказал один из ведущих советских экологов Н. П. Наумов: «Подобно тому, как делал Иван Петрович Павлов в отношении физиологии, экологию животных можно уподобить трехэтажному зданию. Нижний этаж — это исследование реакций на среду единичных особей, средний — экология населения популяций, верхний — экология сообществ растений и животных — экосистем. Хотя это разделение условно, оно говорит довольно отчетливо о том, какими проблемами занимается экология» [5]. Следует учитывать, что перечисленные направления не строго разграничены, а взаимно связаны, поскольку, например, даже при изучении отдельных видов приходится учитывать их внутривидовые и межвидовые связи с другими организмами.

Экология видов

Читателям, интересующимся вопросами охраны природы, хорошо известно, что за последние годы много внимания и в СССР, и за рубежом уделяют охране животных и растений. Это не случайно: за последние три

столетия с лица Земли исчезло 94 вида птиц и 63 вида млекопитающих, а сегодня опасность исчезновения грозит уже более 600 видам птиц и около 1200 видам млекопитающих, многим видам рыб, земноводных и других групп животных.

Широкую известность получила сейчас Красная книга СССР, в которую занесены редкие и находящиеся под угрозой исчезновения виды животных и растений нашей страны. Среди них — 50 видов млекопитающих, 63 вида птиц, 21 вид рептилий, 8 видов амфибий, 418 видов и подвидов растений [2]. Еще большее число животных занесено в Международную Красную книгу — 687 видов и 207 подвидов только позвоночных животных. Основная причина сокращения численности и даже полного исчезновения животных и растений с лица Земли — резкое усиление воздействия на них деятельности человека, проявляющегося в следующих основных формах: 1) разрушение местообитаний (вырубки лесов, осушение болот, строительство, загрязнение водоемов и т. д.); 2) чрезмерная добыча; 3) влияние вселенных видов, как конкурентов из-за пищи, убежищ; 4) сокращение и ухудшение кормовой базы и т. д.

Исчезновение любого вида растений, животных, микроорганизмов необратимо обедняет генофонд Земли. Гибель 75% видов млекопитающих и 86% видов птиц из числа исчезнувших обусловлено антропогенными факторами. Важно обратить внимание на то, что если в прошлом неумеренная охота приводила к полному исчезновению целых видов животных (один из примеров — полное уничтожение морской, или стеллеровой, коровы на прибрежных мелководьях Командорских островов всего через 27 лет после ее описания), то сейчас на первый план выдвинуты косвенные воздействия — изменение среды обитания, загрязнение среды ядохимикатами, нарушение структуры популяций. Если в XVII в., по данным Д. Ютца и Д. Джонсона, прямое преследование животных было причиной 86% случаев гибели видов, а косвенно — 14%, то в XX в. это соотношение стало обратным: в результате прямого преследования исчезло 28%, а косвенное воздействие определило исчезновение 72%.

В экологии отдельных видов животных и растений, в их возможности приспособиться к влиянию новых косвенных факторов в значительной степени следует искать

причины исчезновения одних видов и подвидов и процветания в резко изменившихся условиях — других. И среди животных и растений много видов, легко приспосабливающихся к новой среде обитания, обладающих, как говорят экологи, высокой экологической валентностью **(эврибиотные виды)**. Яркий пример — поразительные приспособительные возможности всем известной серой крысы. Она обитает в различных ландшафтных условиях, питается всевозможными видами корма, выводит детенышей в диапазоне от минусовых температур (в промышленных холодильниках) до +55°С (в обшивках паровых котлов), стаей нападает на более крупного противника и побеждает его, передвигается на громадные расстояния вдоль дорог, питаясь отбросами и заселяя новые территории и т. д.

Легко приспосабливаются к новым условиям многие виды беспозвоночных животных, растений, микроорганизмы; причем зачастую к таким условиям, где, казалось бы, живые организмы существовать не могут. Исследования, проведенные в отвалах предприятий цветной металлургии, содержащих ядовитые для растений вещества, и на загазованных промышленных площадках металлургических заводов, показали, что практически всегда можно подобрать ассортимент дикорастущих растений, которые достаточно хорошо произрастают на таких территориях. Среди этих видов — представители семейств ивовых, злаковых и др.

В своем последнем интервью корреспонденту журнала «Знание — сила» (1976, № 10) С. С. Шварц говорил: «Под воздействием техногенных, то есть созданных техникой, факторов некоторые виды растений приобретают способность создавать стабильные и продуктивные популяции в крайне неблагоприятных условиях, в отравленной среде. Причем происходит это в течение всего нескольких поколений и закрепляется генетически. Полевица, ценное кормовое растение, сумевшее прижиться на почве, обогащенной свинцом, медью, никелем, и вдобавок при остром недостатке кальция и фосфора,— всего один из примеров успешного сочетания био- и техносфер. Другой пример — бактерии-нефтедеструкторы, перерабатывающие нефтяные отходы, эффективность деятельности которых повышается в присутствии цинка и ванадия. Чем не пример взаимовыгодного сотрудничества между промышленностью, обильно по-

ставляющей и пищу и даже катализатор действия бактерий, и этими природными микроскопическими тружениками, возвращающими в природую среду безвредные вещества, «обработав» губительные отходы?»

В охране нуждаются, как правило, виды с небольшим ареалом, приспособленные к узким рамкам среды **(стенобиотные виды)**, обладающие слабым потенциалом размножения (у животных длительная беременность, небольшое число детенышей в помете и позднее половое созревание; у растений — малая семенная продуктивность, ограниченное вегетативное размножение и т. д.). Лучше всего можно проиллюстрировать это положение на примере конкретных видов, обитающих в том или ином регионе. Хороший пример стенобиотного вида животных, занесенного в Красную книгу СССР,— выхухоль, эндемик европейской части СССР, которая сохранилась в небольшом числе только в бассейнах Волги, Дона, в среднем течении Урала и верховьях Днепра (хотя ее и удалось сейчас акклиматизировать по пойменным водоемам бассейна Оби). Оказалось, что выхухоль очень плохо переносит загрязнение рек, освоение пойм, легко гибнет во время рыбной ловли ставными снастями и, наконец, интенсивно вытесняется акклиматизированной здесь ондатрой. Специалисты, изучавшие выхухоль (И. И. Барабаш-Никифоров, Л. В. Шапошников), считают, что проблема сохранения выхухоли — это прежде всего проблема восстановления ее нарушенных биотопов, а не просто пассивная охрана вида.

Из растений можно назвать хорошо известный вид орхидных — венерин башмачок. Хотя его ареал и достаточно обширен, но биология вида такова, что, например, при сборе на букеты из-за отрыва стеблей с цветами растение не успевает накопить питательные вещества для следующего вегетационного периода и погибает. Другой хорошо известный вид — настоящий женьшень— эндемик Дальнего Востока, размножающийся только семенами, причем семена прорастают на второй год после периода покоя и только при сочетании особо благоприятных условий (почва, освещение, влажность и т. д.). Примеры, подобные приведенным, читатель найдет в Красной книге СССР и в Международной Красной книге.

При прогнозировании судьбы того или иного вида очень важно установить различную степень приспосаб-

ливаемости видов животных и растений к изменяющейся среде, так как это положение во многом должно определять политику государственных органов по охране и рациональному использованию объектов органического мира. Для многих стенобиотных видов сохранение естественной среды обитания, заповедный режим территории — зачастую единственная возможность сохранения как отдельных форм растений и животных, так и всего природного комплекса в целом.

В ст. 8 Закона СССР «Об охране и использовании животного мира» поэтому особо подчеркнута необходимость сохранения видового многообразия животных в состоянии естественной свободы, охраны среды обитания и сохранения целостности естественных сообществ животных. Эти положения Закона могут быть успешно решены только на прочной научной основе. Выступая на 3-й сессии Верховного Совета СССР десятого созыва, принявшей Закон об охране и использовании животного мира, академик, президент ВАСХНИЛ депутат П. П. Вавилов особенно подчеркнул: «Под каждое положение Закона должно быть подведено фундаментальное экологическое обоснование»[3]. Важнейшая задача экологии сегодняшнего дня — детальное изучение биологических особенностей живых существ с применением современных методов исследования.

Экология популяций

К числу важнейших достижений современной экологии можно отнести создание учения о популяции. Сейчас совершенно ясно, что ни одно животное или растение не может существовать само по себе, в виде единичных особей, они обязательно должны входить в сообщество, именуемое популяцией. Ряд исследователей — создателей популяционного учения различно характеризует популяцию. Об этом хорошо написал в своей книге Г. А. Новиков [6]. Так же как немыслимо существование в естественных условиях клетки многоклеточного организма вне организма, так и немыслимо существование особи вне популяции.

В практической деятельности можно использовать определение, которое принято терминологической комис-

[3] Правда, 1980, № 178, 26 июня.

сией совещания по вторичной продуктивности экосистем в 1966 г. в Варшаве: «Популяция — это группа совместно обитающих особей вида, объединяемых единством жизнедеятельности». У разных видов и у одного и того же вида в разной среде обитания популяции могут быть существенно различны. Они могут занимать территорию, по площади соизмеримую с материком (популяции песца и кряквы), но могут ограничиваться квадратными метрами (некоторые моллюски). Популяция может объединять миллионы особей (комары) или всего несколько сотен животных. Одни популяции представлены множеством микропопуляций, приуроченных к разным биотопам, другие — в пространственном отношении едины.

При выяснении изменений, происходящих в популяции животных и растений, очень важно выявить те их особенности, которые позволяют приспосабливаться к резко меняющимся условиям существования, и в первую очередь особенности экологической структуры популяции. Установлено, что чем сложнее структура популяции, тем выше ее приспособительные возможности. Сложность структуры популяции определяется различным соотношением возрастных групп, полов, наличием различного рода группировок, территориальными взаимоотношениями, структурой оседлых животных, животных-мигрантов (рис. 1, 2).

Выявлено, что популяции могут быть разнокачественными по самым различным показателям: морфологическим, физиологическим, поведенческим и многим другим. Однако несмотря на такое разнообразие особей и группировок, слагающих популяцию, все же приспособительная реакция популяции едина. Это единство осуществляется, с одной стороны, системой генетических отношений, с другой (по мнению Н. П. Наумова [5] и др.) — с помощью очень сложной системы сигнализации и связи, которые формируют отдельных особей популяции в единую функциональную систему, обеспечивающую поддержание численности вида в разнообразной среде обитания. Многие исследователи на большом материале в последнее время показали важную роль возрастной структуры популяции в приспособлении к специфическим условиям среды. Появляется все больше данных, свидетельствующих о различной роли возрастных групп в поддержании оптимальной плотности по-

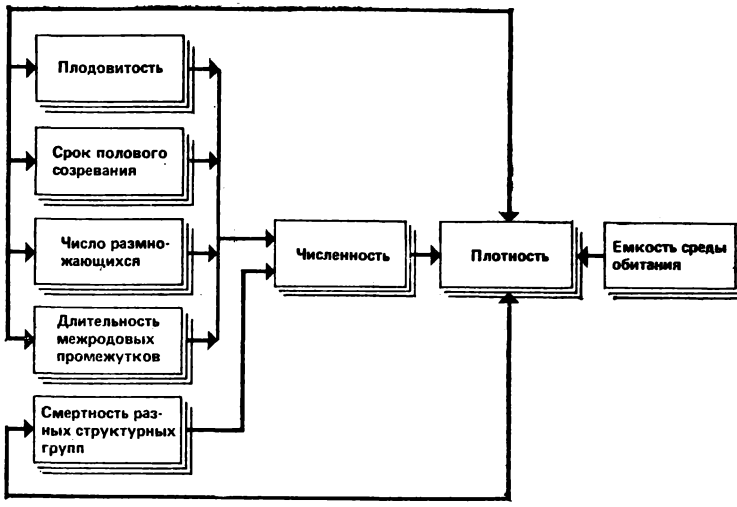


Рис. 1. Схема внутрипопуляционных механизмов регуляции численности полевок по О. А. Жигальскому.

пуляций. Это связано прежде всего с биологической разнокачественностью различных поколений (генераций). Они отличаются по таким важнейшим показателям, как скорость роста, половое созревание, плодовитость, морфофизиологические признаки и т. д.

Лучше всего роль разнокачественности возрастной структуры популяции можно продемонстрировать на примере мелких грызунов-эфемеров, у которых продолжительность жизни сравнительно коротка, а оборачиваемость поколений, наоборот, довольно высока. Например, на Урале и в Зауралье весенние генерации зверьков отличаются необычайно большой скоростью роста, очень быстрым половым созреванием, но небольшой продолжительностью жизни (2—3 месяца). До осени доживают лишь немногие зверьки, родившиеся весной, около 90% таких животных к осени погибает. Наоборот, животные, родившиеся осенью (осенние генерации), медленнее растут и созревают, в зиму они уходят мелкими, как правило, не приступившими к размножению, но зато и живут значительно дольше, в среднем около 8 месяцев.

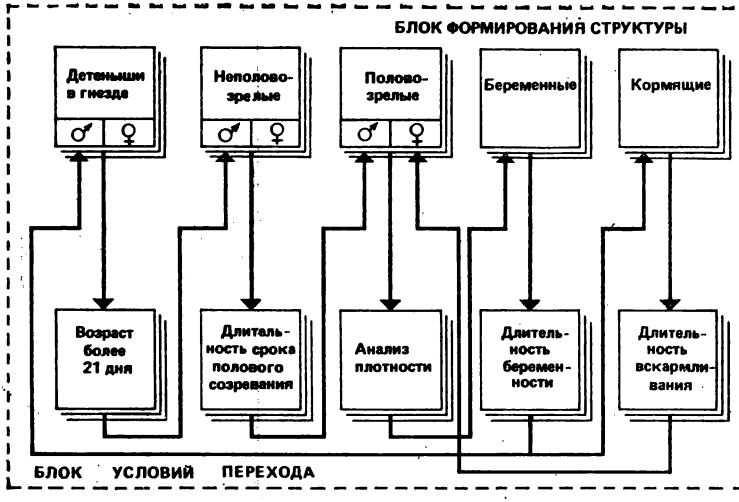


Рис. 2. Блок-схема модели регуляции численности полевок по О. А. Жигальскому.

Входящие в зиму молодые особи осенних генераций более устойчивы к неблагоприятным условиям, чем особи ранних генераций.

Проиллюстрируем приспособительное значение различной возрастной структуры популяций на примере грызунов гор, Севера и тайги (рис. 3). В тайге в равнинной зоне популяции различных видов полевок, мышей, как правило, состоят из особей различных генераций. Например, осенью около 10% составляют перезимовавшие животные возрастом более года, еще около 10% — сохранившиеся особи весенних генераций и обычно 60—70% — представлены животными нескольких (до четырех) летних и осенних генераций. Совершенно иной тип возрастной структуры популяции грызунов в горах, что обусловлено коротким периодом размножения горных грызунов. В условиях высокогорья выявляется незначительное число генераций — обычно две, редко три, иногда одна,— более замедленное половое созревание, чем у полевок на равнине. Однако продолжительность их жизни значительно больше. В горных популяциях широко распространенных видов грызунов в отличие от равнинных популяций отмечается меньшая смертность

особей первых весенних генераций. Многие из них доживают до осени и играют важную роль в воспроизводстве популяции. Наши исследования показали, что такие особенности возрастной структуры обеспечивают оптимальный для данного района или высотного пояса тип динамики популяций, отражают реакции видов на конкретные условия среды.

В книге Г. А. Новикова приведен интересный пример влияния возрастной структуры популяций на урожайность травянистых растений и особенно древесно-кустарниковых, которая чрезвычайно сильно колеблется на протяжении ряда лет. Отдельные урожайные годы сменяются несколькими неурожайными. Поскольку многолетние растения плодоносят год от года с разной интенсивностью и к тому же приносят семена разной всхожести и жизнеспособности, то в результате возрастной состав популяций будет отличаться пестротой и неравномерным соотношением поколений. Молодые растения значительно чувствительнее взрослых к неблагоприятным воздействиям климата и других абиотических факторов, межвидовой и внутривидовой конкуренции, повреждению животными и т. д. Совершенно ясно, что популяции разной возрастной структуры будут различно реагировать на эти воздействия.

Различные популяции одного вида, адаптированные к разным условиям среды, могут различаться по многим показателям особей, их составляющих, по размерам, окраске, особенностям физиологии и т. д.

Существенны различия у равнинных и горных популяций млекопитающих. Так, по исследованиям чехословацкого зоолога И. Грулиха, в Карпатах равнинная популяция крота отличается от горной по 18 морфологическим (размеры тела, черепа, строение зубов, окраска и т. д.) признакам. Очень распространенный вид грызуна — лесная мышь, на равнине питается в основном семенами растений, в горах значительно большее место в ее рационе занимают насекомые, ягоды и травянистые растения. Поэтому у животных горных популяций длиннее кишечник и особенно его слепой отдел. У горных особей интенсивнее обмен веществ и терморегуляция, что является основным условием выживания при недостатке кислорода (гипоксии) и низких температурах.

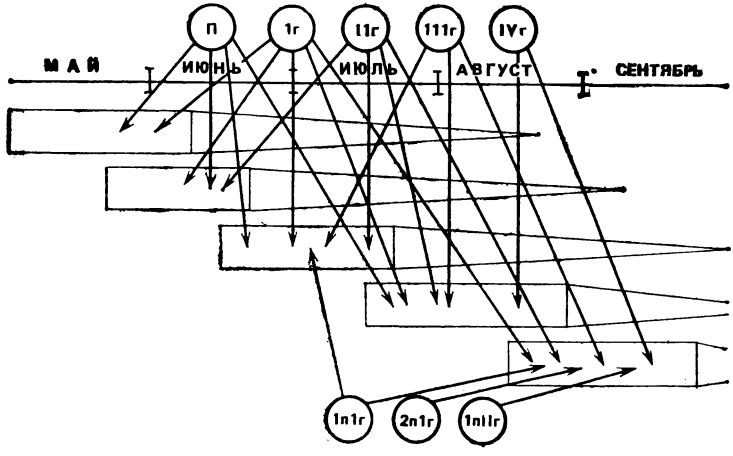


Рис. 3. Схема возрастной структуры популяции полевки-экономки на Крайнем Севере: П — перезимовавшие; Iг — IVг — 1—4-я генерации от перезимовавших; 1пIг — первое поколение от первой генерации; 2пIг — второе поколение от первой генерации; 1пIIг — первое поколение от второй генерации (Шварц, 1969)

Значение разнокачественности половой структуры, т. е. соотношения мужских и женских особей в жизни популяции, особенно хорошо изучено у мелких млекопитающих — землероек и грызунов. Установлена закономерная связь полового состава популяций с численностью зверьков. Многие экологи рассматривают динамику полового состава популяций как один из адаптивных механизмов регулирования численности. Так, Э. В. Ивантер установил, что доля самцов в популяциях мелких млекопитающих Карелии закономерно увеличивается с повышением уровня весенней (исходной) численности животных. Видимо, это обусловлено более частым рождением самцов у зимовавших самок в ответ на высокую плотность населения. Тем самым достигается некоторое торможение репродукции путем компенсаторной перестройки половой структуры популяции.

У байкальского омуля выявлено несколько популяций (В. В. Смирнов). Оказалось, что надо планировать рациональный режим рыболовства для каждой популяции, учитывая ее структуру, характер воспроиз-

водства и т. д. Так, промысел селенгинской популяции в местах нагула в 1959—1967 гг. привел к катастрофическому снижению ее численности, а промысел искусственно воспроизводимой популяции посольского омуля вызвал лишь периодическое изменение. Чем это объясняется? Временное снижение ихтиомассы посольского омуля происходило в те годы, когда значительную часть популяции составляло нерестовое стадо, т. е. вылов производителей приводил к малочисленным поколениям. Однако перепромысел не сказывается на воспроизводстве популяции посольского омуля, ибо поголовный отлов производителей компенсировался большими масштабами искусственного разведения. В селенгинской популяции основная нагрузка промысла пришлась на созревающую рыбу, тем самым была резко нарушена структура популяции. Результат этого известен: для восстановления запасов и в первую очередь оптимальной структуры популяций омуля потребовался полный запрет промысла.

За последние годы усилились и углубились исследования пространственной структуры популяции прежде всего благодаря применению новых идей и методик (использование радиоактивных меток, передатчиков для телеметрической регистрации биопотенциалов и т. д., системы телеуправления). Получены ценные сведения об индивидуальных участках, перемещениях, роли территории в существовании популяций различных видов.

В очень интересной для экологов книге И. А. Шилова «Эколого-физиологические основы популяционных отношений у животных» (1978) подчеркнуто, что характер пространственной структуры (различной у разных видов) во всех случаях определяет возможность наиболее «выгодного» для популяции в целом использования ресурсов среды и наиболее эффективного осуществления внутрипопуляционных взаимоотношений особей и их групп. Пространственная структура популяций выражается в закономерном размещении особей и их группировок по отношению к определенным элементам ландшафта и друг к другу и отражает свойственный виду тип использования территории. Определенная среда обитания способствует групповой консолидации членов популяции, а те, в свою очередь, влияют на окружающую среду, критически меняют ее, приспосабливая к нуждам той или иной популяции. Нужно сказать, что объем по-

пуляции и ее структура служат до сих пор предметом дискуссий среди ученых.

Наиболее сложны и запутанны вопросы выделения конкретных популяций или определения их границ при непрерывном распространении вида. Н. П. Наумов утверждал, что такие затруднения имеют объективный характер. В их основе лежит сложность и динамичность внутривидовых отношений, которые изменяются по сезонам, в ходе эволюционных преобразований или перемен среды обитания. Однако экологи в своей практической деятельности постоянно предпринимают попытки выделить отдельные популяции или определить их границы, используя для этого морфологические, морфофизиологические, поведенческие и другие показатели.

Разнокачественность популяций в значительной степени способствует приспособлению ее к среде. Например, установлено, что у видов растений, приуроченных к местам обитания со стабильными условиями среды (ряд водных растений), изменчивость очень невелика. У животных, населяющих разнообразные местообитания, изменчивость очень многих признаков выражена, как правило, значительно. Очень важна способность популяции автоматически регулировать численность населения и поддерживать оптимальную структуру в соответствии с изменяющимися условиями среды — **популяционный гомеостаз.** Чем выше эволюционный уровень организмов, тем совершеннее популяционный гомеостаз. В популяциях растений он выражен слабо, у животных проявляется отчетливо. Для каждой популяции в конкретных условиях среды характерна определенная оптимальная плотность, т. е. число особей, приходящихся на единицу площади, занятой популяцией. Оптимальная плотность позволяет наилучшим образом использовать ресурсы — пищевые, территориальные, обеспечивает оптимальную интенсивность размножения и наименьшую гибель особей.

Необходимо отметить, что подлинно научные основы охраны и рационального использования видов, подвергающихся давлению промысла, могут основываться только на знании их популяционной структуры, что важно и при организации борьбы с животными, наносящими ущерб хозяйственной деятельности. Например, применение определенных доз ядохимикатов может при-

вести к тому, что в популяции погибают наиболее восприимчивые к ядам особи, а более устойчивые животные сохраняются. В результате в течение нескольких поколений может сформироваться популяция, устойчивая к ядохимикатам, что, кстати, очень часто происходит и на практике.

Интересный пример адаптивной изменчивости популяций в ответ на воздействие человека приводит А. В. Яблоков [12]. В результате массового применения варфарина, сильнейшего яда-антикоагулянта, в ряде стран Западной Европы были практически уничтожены крысы. Но уже через несколько лет началось распространение крыс, нечувствительных к этому яду. Оказалось, что кое-где в силу естественной генетической изменчивости в природных популяциях выжили отдельные группы особей, нечувствительных к варфарину. В настоящее время крысы, нечувствительные к варфарину, образовали стойкие популяции и распространились по всей Европе. Хорошо известны факты приспособления к такому сильному ядохимикату, как ДДТ, многих видов насекомых. И здесь в основе выработки невосприимчивости к яду также лежит популяционный отбор.

Заметим, что учение о популяциях разрабатывалось главным образом при изучении мелких мышевидных грызунов. Для эколога эта группа представляет особый интерес, потому что мелкие мышевидные грызуны — великолепная модель для изучения различных популяционных аспектов. Они сравнительно многочисленны, что позволяет собирать и анализировать массовый материал, заселяют самые различные районы — от Крайнего Севера до Крайнего Юга и до верхних поясов гор, дают много приспособленных к специфическим условиям среды форм. Крупный вклад в развитие популяционного учения внесли работы на насекомых, особенно на дрозофиле, божьих коровках и других видах. Однако закономерности, полученные на этих группах, вполне применимы к обобщениям общеэкологического характера и могут быть использованы в современной экологии применительно к проблемам популяционной структуры охотничьих животных, вредителей сельского хозяйства и др. Надо сказать, что наиболее слабо изучены популяционные структуры животных, внесенных в Красную книгу. Особенности популяционной структуры большинства из них вообще неизвестны, что

в значительной степени затрудняет разработку мер их охраны.

Нередко при общем благополучном состоянии вида охране подлежат отдельные его популяции. Так, во 2-е издание Красной книги СССР Научно-технический совет предложил внести балтийские популяции обыкновенного пятнистого тюленя и кольчатого тюленя. В последние годы резко сократилось число именно этих популяций неохраняемых в целом видов: первая практически перестала встречаться в Рижском и Финском заливах, вторая здесь очень малочисленна. В Красную книгу СССР занесена аборигенная популяция уссурийского пятнистого оленя. Хотя пятнистый олень широко акклиматизирован в других районах страны, природная естественная популяция, необходимая для сохранения генофонда вида, очень малочисленна, например, в материковой части ареала в Приморье число аборигенных оленей не превышает 400 голов.

Проблема динамики численности вот уже в течение нескольких десятилетий занимает центральное место в экологических исследованиях во всем мире. Это определяется не только огромной практической значимостью проблемы, но и тем, что динамика численности отражает всю сумму реакций вида (популяции) на комплекс внешних воздействий, трансформированных через систему механизмов популяционной авторегуляции. Таким образом, динамика численности представляет собой интегрированный ответ популяции на динамичные экологические условия ее жизни. Не случайно поэтому в последние годы термин «динамика численности» все чаще заменяется понятием «динамика популяций». Сейчас имеется много данных, показывающих, что на протяжении популяционных циклов меняется не только численность, но и возрастная и генетическая структура, физиологические свойства особей и другие популяционные параметры.

Для разработки принципов и техники природоохранительных мероприятий, а также совершенствования способов использования полезных популяций, получения устойчивой продукции промысловых видов и борьбы с видами, наносящими ущерб сельскому и лесному хозяйству, требуется глубокое изучение экологии и популяционной структуры этих видов, методы прогнозирования изменений численности, стратегии и тактики воздейст-

вия на популяции. Так, одно из воздействий на популяции массовых видов животных — проведение мероприятий, направленных на подавление возникающих очагов высокой численности.

Экологам сейчас известно, что во многих случаях изъятие части популяции не ведет к ее гибели — вступают в действие авторегуляционные механизмы. Действие таких механизмов я проиллюстрирую исследованиями, проведенными в нашей лаборатории Н. Г. Евдокимовым. В очагах ряда инфекций (клещевой энцефалит, геморрагическая лихорадка и др.) проводится борьба с грызунами — переносчиками или хранителями заболевания. Выяснилось, что на территорию, где с помощью ядов грызуны были истреблены, началась массовая миграция зверьков из сохранившейся части популяции, причем мигрировали в основном молодые животные. Интенсивность размножения таких грызунов на вновь заселенной территории оказалась гораздо выше (большее участие молодых самок в размножении, больше детенышей в помете), и в результате потребовалось всего лишь 1,5—2 месяца, чтобы численность грызунов на местах затравок восстановилась на прежнем уровне. Поэтому для охраны и рационального использования популяции животных и растений очень важно знание потенциального «экологического резерва» популяций разных видов в разных условиях среды. Необходимо определить минимальную численность популяции оптимальной структуры, при которой популяция сохраняет способность за короткий срок восстанавливать численность до свойственного ей оптимума. Это позволит следить за состоянием малочисленных видов, а для промысловых видов планировать объем заготовок при поддержании оптимального состава популяций без угрозы уничтожения вида. Очевидно, что такая работа может быть выполнена только на основе глубоких знаний экологической структуры популяций и ее динамики в разных условиях среды, в том числе и резко измененной под влиянием деятельности человека.

Резюмируя сказанное, надо подчеркнуть, что в настоящее время все вопросы, связанные с экологическим прогнозированием охраны, воспроизводства и рационального использования отдельных видов растений и животных, должны основываться на детальном знании их популяционных особенностей. С. С. Шварц говорил, что

связанное с изменением среды антропогенного происхождения вымирание отдельных видов животных и растений часто происходит не в результате непосредственной гибели организмов, а вследствие необратимого разрушения популяционной структуры. Поэтому изучение популяционной структуры отдельных видов, реакция популяций на изменение среды, особенно под влиянием деятельности человека, позволит поставить вопросы их охраны и использования на правильную научную основу.

Экология сообществ (биогеоценология)

Все животные, растения, микроорганизмы на нашей планете находятся в тесной взаимосвязи между собой и окружающими их элементами неживой природы (воздух, вода и т. д.). Исследования экологов показали, что на поверхности Земли можно выделить участки, получившие название «биогеоценозы».

Академик В. Н. Сукачев дал следующее определение понятия: «Биогеоценоз — это совокупность на известном протяжении земной поверхности однородных природных явлений (атмосферы, горной породы, растительности, животного мира, мира микроорганизмов, почвы и гидрологических условий), имеющих свою особую специфику взаимодействия этих слагающих ее компонентов и определенный тип обмена веществом и энергией между собой и с другими явлениями природы и представляющих собой внутреннее противоречивое диалектическое единство, находящееся в постоянном движении и развитии»[4].

Очень часто как синонимы употребляют термины «биогеоценоз» и «экосистема». Это, в общем, вполне справедливо, нужно только учесть, что экосистема — понятие более широкое, но менее определенное в своих границах, тогда как биогеоценоз отличается большей четкостью в качестве территориальной единицы и определенной приуроченностью к территории. Принципиально важное свойство биогеоценоза, коренным образом отличающее его от простого скопления организмов, это наличие глубоких взаимных связей между всеми основными его компонентами. Эти связи делают биогеоценоз качественно особой формой биологических макросистем. Биогеоценоз представляет продукт длительного истори-

[4] Сукачев В. Н. Избр. труды, т. 1, Л., 1972, с. 263.

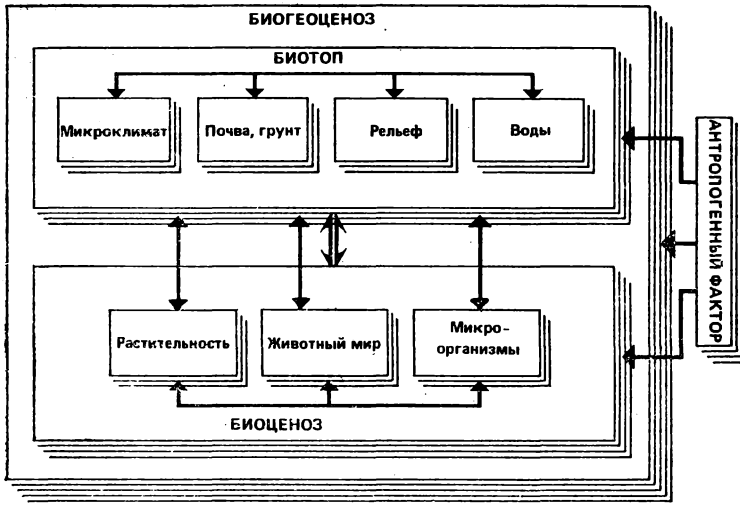


Рис. 4. Схема биогеоценоза по Г. А. Новикову (1979).

ческого развития, основным фактором которого был естественный отбор.

Биогеоценоз — не просто «сожительство» разных видов на некой общей территории. Входящие в него элементы объединены сложными связями и зависимостями, действующими и между непосредственно контактирующими видами, и опосредованно — через цепь видов, влияющих друг на друга. Поэтому изменения в одном звене этих связей приводят к сбоям, подчас катастрофическим, во многих других звеньях. Но в силу тех же самых причин весь биогеоценоз в целом обладает огромной защищенностью от любых изменений. Любой биогеоценоз включает триаду: продуценты — консументы — редуценты. Иными словами, фотосинтезирующие растения, создающие первичное органическое вещество; животные, питающиеся растениями и другими животными, и, наконец, бактерии, переводящие органическое вещество в доступную для растений форму. Эти процессы создания, накопления и распада согласованы между собой, обеспечивают непрерывность круговорота вещества и энергии (рис. 4).

Все биогеоценозы Земли можно условно разделить на сложные и простые (Б. С. Кубанцев, 1973). Первые — это обычно многоярусные биогеоценозы, которые состоят из очень большого числа популяций многих видов растений, животных и микроорганизмов, связанных между собой сложнейшей сетью разнообразных пищевых и пространственных связей. Простые биогеоценозы состоят из ограниченного набора популяций относительно небольшого числа видов, и система межвидовых связей таких биогеоценозов относительно проста. Между крайними по сложности и обилию видов биогеоценозами тропического леса и каменистой пустыни или пещер существует огромное количество биогеоценозов разной степени сложности и видового разнообразия.

Все большее значение в биосфере приобретают агробиоценозы — искусственные сообщества, формирующиеся в результате растениеводческой и животноводческой деятельности человека. По данным А. Г. Банникова и А. К. Рустамова (1977), агробиоценозы занимают в настоящее время в мире около 1,2 млрд. га, что составляет примерно 10% всей поверхности суши. С экологической точки зрения это наиболее простые и поэтому неустойчивые системы.

Чем проще биогеоценоз, тем обычно важнее и заметнее бывает роль отдельных экологических доминантов — популяций видов, определяющих облик биогеоценоза и имеющих в сообществе важнейшее функциональное значение. В наиболее сложных биогеоценозах тропического леса очень трудно выделить доминирующие виды и популяции. В предельно простых искусственно созданных сельскохозяйственных ценозах экологические доминанты всегда очевидны. Изъятие доминирующего вида из состава таких биоценозов, как правило, полностью нарушает естественное функционирование биогеоценоза и ведет к его разрушению.

Чем проще биогеоценоз, тем легче нарушается его работа, тем быстрее он разрушается при неблагоприятных воздействиях извне или в результате нарушения развития отдельных популяций в его составе. Например, вспышка численности какого-либо насекомого, повреждающего доминантный вид в крайне простых сельскохозяйственных ценозах, неизбежно приведет без вмешательства человека к падению продуктивности биоценоза, глубокому нарушению его нормального

функционирования и к полному разрушению. Уничтожение любого вида в достаточно сложном биогеоценозе тропического леса не поведет к разрушению, а лишь вызовет перестройку межвидовых связей в составе этого сообщества. Однако это еще не означает, что резко нарушенный сложный биогеоценоз восстановится быстрее. Согласно представлениям экологов достаточно нескольких десятилетий интенсивной эксплуатации тропического леса, чтобы стереть его с лица Земли, сделать восстановление совершенно невозможным. Наши леса эксплуатируются не только интенсивно, но и в течение многих десятков лет и все-таки не погибают. Причина в том, что основные питательные вещества в них сконцентрированы в почве; если лес гибнет, даже полностью, почвенное плодородие сохраняется, и, следовательно, ничто не препятствует лесу возродиться в благоприятных условиях. В тропических лесах ситуация иная. Основные питательные вещества сконцентрированы не в почве, а в самих деревьях, и поэтому гибель леса сопровождается очень резким падением лесовосстановительных потенций данной территории. Этот пример лишний раз говорит о сложности взаимоотношений различных факторов в биогеоценозе, которое необходимо учитывать в практической деятельности.

Простые биоценозы, как правило, очень нестойки по отношению к абиотическим факторам. Изменение какого-либо абиотического фактора (гидрорежима, химического состава или атмосферы, теплового режима), нарушающего общую жизнедеятельность даже незначительной части видов простого биоценоза или даже иногда одного вида в его составе, может вызывать существенное нарушение деятельности такого биоценоза в целом, а иногда ведет и к полному его разрушению. Именно поэтому так опасны и губительны необдуманные или стихийные воздействия человека на природные комплексы.

Все биогеоценозы суши и океана в своей совокупности составляют живую оболочку Земли — биосферу. Биосфера, кроме органического мира, включает и абиотическую его среду, с которой живые существа находятся в сложном динамическом взаимодействии. Над поверхностью Земли биосфера простирается на 20 с небольшим километров, в Мировом океане — до глубины 11 километров с лишним (рис. 5).

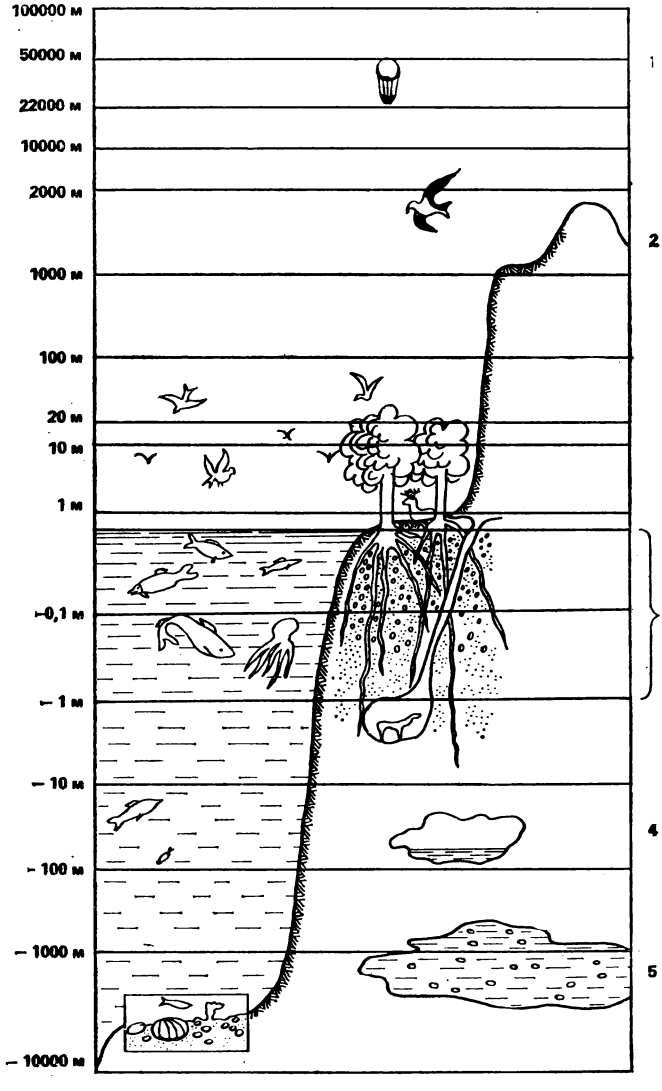


Рис. 5. Схема строения биосферы: *1* — ультрафиолетовые лучи; *2* — граница снега; *3* — почва и эдафон; *4* — пещерные животные; *5* — нефтяные бактерии (Струген, 1972; Новиков, 1979)

Многие биологи считают, что всего на земном шаре обитает около 3 млн. видов живых существ. Но из них только 300 тыс. видов растений и некоторых автотрофных микроорганизмов создают первичную биомассу. Остальные виды организмов — гетеротрофы, которые для своего питания используют готовые органические вещества. Считается, что число видов животных на Земле составляет примерно 79%, а растений — 21%. Однако на долю растений приходится 97—98% всей биомассы суши и лишь 1—3% биомассы — на долю животных и микроорганизмов. Можно отметить также очень низкую биомассу обитателей океана — всего 0,13% суммарной биомассы планеты, хотя поверхность океана занимает более 72% всей площади земного шара. К тому же биомассу в океане составляют главным образом животные, а не растения (Г. А. Новиков, 1979). Сравнительно с общей массой Земли биомасса очень мала: она приблизительно равна 0,01 массы земной коры.

Сегодняшний уровень развития человечества, которое получило возможность колоссального воздействия на биосферу, приводит сейчас к новому эволюционному изменению биосферы. Академик В. И. Вернадский писал, что перед человечеством встает вопрос о перестройке биосферы. Это новое состояние биосферы, к которому мы приближаемся, есть ноосфера. Преобразование биосферы в ноосферу, в сферу разума требует от человечества большой осторожности и правильного научного подхода к этому преобразованию.

Воздействие человека на биосферу в настоящее время настолько велико, что по масштабам оно вполне сопоставимо с некоторыми планетарными процессами. Например, технологические перемещения горных пород сопоставимы с перемещением пород реками; в ближайшие 25 лет площадь водохранилищ в мире превысит площадь зеркала естественных континентальных водоемов. Еще больший размах приобретают качественные изменения биосферы в связи с загрязнением территории продуктами и отходами промышленного производства, широким использованием химических средств в сельском хозяйстве. В массовой и научной печати приводится достаточно фактов по этому вопросу.

С. С. Шварц писал о неизбежности антропогенного изменения среды на огромных территориях. Одновре-

менно он подчеркивал, что это не обязательно должно означать ухудшение качества среды, и приводил примеры того, что деятельность человека отнюдь не всегда сопровождается подавлением функций элементов биосферы, а в ряде случаев ведет к сохранению и улучшению природных систем. «Биогеоценоз, явившийся результатом измененной человеком среды, совсем не обязательно хуже первоначального. Изменения природной среды, ее отход от естественного состояния нет никаких оснований непременно считать ухудшением».

Интересные данные получены волгоградскими учеными под руководством Б. С. Кубанцева при изучении природных комплексов низовьев Волги и Дона. Оказалось, что деятельность человека здесь привела к заметному повышению биотопического многообразия территории или акватории. Это, в свою очередь, способствовало сохранению видового многообразия природного комплекса, а иногда увеличению биомассы некоторых видов и, таким образом, усложнению системы, несмотря на исчезновение ряда видов под влиянием деятельности человека. С. С. Шварц ставил вопрос о создании теории и стратегии преобразования мира, т. е. выработке научных основ преобразующей деятельности человека, которые позволяли бы целесообразно и компетентно изменять среду и влиять на ее компоненты.

Человек начал преобразовывать окружающую среду, стремясь к повышению продуктивности создаваемых им искусственных систем. Но если ранее он в основном заботился о продуктивности их отдельных компонентов, то сейчас все более очевидным становится необходимость повышения продуктивности целых экосистем. Анализ материальных и энергетических затрат на получение продукции антропогенных и природных систем с полной очевидностью показывает, что в последние годы все бо́льшая доля приходится на затраты, обеспечивающие не количественный рост продукции, а ее сохранение и обеспечение постоянства получения. С экологической точки зрения это затраты не на продукционные, а на регуляторные процессы. Короче говоря, обществу приходится выполнять роль регулятора отношений в измененных биогеоценозах. А это требует более углубленного знания принципов их организации, чем было необходимо для интенсификации продукционных процессов. Тенденция к нарастанию затрат на регуляцию четко намети-

лась с начала XX в. и особенно ярко проявляется в последние десятилетия.

Обобщение многочисленных конкретных исследований показывает, что сбалансированным природным системам свойственны: 1) максимально возможная замкнутость цикла круговорота веществ и в связи с этим удержание в системе наибольшего количества биогенных веществ, сбалансированность продукционных и редукционных процессов; 2) сложность структуры, выраженная в разнообразии видового состава каждого трофического уровня, многоступенчатости и разветвленности трофических связей; 3) усиление средообразующей роли системы и ее контроля над физическими условиями среды.

Почти все виды прямого и косвенного воздействия человека на природные биогеоценозы и тем более коренное преобразование их для производственных нужд (создание агроценозов, антропогенных ландшафтов) ведут, как это говорилось выше, к упрощению структуры, к уменьшению видового разнообразия и изменениям в соотношении отдельных трофических уровней. Вследствие этого не только уменьшается стабильность систем и ухудшается способность к саморегуляции, но и нарушаются процессы круговорота веществ, возрастает вынос биогенных соединений. Положение усугубляется тем, что современная технология в сельском и лесном хозяйствах и других видах природопользования ориентируется на непрерывные огромные площади, используемые для получения однородной продукции. Это многократно усиливает эрозию почв, распространение болезней и вредителей и другие отрицательные последствия нарушения регуляторных процессов.

С экологической точки зрения при формировании преобразованных ландшафтов должно быть обращено самое пристальное внимание на создание стабильных экосистем, обладающих высокими саморегуляторными способностями. Здесь возникают трудности в связи с тем, что в большинстве случаев вмешательство человека в природные процессы, а тем более коренное преобразование экосистем ведет к упрощению структуры, системных связей и, следовательно, способности к саморегулированию.

С. С. Шварц считал, что биосфера обладает несколькими «линиями обороны» от возможных нарушений ее

развития. Первая линия — это организованная разнородность биосферы: трофические уровни, обеспечивающие трансформацию вещества и энергии в ней, представлены сотнями тысяч видов, каждый из которых биологически уникален и представлен, в свою очередь, миллионами и миллиардами особей, каждая из которых также биологически специфична. Насколько сложна эта разнородность, можно проиллюстрировать примером, приведенным Н. Ф. Реймерсом (1980). Потенциальное генетическое разнообразие особей внутри каждого вида животных и растений не менее 10^{50} и достигает 10^{1000} вариантов. Приблизительно тем же числом оценивается количество возможных разностей окружающей эти виды среды. Предположим, что ЭВМ будущего станут работать с невероятной скоростью — 10 млрд. операций в секунду (10^{10}). Если представить, что таких ЭВМ будет на Земле 10 млрд., т. е. более чем по 2 на каждого жителя планеты, то для расчета проблем вариантов ситуаций между организмами и средой потребуется 3 тысячи миллиардов миллиардолетий (3×10^{21} лет) — величина, безмерно превышающая всю астрономическую историю нашей планеты ($4{,}5 \times 10^{9}$ лет)!

Вторая линия обороны биосферы — иерархичность структурных уровней живого. Энергетический подход к этому вопросу ясно показал, что в энергетике живых систем наблюдается четкая тенденция: с повышением уровня организации живого эффективность использования энергии падает. С. С. Шварц на основании этой закономерности сделал вывод: соотношение эффективности использования энергии на разных уровнях гарантирует сохранение первоосновы жизни — способных к репродукции организмов. Что бы ни случилось на верхних этажах природы, какие бы катаклизмы ни потрясли биосферу и составляющие ее биогеоценозы, высшая эффективность использования энергии на уровне клеток и тканей (а она составляет 70—80%, в то время как в высших звеньях биогеоценозов лишь 0,01—1%) гарантирует жизнь организмам, которые и восстановят структуру жизни на всех этапах ее проявления. Сочетание в едином биогеоценозе организмов с принципиально различным типом освоения среды гарантирует стабильность экологических систем и биосферы в целом. При этом следует помнить, что человек находится «в верхнем этаже природы» и вряд ли можно утешиться тем, что

после крушения биосферы, а следовательно, и человека, структура жизни когда-то снова восстановится.

Уже краткий обзор особенностей природных систем, лежащих в основе современных экологических исследований, свидетельствует о том, что перед экологом-прогнозистом стоят невероятно сложные задачи. К тому же абсолютное большинство исследователей подчеркивает, что экологическое прогнозирование делает еще только первые шаги, что создается еще только теория и методические подходы такого прогнозирования.

Теория и практика экологического прогнозирования

Экологическое прогнозирование как составная часть прогностики, науки о закономерностях разработки прогнозов, не только подчиняется основным ее общим понятиям, но и обладает специфическими особенностями, связанными с изучением живых систем. Отметим основное положение, которое следует всегда учитывать при работе над экологическими прогнозами. Прогноз — составная часть (описание — анализ; объяснение — диагноз; предсказание — прогноз) науки, поэтому он должен основываться на познании закономерностей рассматриваемого явления и строиться не на субъективных решениях, а на основе объективных, научно обоснованных положений (рис. 6).

Известны два типа прогнозов: 1) *поисковый* — определение возможных состояний явления в будущем, отвечающий на вопрос: что вероятнее всего произойдет при условии сохранения существующих тенденций? и 2) *нормативный* — прогнозирование достижения желательных состояний на основе заранее заданных норм, целей, когда необходимо ответить на вопрос: какими путями достичь желаемого? В основе экологического прогнозирования лежит поисковое прогнозирование с

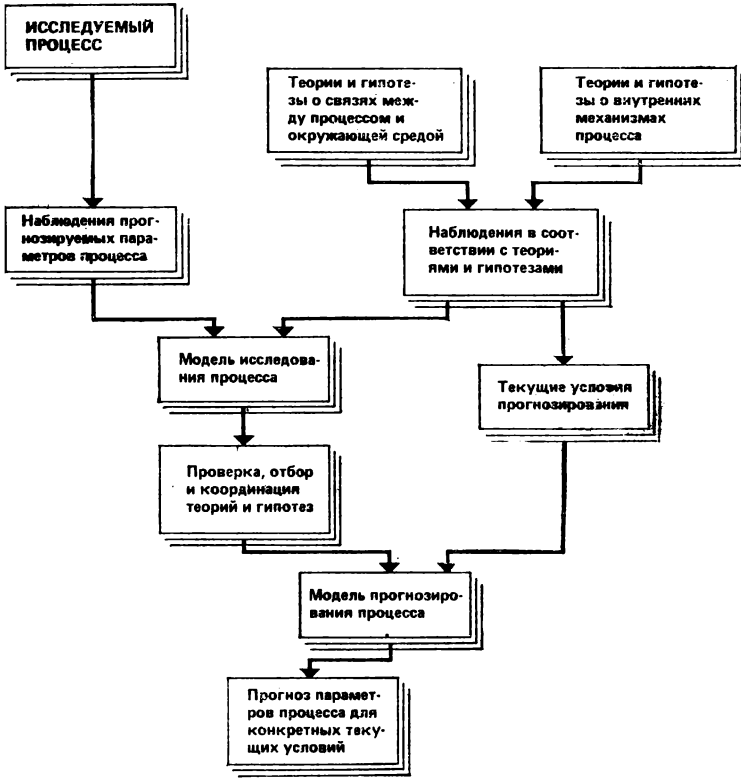


Рис. 6. Общая схема организации прогнозирования естественных процессов (Резников, 1980)

ориентацией на возможно более точное предсказание будущего состояния явления, так как в настоящее время мы можем только познать закономерности существования и развития видов, популяций, биогеоценозов и всей биосферы в целом, но практически только еще приступаем к управлению этими системами.

В основе экологического прогнозирования, как и любого другого, лежат три источника информации о будущем:

1) оценка будущего состояния прогнозируемого яв-

ления, системы на основе опыта, аналогии с известными явлениями и процессами;

2) условное продолжение в будущее тенденций, закономерностей, которые выявлены в прошлом и хорошо известны в настоящем;

3) модель будущего состояния явления или системы, построенная на основе вскрытых закономерностей и имеющихся данных.

Эти три источника информации определяют и три способа прогнозирования: 1) экспертные оценки; 2) экстраполирование и интерполирование; 3) моделирование. В настоящее время насчитывается уже свыше 150 методов прогнозирования, однако далеко не все они используются или могут использоваться в экологическом прогнозировании.

Прежде всего мне еще раз хотелось бы подчеркнуть, что главное для выработки обоснованного экологического прогноза — глобального, касающегося общих тенденций изменений биосферы, или более частного, например, прогноза о судьбе того или иного вида животных или растений,— познание закономерностей организации, существования и развития биологических систем. Только на основе общих экологических закономерностей возможна работа эколога-прогнозиста. Очень уместно напомнить здесь высказывание В. И. Ленина: «Кто берется за частные вопросы без предварительного решения общих, тот неминуемо будет на каждом шагу бессознательно для себя «натыкаться» на эти общие вопросы» [5].

В то же время изученность многих биологических систем такова, что она далеко не охватывает все стороны их организации. Поэтому в практике прогнозирования экологу всегда приходится иметь дело лишь со сравнительно небольшим фактологическим материалом. А. М. Мауринь в Латвийском госуниверситете им. П. Стучки, много и плодотворно работающий сейчас в области экологического прогнозирования, подчеркивает, что, с одной стороны, для эколого-биологических прогнозов при наличии нескольких конкурирующих гипотез предпочтение следует отдать той, которая обеспечивает возможность строить более точные и дальние прогнозы, с другой — для решения возникающих

[5] Ленин В. И. Полн. собр. соч., т. 15, с. 368.

вновь задач необходимы новые методы и способы научного прогнозирования.

Для успеха экологического прогнозирования важно было выработать некоторые общие принципы. Различные ученые высказывают в своих работах разные подходы. Вот один из таких примеров. В интересной книге «Экологические системы — адаптивная оценка и управление» (М., Мир, 1981) приводятся такие суждения, необходимые для корректного подхода к экологическому прогнозированию:

1. Не все связи в экосистеме существенны, и нет необходимости измерять все. Однако выявить наиболее важные связи принципиально необходимо.

2. Структура экосистемы важнее для правильного прогноза, чем количественные характеристики ее компонент (численность, биомасса и т. п.).

3. Изменения одной переменной могут повлечь за собой неожиданные изменения других переменных и в другом месте.

4. Последствия воздействий не обязательно сказываются мгновенно и постепенно ослабевают. Возможно существенное запаздывание в проявлении эффекта действия того или иного фактора.

5. Стратегию изменения окружающей среды, сокращающую ее изменчивость в пространстве или даже во времени, необходимо всегда ставить под вопрос.

Любой экологический прогноз как предвидение на будущее основывается на наблюдаемых тенденциях и закономерностях. Анализ опубликованных экологических прогнозов разного уровня позволяет утверждать, что их временно́й диапазо́н достаточно велик. Известно, что прогнозы классифицируются по периоду упреждения на 9 видов, из которых в экологическом прогнозировании наиболее обычны поисковые (определение возможных состояний объекта прогнозирования в будущем, без определения конкретного срока), краткосрочные (от 1 месяца до 1 года), среднесрочные (от 1 года до 5 лет) и долгосрочные (от 5 до 15 лет). А. М. Мауринь утверждает, что при прогнозировании воздействия крупных производственных комплексов на среду (а именно такая задача поставлена перед экологами партийными решениями) даже частные экологические прогнозы необходимо давать по крайней мере с 20-летним упреждением, учитывая время строительства объектов и необхо-

димость учета экологической ситуации хотя бы в первое десятилетие эксплуатации этого объекта.

Какие бы мы прогнозы ни взяли, ясно, что составляются они всегда одним или группой специалистов. Методы экспертных оценок до сих пор широко распространены в экологическом прогнозировании. Можно среди них назвать, например, метод Дельфи[6], когда группа опытных экспертов дает на основании своих знаний и опыта коллективный прогноз на определенный срок. Н. Ф. Реймерс подсчитал, что экологические прогнозы, выполненные по этому методу, оправдались в 72% на срок до 5 лет, в 55% — на срок 6—10 лет. В США методом Дельфи был разработан в 1978 г. прогноз изменения климата до 2000 г.

Методом экспертных оценок, как правило, составляются прогнозы развития определенных направлений науки, региональных изменений природной среды, общие тенденции влияния проектируемого производства на среду на стадии технико-экономического обоснования (ТЭО) проектов. Мне неоднократно приходилось участвовать в разработке прогнозов последнего типа при ТЭО строительства сравнительно небольших водохранилищ, водоводов, проектировании тепловых электростанций и т. д. Методом коллективных экспертных оценок была составлена уже упоминавшаяся мной проблемная записка о перспективах развития исследований животного мира нашей страны на период до 2000 г. В работе по ее составлению участвовали крупнейшие специалисты, мнения которых были объединены авторитетной комиссией во главе с академиком В. Е. Соколовым.

Нередко в литературе можно встретить прогнозы самого общего плана, высказанные крупными учеными на основе их опыта и достижений соответствующих отраслей науки. Так, С. С. Шварцем был в международном журнале «Мир науки» (1976, № 2) дан экологический прогноз тенденций развития биосферы под влиянием деятельности человека: «Этот прогноз может быть сформулирован в нескольких фразах. Существенное изменение структуры биогеоценозов Земли. Увеличение роли популяционных процессов в поддержании биоценотического равновесия; развитие способных к самовозобнов-

[6] Метод Дельфи получил свое наименование по названию древнегреческого города Дельфы, где при храме Аполлона существовал длительное время известный Дельфийский оракул.

лению и саморегуляции специфических биогеоценозов антропогенных ландшафтов, отличающихся повышенной стабильностью и повышенной способностью к биологической очистке, а на территориях, допускающих ограниченное антропогенное развитие,— развитие биогеоценозов, отличающихся повышенной биологической продуктивностью; поддержание общего баланса биосферы на уровне, обеспечивающем оптимальное развитие человеческого общества».

Методы экстраполяции дают возможность оценить будущее состояние экосистемы по результатам наблюдений прошлых и настоящих состояний, используя при этом вероятностные законы изменения ее характеристик. Располагая прошлыми и текущими состояниями системы (зная ее предысторию), необходимо иметь характеристику процесса, показывающую статистическую связь между его значениями в настоящем и последующими промежутками времени.

Интересная работа по длительному экологическому прогнозированию методом экстраполирования проводится в Институте экологии растений и животных УНЦ АН СССР. Красноуфимская лесостепь, расположенная в предгорьях Среднего Урала, длительное время эксплуатируется человеком. Имеются архивные данные о растительности этих районов около 200 лет назад и о том, какой она была в первой половине нашего столетия. Сейчас проводятся исследования, показывающие, какой она стала в результате длительных антропогенных влияний в настоящее время. Вот такая динамика изучения растительности позволяет дать достаточно долгосрочный прогноз, что же будет с растительностью Красноуфимской лесостепи на обозримый промежуток времени. Оказалось, что изменения ее зашли так далеко, что если даже прекратить всякое воздействие на этот район (не выпасать скот, не вести распашку земель и т. д.), то Красноуфимская лесостепь не восстановится в своем первоначальном состоянии даже в обозримом (до конца XXI в.) будущем. Интуитивно ясно, что близкие значения можно предсказать с большей точностью, чем удаленные, и поэтому с увеличением времени прогноза возможность ошибки будет расти. В связи с требованиями длительности прогнозируемого отрезка времени, точности прогноза и ряда других требований существует несколько алгоритмов прогноза.

Например, прогноз по последнему значению, называемый «ступенчатой экстраполяцией» или «экстраполяцией нулевого порядка», заключается в том, что в качестве прогнозируемого принимается последнее значение. Простота этого способа обеспечила ему большое распространение как в быту (взглянув утром на термометр за окном, мы несколько часов спустя ориентируемся на ту же температуру), так и в науке (низкая численность редкого животного сейчас предполагает такую же и в дальнейшем).

Прогнозирование по математическому ожиданию заключается в том, что в качестве предсказанного значения применяется математическое ожидание процесса. Различие с предыдущим случаем заключается в том, что хотя информации о предыстории явления не требуется, нужны некоторые сведения о свойствах процесса — о его математическом ожидании. Ошибка прогноза представляет собой отклонение процесса от среднего в определенный момент времени. При малых временах прогноза первый способ явно предпочтительнее (из-за своей простоты), однако при значительных временах второй способ дает бóльшую точность, так как его ошибка примерно в 2 раза меньше. Такой прогноз часто в экологии используется при выявлении судьбы того или иного вида животного и растений, когда известны данные учета численности и какой-то фактор, влияющий на численность, например засуха, ведущая к снижению численности влаголюбивых форм.

Итак, предсказать можно и не углубляясь в исследование законов причинности исследуемых явлений, а оперируя только их внешними проявлениями. При этом существует принципиальный предел точности предсказания, который может в ряде случаев и удовлетворить прогнозиста.

Подобные алгоритмы прогнозирования широко применяют в биологии. Но биологические системы, как правило, включают в себя большое число элементов, взаимосвязанных друг с другом, а возникающие при их воздействии эффекты во многом преобразуют характеристики системы. В связи с этим при прогнозировании состояния экологических систем необходимо органическое объединение математических методов и глубокого познания процессов, протекающих в природе. К таким ме-

тодам в экологическом прогнозировании, очевидно, следует отнести применение *экологических аналогий*.

Объекту экологического прогнозирования присуща комплексность, определяемая динамичными связями организмов с природными условиями и техногенными факторами. Поэтому допустимо различать основные варианты сочетания этих трех компонентов при подборе аналога. Это, во-первых, когда объект и его аналог принадлежат к одному и тому же виду, к близкородственным видам или к разным видам, относящимся к одной жизненной форме. Во-вторых, когда сравниваемые виды находятся в одних и тех же природных условиях, в разных почвенно-климатических условиях, но в пределах одного географического ареала или в резко различных условиях произрастания географически отдаленных областей. В-третьих, когда техногенные факторы, воздействующие на объект и его аналог, равны во всех отношениях, близки по ряду физико-химических параметров и поэтому экологически эквивалентны или резко различны из-за принадлежности к отдельным технологиям.

За последние годы интересные исследования по прогнозированию выживаемости древесных растений и лесных сообществ в условиях сильных техногенных воздействий были проведены в Башкирском филиале АН СССР под руководством Ю. З. Кулагина. В качестве аналога для прогноза воздействия вновь строящихся заводов на леса был взят старый уральский завод, выбрасывающий в атмосферу пылевидную окись магния в течение нескольких десятилетий. Учитывая характер фитотоксичности этого соединения, образующего с водой слаборастворимую щелочь средней (pH-9) силы, оказалось возможным дать прогноз, во-первых, неизбежности отмирания сосновых и еловых древостоев, во-вторых, высокой пылеустойчивости всех листопадных видов, включая и лиственницу Сукачева, в-третьих, полного прекращения естественного лесовозобновительного процесса. Данный аналог позволил определить и темпы не только полного отмирания древостоев, но и формирования на их вырубках травостоя из пырея и мятлика.

Ю. З. Кулагин подчеркивает, что при выборе аналога допустимо игнорировать второстепенные, экологически несущественные детали и ориентироваться на решающие узловые моменты. При этом обязательно соблю-

дение принципа изоморфизма, т. е. наличия у сравниваемых объектов равного числа слагающих их компонент, однотипного их строения и взаимодействия. Изоморфизм призван обеспечить главное — равенство или сходство в ответных реакциях объекта и его аналога на равновеликие или близкие внешние воздействия. Чем больше разница в длительности функционирования промышленного предприятия, взятого в качестве аналога, и прогнозируемого нами объекта, тем выше ценность аналога для повышения дальнодействия прогноза. В прогнозе по аналогии центральным следует считать вопрос о том, действительно ли осуществятся все те изменения у нашего объекта проектируемого или уже действующего в течение предстоящего периода, которые нами отмечены у аналога? Вероятностный характер всех без исключения прогнозов дает основание утверждать, что динамика нашего объекта не будет точной копией уже реализованной динамики, его аналогом, хотя бы потому, что неизбежны различия в эволюировании аналога и объекта, что прошлое не может точно повториться в будущем.

В последнее время все больше проявляется воздействий на среду, которые аналогий не имели, например влияние на природные комплексы и человека атомных электростанций. В основном АЭС оказывает на окружающую среду радиационное и тепловое воздействие за счет сбрасываемой охлаждаемой воды. Отсутствие опыта эксплуатации АЭС при первоначальном проектировании потребовало введения жестких норм по первому показателю. С течением времени выяснилось, что крупные тепловые электростанции оказывают более сильное отрицательное воздействие на атмосферу, особенно если используются торф, уголь или мазут с высоким содержанием сернистых соединений. А тепловые сбросы АЭС по сравнению с ТЭС оказались значительно выше: например, одна из крупнейших ГРЭС, Конаковская, расходует 70—90 м^3 охлаждаемой воды в секунду, что соответствует стокам таких рек, как Хопер, Южный Буг, а АЭС — 180 м^3/с[7]. Совершенно ясно, что получение новых данных в процессе эксплуатации станций позволяет подойти и к прогнозам их воздействия на природные системы по-новому.

---

[7] Козлов В. Б. Энергетика и природа. М., Мысль, 1982, с. 92.

Моделирование

Невозможность или крайняя трудность эксперимента с природными системами заставляют поставить под сомнение широкое применение в экологическом прогнозировании такого испытанного метода научного исследования, как метод проб и ошибок. Но лишение возможности экспериментировать представляется чрезвычайно невыгодным в прогнозировании. Вряд ли всегда оправдано вкладывать средства в осуществление проектов, основанных на одной лишь интуиции и опыте исследователя. И тут экологи обращаются к столь же испытанному как эксперимент средству научного исследования — построению модели функционирования исследуемого объекта и перенесение эксперимента с самого объекта на его модель.

Мы не будем обсуждать здесь различные методы моделирования, которые являются предметом специального рассмотрения. Отметим лишь, что выбор метода моделирования определяется существом изучаемой проблемы. Ряд авторов предлагает в качестве критериев для выбора метода моделирования рассматривать: 1) общую, хотя обычно и субъективную, оценку сложности изучаемой проблемы; 2) количество и качество доступных данных; 3) степень понимания принципов внутреннего функционирования рассматриваемой системы.

В основе математического моделирования при экологическом прогнозировании лежит принцип представления сложной биологической системы в виде отдельных подсистем (блоков, модулей, камер), связанных между собой функциональными связями, имитирующими либо потоки вещества (в том числе и загрязняющих веществ), либо регулирующие воздействия, либо пространственную миграцию или развитие организмов и т. д. Например, в водной экосистеме могут быть вы-

делены в виде отдельных подсистем рыбы различного возраста, различные виды фитопланктона, зоопланктона, бентос, донные отложения, поступающие в водоем стоки и т. д. Кроме того, могут быть определены и функциональные связи: плодовитость рыб в норме и при определенном воздействии (например, воздействии ртути), плодовитость и время жизни фито- и зоопланктона, бентоса, зависимость от температуры выклева мальков, времени нереста и т. п.

В результате конкретного изучения каждого из этих потоков и взаимодействий при исследовании модельных систем или при полевых работах удается установить строгие или нестрогие эмпирические количественные соотношения (часто в виде корреляционных отношений). Затем вся исследуемая совокупность подсистем с их связями и взаимодействиями записывается в виде системы математических выражений (уравнений). Аналитическое решение таких систем, как правило, невозможно, поэтому используют ЭВМ. Видный советский математик член-корреспондент А. А. Ляпунов подчеркивал, что построение математических моделей при прогнозировании в рамках проблемы «Человек и биосфера» складывается из трех согласованных между собой видов действий.

1. Достаточно полное эмпирическое изучение процессов, подлежащих моделированию, и формулировка тех содержательных вопросов, ответ на которые должна дать модель.

2. Разработка математической теории, адекватно описывающей изучаемые процессы с той степенью детальности, которая требуется для ответа на поставленные вопросы. На базе этой теории строится модель.

3. Получение исходных эмпирических данных, необходимых для функционирования модели. Производство расчетов на основе моделей и их сличение с реальностью; в случае необходимости — улучшение модели, и так до получения удовлетворительного согласия модели и действительности. Затем осуществляется прогнозирование с помощью этой модели.

Итак, первое — изучение процессов в биологических системах, подлежащих моделированию. В предыдущих разделах было показано, насколько сложны взаимосвязи видов и популяций со средой и друг с другом. Еще больше они усложняются, если на природные системы

начинает действовать комплекс факторов — выбросы предприятий, включение в круговорот пестицидов, удобрений и т. д. При этом экологический прогноз возможен при условии знаний о «нулевой точке отсчета», т. е. ненарушенной воздействиями природной системы.

За последние годы в лексикон прогнозистов прочно вошел термин «мониторинг». Термин, официально выдвинутый в начале 20-х годов по отношению к окружающей среде, получил в настоящее время широкое распространение. По мнению И. П. Герасимова, он употребляется в узком или широком смысле. В первом случае под этим термином понимают лишь наблюдение над состоянием окружающей среды. Во втором, более широком, в понятие «мониторинг» включают не только наблюдение, но и контроль и управление состоянием окружающей среды, т. е. то или иное целенаправленное воздействие на нее. Во многих документах считают эти толкования мониторинга лишь его последовательными этапами: от наблюдения к контролю и завершающему управлению, так как ограничение мониторинга одним лишь наблюдением придает ему только пассивное, информационное значение.

Председатель Государственного комитета СССР по гидрометеорологии и контролю природной среды член-корреспондент Ю. А. Израэль так определяет основные задачи системы мониторинга: 1) наблюдение за фактическим состоянием и изменением биосферы; 2) оценка изменений биосферы и их тенденций; 3) прогноз; 4) выявление экологических резервов биосферы. В рамках общегосударственной службы наблюдения и контроля за уровнем загрязнения природной среды наблюдение за состоянием атмосферного воздуха осуществляется более чем в 450 городах страны, изучение состава поверхностных вод — в 4000 пунктах. На 1600 станциях следят за содержанием в морских водах нефтепродуктов и соединений тяжелых металлов. Программа фонового экологического мониторинга в нашей стране реализуется в 7 биосферных заповедниках: Березинском (Белоруссия), Кавказском, Репетекском (Туркмения), Сары-Челекском (Киргизия), Сихотэ-Алинском, Центрально-Черноземном и Приокско-Террасном. Здесь осуществляется абиотическая подпрограмма («геофизический мониторинг») и биологическая подпрограмма («биологический мониторинг»).

Идея создания биосферных заповедников была предложена в ходе подготовки долгосрочной межправительственной и междисциплинарной программы ЮНЕСКО «Человек и биосфера» (МАБ). Их главные задачи: 1) сохранение и восстановление типичных и уникальных экосистем, их генетического фонда; 2) проведение биологического (экологического) мониторинга; 3) изучение влияния антропогенных факторов на естественные экосистемы; 4) природоохранное просвещение и подготовка кадров экологов. В настоящее время в рамках проекта № 14 МАБ создано 193 биосферных заповедника, расположенных в 50 странах. Наблюдения, оценка и прогнозирование состояния природной среды в биосферных заповедниках дают начальную информацию, точку отсчета для дальнейшего определения допустимых уровней антропогенного воздействия на биосферу. Очень важно подчеркнуть, что биологический мониторинг охватывает все уровни организации биологических систем — видовой, популяционный и биоценотический. В заповедниках в первую очередь изучают «скелетные элементы» — массовые и фоновые виды, в идеале представленные целостными популяциями, которые играют наибольшую организационную роль в биоценозах и на которых легче улавливаются различного рода изменения.

Территория биосферного заповедника в принципе должна быть значительной, чтобы захватить естественные экосистемы, не подверженные значительному антропогенному влиянию (от 1—1,5 тыс. га до 10—50 тыс. га). Специфика территории биосферных заповедников состоит в выделении на ней нескольких зон: относительно нетронутой экосистемы, биосферной и восстановительной, а вся территория заповедника окружается охранной зоной. Экологический мониторинг осуществляется во всех зонах. Например, площадь Приокско-Террасного биосферного заповедника около 100 тыс. га, из них: центральное ядро, собственно заповедник,— 5 тыс. га; буферная зона, лесные массивы отделения «Русский лес»,— 25; зона восстановления естественных экосистем — 40; охранная зона — прилегающие сельхозугодья — 30 тыс. га.

На II сессии Международного координационного совета МАБ, которая состоялась в апреле 1974 г. в Париже, было признано важное значение исследований состояния окружающей природной среды и влияния антро-

погенных загрязнений на биосферу. Совет отметил, что основной вклад программы в эту область должен быть ограничен: а) исследованием воздействия загрязнения на структуру и функционирование наземных и пресноводных экосистем; б) разработкой методологии мониторинга этого воздействия.

На XVIII Генеральной конференции ЮНЕСКО, состоявшейся в октябре — ноябре 1974 г., было принято решение о добавлении нового, 14-го проекта к уже существующим 13 под названием «Изучение загрязнения окружающей природной среды и его влияния на биосферу». Результатом выполнения программы исследований в рамках нового проекта должно быть научное обоснование системы мониторинга состояния экосистем и биосферы. Прежде всего должны быть разработаны программы химических и биологических измерений и наблюдений, которые можно использовать в системе мониторинга для оценки существующего и прогнозирования тенденций будущего состояния окружающей среды, испытывающей влияние загрязнений. В связи с этим намечены три направления действий:

1) анализ путей переноса и процессов трансформации загрязняющих веществ в экосистемах;

2) исследование зависимости «доза — ответная реакция» путем полевых наблюдений и лабораторных экспериментов;

3) идентификация показателей изменений в экосистемах, являющихся результатом загрязнения окружающей среды.

По первому направлению исследований предложены такие темы, как влияние кислотных дождей на экосистемы умеренных и тропических зон, комплексное изучение каждого из важнейших загрязнителей, распределение загрязняющих веществ в экосистемах, восстановление экосистемы после воздействия загрязняющего вещества и др.

Большое внимание в программе будет уделено изучению характера и особенностей взаимосвязи «доза — эффект», так как именно эта связь отражает состояние экосистемы, испытывающей воздействие, и реальный ущерб, наносимый биоте загрязняющими природную среду агентами. Наблюдения за характером этой взаимосвязи на базовых и региональных станциях, в центральной и буферной зонах биосферных заповедников

позволяет оценить ответные реакции организмов на воздействие постепенно изменяющихся уровней загрязнения природных сред, что имеет наиважнейшее значение для оценки как нынешнего, так и прогнозируемого состояния биосферы, испытывающей антропогенное воздействие.

Не менее важная задача, на решение которой ориентирована программа проекта № 14,— поиск биологических индикаторов состояния окружающей природной среды на клеточном, организменном, популяционном уровнях и уровне экосистемы. В имеющихся сегодня материалах по проекту особо отмечено, что если методы измерения уровней загрязнения природных сред уже в той или иной мере разработаны, то наши знания эффектов воздействия загрязняющих веществ на биологические системы и подходы к количественной оценке их разработаны чрезвычайно слабо.

Сейчас мониторинг проводится с помощью искусственных спутников Земли, а также с использованием различных групп растений, животных и микроорганизмов как биоиндикаторов условий внешней среды и степени ее загрязнения. Например, по анализу изучения поведения отдельных микробных популяций была проведена оценка состояния степных экосистем Минусинской котловины с разной степенью воздействия фтористых и сернистых соединений. В Чехословакии сделана попытка оценить качество природных вод по показателям темпа роста культур простейших, а в Азербайджане — по соотношению разных видов инфузорий. В Верхней Силезии в качестве биоиндикаторов загрязнения лесных экосистем использовали жуков-жужелиц. Оказалось, что при различной степени загрязнений соотношение видов резко меняется, особенно быстро сокращается доля наиболее крупных видов.

Схема фонового мониторинга загрязнения природной среды и его экологических последствий состоит из нескольких разделов.

1. *Геохимический и геофизический мониторинг.* Цель его — получение информации об уровнях загрязнения природных сред, об интенсивности и характере воздействия загрязнений на биологические системы, а также прогноз уровней загрязнения и воздействий на биоту в будущем. В этом комплексе работ в настоящее время наибольшее развитие получает определение концентра-

ций загрязняющих веществ в атмосферном воздухе, осадках, природных водах, почве, экосистеме в целом. Разрабатываются математические модели поведения загрязняющих веществ в окружающей среде. Дополнительно здесь наблюдают за гидрометеорологическими и климатическими характеристиками, которые должны быть учтены при построении таких математических моделей. В результате этих наблюдений и исследований появляется возможность оценки и прогноза абиотических условий среды и реальных интенсивности и характера воздействий этих факторов на биологические системы.

2. *Биологический мониторинг.* Этот вид мониторинга должен провести оценку и прогноз ответной реакции экосистемы на фоновые воздействия загрязнений.

В основу комплекса работ положено построение математической модели экосистемы, служащей инструментом прогноза изменения состояния экосистем на фоновом глобальном уровне. Модель позволяет получить прогноз о том, когда и под влиянием каких уровней воздействия загрязнений исчезнут наиболее чувствительные к загрязнениям виды, определить очередность их исчезновения или существенного снижения численности популяций той или иной экосистемы.

Можно утверждать, что в настоящее время моделирование занимает основное место в работах по экологическому прогнозированию. Модели очень разнообразны как по задачам, так и по результатам, что можно видеть из приведенных ниже примеров.

1. Для прогноза степени обилия плодоношения ряда видов древесных растений в Латвийском госуниверситете были разработаны модели, в основе которых лежат специфические особенности отдельных видов. При прогнозировании обилия плодоношения учесть все влияющие факторы за весь вегетационный период практически невозможно. Было установлено, что степень обилия плодоношения у древесных растений определяется как биологическими свойствами самого растения, так и влиянием экологических условий в период закладки и развития генеративных почек, цветения и формирования урожая. Для прогноза особый интерес представляет определение влияния экологических (особенно погодных) условий в период детерминации (закладки) генеративных почек. У исследованных видов клена закладка генеративных почек происходит за год до плодоношения, зна-

чит, по экологическим условиям в этот период можно прогнозировать ожидаемое через год обилие плодоношения.

Определенные в результате предварительных исследований факторы, существенно влияющие на степень обилия плодоношения, были взяты в качестве параметров математической модели прогнозирования. Затем была разработана программа для ЭВМ, по которой были определены коэффициенты уравнения для математической модели прогноза плодоношения. После определения коэффициентов уравнений и численных значений параметров влияющих факторов была вычислена ожидаемая степень обилия плодоношения на четыре года. Фактическая степень обилия определялась по мнению трех экспертов. Оказалось, что фактическая степень обилия плодоношения в течение трех лет находилась в пределах доверительных границ прогноза.

2. В разделе об особенностях популяций я приводил пример разнокачественности возрастной структуры популяций у полевок. Исследования показали, что зверьки различного времени рождения (весна, лето, осень) дают различный вклад в рост численности популяции. Но каждый год по своим метеорологическим условиям не похож на другой, разные виды грызунов на эти условия реагируют соответственно своей биологии и образу жизни, а кроме того, год от года в значительной степени изменяются кормовые условия и ряд других факторов. Для целей прогнозирования численности грызунов и проверки некоторых теоретических представлений о механизмах регулирования численности в нашем институте была разработана математическая модель (О. А. Жигальский, см. рис. 1, 2).

В ее основу легли многолетние наблюдения и теоретические представления о биологической разнокачественности животных, составляющих популяцию. В связи с этим в модели популяция красной полевки — одного из наиболее обычных лесных грызунов — представлена в виде групп, включающих в себя особенности возрастной, половой и иерархической структуры популяции. Естественно, что общая численность модельной популяции равна сумме численностей структурных групп. В каждой определенный момент такая группа состоит из различного числа животных, ибо зверьки растут, передвигаются по территории, размножаются и т. д.

Переход животного из одной группы в другую обусловлен комплексом как внешних по отношению к популяции (погодные условия, корм), так и внутрипопуляционных условий. Такова в общих чертах структура модели. Все проведенные на ЭВМ эксперименты показали, что изменение смертности или рождаемости любой генерации (независимо от причин их изменения внешних или внутренних) неминуемо приводит к перестройке возрастной, половой, иерархической и генетической структуры популяции. Интересным оказался тот факт, что если позднелетние грызуны дают свой первый помет лишь весной следующего года, у популяции появляется дополнительный резерв для подъема численности будущего года, который определяется, однако, не только исходной численностью грызунов к весне, но в значительной степени зависит от условий года. Так, если благоприятные условия будут в начале лета, то численность популяции к концу лета возрастет. Если же благоприятные условия наступают в середине лета, численность популяции либо не изменится, либо увеличится незначительно. Благоприятные условия, наступающие только в конце лета, не приводят к подъему численности. Это лишь один частный пример прогнозируюших возможностей модели. В общем, модель решила поставленные перед ней задачи и была удостоена медали ВДНХ СССР.

3. Еще один пример успешного применения математических моделей для целей прогнозирования. В. В. Меньшуткиным на основе двадцатилетних наблюдений биологии лососей оз. Дальнего была разработана модель динамики численности этого вида рыб. Анализ модели на ЭВМ позволил выявить и понять ряд важнейших закономерностей жизнедеятельности камчатской нерки. Сама проблема изучения нерки, обитающей вблизи Камчатки, возникла в связи с тем, что в 40-х годах произошло резкое уменьшение ее стада. Анализируя причины падения численности, ихтиологи оказались в большом затруднении, ибо причин оказалось так много, что выявить самые существенные было сложно. Тогда и возникла идея попытаться сделать это с помощью математической модели. На построенной модели был проведен ряд экспериментов. Оказалось, что основные невзгоды камчатской нерки вызваны двумя причинами: 1) повышенной смертностью молоди в ме-

стах нерестилищ; 2) катастрофическим ростом промысла лососей в открытом море японскими рыбаками. Модель дала недвусмысленный ответ: без морского промысла на восстановление стада лососей после катастрофы 40-х годов потребовались бы годы. Японский лов затягивает этот процесс на десятилетия, а при значительной интенсивности приведет к гибели всего стада. Практическое значение работы было неоспоримо, модель стала официальным и авторитетным помощником при составлении прогноза. А ограничения на вылов лосося в открытом море, принятые правительствами СССР и Японии, позволили сохранить стадо этих ценных рыб.

Значительное число моделей построено для выяснения изменений природной среды под влиянием различных типов загрязнений. Группа ученых под руководством Ю. А. Израэля исследовала имитационную модель региона оз. Байкал для оценки полезности и ущерба применения инсектицидов для борьбы с массовыми хвое- и листогрызущими вредителями леса окрестностей оз. Байкал. При оценке нежелательных побочных эффектов учитывали: вероятность неудачной борьбы, нарушение стабильности лесного биогеоценоза, убыток животноводству и пчеловодству, рекреационный ущерб. В результате расчетов для типичных условий был получен ответ о нецелесообразности химической борьбы с вредителями леса в регионе оз. Байкал.

На той же модели и теми же авторами рассмотрена относительная значимость различных источников загрязнения оз. Байкал. Расчеты показали, что в основном органические вещества поступают в озеро из р. Селенги. Расчеты показали также, что в значительной степени загрязнение озера другими ингредиентами происходит за счет атмосферного переноса загрязнителей с больших расстояний.

За рубежом экологическое моделирование применили, например, для расчета антропогенных последствий загрязнения — эвтрофикации эстуария р. Потамак (США). Модель показала, что урожай синезеленых можно прогнозировать на основе азотного цикла, так как именно наличие азота главным образом контролирует урожай. С помощью модели были определены интегральные допустимые нагрузки азота и фосфора в различных зонах верхнего эстуария, разработаны сезонные требования для допустимой нагрузки и сбросов пи-

тательных веществ. При этом особое внимание должно уделяться поддержанию сбалансированной структуры экологического сообщества в верхней или пресноводной части эстуария. Подсчитано, что расходы для обеспечения соответствующего качества воды в верхнем эстуарии р. Потамак должны составить за 50 лет около 1,34 млрд. долларов.

Примеры математических моделей, которые применяли бы для прямого прогноза на длительное время, малочисленны. Характерно, что сейчас модели используют для решения конкретных сегодняшних задач: применять или не применять пестициды, какую природную среду нужно контролировать прежде всего, какие антропогенные нагрузки допустимы и т. д. Но ведь все эти сегодняшние проблемы невозможно решить без обоснованного прогноза на будущее!

Созданы и используются для прогнозирования модели даже на уровне биосферы. Биосфера на Земле едина для всех народов, поэтому вопросы ее охраны в связи с увеличивающимся воздействием людей на эту тонкую оболочку Земли побудили ученых ряда стран к сотрудничеству в решении общих проблем. В течение десяти лет, с 1964 по 1974 г., биологи всего мира работали по Международной биологической программе (МБП), которая была первой попыткой объединить биологов мира для решения задач, затрагивающих интересы всего человечества.

В работах по МБП участвовало 58 стран и 33 страны проводили отдельные исследования. МБП предусматривала глобальное комплексное изучение биологических основ продуктивности и благосостояния человека. Объединяя биологов разных направлений, МБП способствовала более глубокому пониманию общих процессов создания биомассы и потока энергии через экосистему, что можно рассматривать, как качественный скачок в изучении продуктивности биосферы. Но кроме того, работы по МБП позволили привлечь внимание ученых, а также ряда межправительственных организаций к неблагоприятным изменениям природной среды, особенно к ее загрязнению в результате деятельности человека.

Программа МБП охватила широкий круг исследований. Изучалась биологическая продуктивность суши, пресноводных водоемов и морей на всех трофических уровнях, причем исследования охватили все ландшафт-

ные зоны. Разрабатывались биологические меры защиты от некоторых вредителей сельского хозяйства, велись исследования по фотосинтезу, биологической фиксации азота, по адаптации человека к экстремальным условиям существования, разрабатывались, наконец, теоретические основы наземных сообществ.

Установлено, что наиболее высокой продуктивностью обладают более сложно организованные биогеоценозы, что имеет большое значение для создания искусственных экосистем на территории городов и других населенных пунктов, в рекреационных зонах, в местах рудных разработок и т. д. Очень важно, что накопленные данные стали прочной научной базой для разработки теории биологической продуктивности и прогнозирования продуктивности естественных экосистем, формирование которых происходит в условиях всевозрастающего воздействия человека на биосферу. В результате работ по МБП были построены модели первичной продуктивности биосферы и оценки с их помощью первичной продуктивности суши и океана. Разработанные модели дали оценки в сухом весе первичной продукции для всех районов земного шара в зависимости от таких факторов, как средняя температура, количество осадков, длительность вегетативного периода и интенсивность испарения. Результаты представлены в виде сконструированных на ЭВМ карт земного шара с указанием первичной продуктивности суши и моря.

Интересно отметить, что различные модели, в которых в качестве определяющих продуктивность были выбраны разные климатические факторы, дали сходные оценки первичной продукции: суши—100—120 $\times 10^9$ т/год и моря — 45—55$\times 10^9$ т/год. Они подтвердили правильность использованных экспериментальных данных и построенных по ним зависимостей и общего принципа о том, что для прогнозирования развития экосистемы не надо знать «все».

Основываясь на сделанных оценках для разных районов Земли, была сделана попытка оценить и «вместимость» нашей планеты. Полученные оценки численности населения, при которых возможно устойчивое сосуществование человека и окружающей среды (в рассматриваемом случае — использование только прибавочной первичной продукции), равны 2—3 млрд. человек при обеспечении уровня жизни современного индустриаль-

ного общества и 5—7 млрд. человек при уровне жизни, характерном для стран с преимущественно сельскохозяйственным населением. Полученные оценки еще раз подтверждают, что сейчас мы вплотную подошли к тому пределу, за которым предотвращение глобального экологического кризиса станет чрезвычайно трудным.

Еще одна глобальная модель — круговорот углерода в биосфере. Эта модель с математической точки зрения разработана существенно глубже предыдущей. Она записывается в виде уравнений для потоков CO_2 между восемью основными блоками: углерод зеленой фитомассы леса, углерод древесины и корней живых растений, углерод живой фитомассы травянистых растений, углерод атмосферы и т. д. Разработанная структура модели позволила дать обоснованный прогноз содержания CO_2 в атмосфере к 2000 г.: оно повысится на 21—24% по сравнению с 1970 г. и составит 387—398 объемных частей на миллион. Согласно прогнозу на земном шаре повысится и средняя температура — на 0,30—0,45°С. Любопытно предсказание о том, что, несмотря на повышение температуры, зона наиболее интенсивного перемешивания в океане, т. е. зона, в которой возможна наиболее интенсивная жизнедеятельность, не расширится, а сместится к полюсам. Подобное явление представляется справедливым и для суши, и в результате можно думать, что надежды на повышение продуктивности всей планеты в результате потепления необоснованны.

Обратимся теперь к некоторым примерам моделей, разработанных за последнее время в непосредственной связи с решениями партии и правительства. В соответствии с постановлением ЦК КПСС и СМ СССР от 16 января 1976 г. «О предотвращении загрязнения бассейнов Черного и Азовского морей» в дальнейшем в регионе будет прекращено поступление загрязняющих веществ в морскую среду. Кроме того, разрабатываются два проекта переброски вод. Для оценки эффективности этих мер необходим количественный анализ последствий их воздействия. Ростовскими учеными под руководством члена-корреспондента Ю. А. Жданова была построена имитационная модель (ИМ) сложной экосистемы Азовского моря, которое на основании распределения компонент экосистемы разделено на 7 районов. В разработанной ИМ учитываются все наиболее существенные гидрологические, физические, химические, биологические про-

цессы, а также факторы внешней среды, антропогенных воздействий (всего 120 параметров). Модель состоит из 16 сравнительно автономных подмоделей (блоков). Разработка подмоделей ведется параллельно. Блоки верифицируются и внедряются по мере их завершения. Структура модели позволяет наращивать число блоков, учитывать новые факторы и сведения, уточнять полученные прогнозы. Расчеты на модели, выполненные с помощью ЭВМ, позволили сделать выводы о жизнедеятельности экосистемы Азовского моря, установить общие количественные закономерности функционирования морских экологических систем, определить критические значения основных параметров «настройки» системы и время установления равновесных состояний. Разработанная модель была применена для анализа крупных водохозяйственных проектов регулирования Азовского моря.

Особое значение приобретает экологический прогноз в связи с широко обсуждаемой переброской части стока северных и сибирских рек на юг. В решениях XXVI съезда КПСС по Основным направлениям экономического и социального развития СССР на 1981—1985 гг. и на период до 1990 г. указывается на необходимость приступить к проведению подготовительных работ по переброске части стока северных рек в бассейн р. Волги. Сибирские ученые, занимающиеся вопросами изучения ожидаемых тенденций изменений природной среды на Западно-Сибирской равнине при перераспределении речного стока (Г. В. Бачурин, В. В. Буфал и др.), подчеркивают, что с технической точки зрения переброска речного стока вполне осуществима, однако научная теория влияния такого перераспределения на природу находится пока в самой начальной стадии формирования, поэтому комплексный прогноз возможен только на основе большого числа исследований многих научных, проектных и практических учреждений страны. Сейчас уже можно рассмотреть первые итоги такой работы.

Проблема территориального перераспределения водных ресурсов рассматривается давно. Ею занимались отдельные специалисты и целые научные коллективы много лет, накоплен достаточно обширный материал полевых исследований и большой опыт эксплуатации уже осуществленных крупных гидротехнических комплексов и отдельных локальных перебросок стока. Под руководством специалистов Института водных проблем

АН СССР была разработана программа научно-исследовательских работ по прогнозированию изменений природных условий в районах переброски стока рек. Ее осуществление предполагает ряд этапов.

На первом этапе должны быть представлены обобщенные данные по прогнозам вероятных изменений природно-климатических, экологических и других условий в связи с первой очередью переброски части стока, а также разработаны рекомендации по максимальному предотвращению отрицательных воздействий переброс стока на окружающую среду.

Второй этап предусматривает выполнение большого комплекса научных исследований для обоснования объемов и очередности последующих работ по территориальному перераспределению водных ресурсов в целом по территории Союза, с учетом влияния этого перераспределения на экологические и социально-экономические процессы.

В рамках общих исследований определен ряд аспектов прогнозирования — прогноз изменений климата, состояния вечной мерзлоты, изменения качества воды, гидрологические изменения и т. д. Среди экологических проблем прогноза можно назвать возможности переселения на юг представителей флоры и фауны северных речных вод, изменения растительности в зонах подтопления и т. д. Очень важное значение имеет прогноз влияния перераспределения стока на биологические ресурсы, особенно на рыбу. Специалисты-ихтиологи (О. П. Новицкий, А. З. Амстиславский), разбирая эти вопросы на примере р. Оби, наиболее рыбопродуктивной реки Сибири, подчеркивали, что при прогнозе последствий осуществления крупных водохозяйственных мероприятий в Обском бассейне необходимо четко представлять «порог устойчивости» экосистемы. Определение предела возможного вмешательства в режим экосистем антропогенных факторов — наиболее актуальная задача экологического прогнозирования.

Несомненно, что для всесторонней научной оценки режима работы водной экосистемы Обского бассейна в условиях растущего водозабора и гидростроительства необходимо знать продуктивность ее отдельных звеньев. К сожалению, слабая изученность трофической цепи огромной экосистемы делает этот метод неприемлемым. Следует также отметить стремительный рост антропо-

генного пресса на экосистему бассейна в последнее десятилетие. Учитывая динамику изменений, можно полагать, что традиционный подход к изучению экосистемы, требующий многолетних тщательных исследований по функционированию всех звеньев трофической цепи, в современных условиях не даст положительных результатов.

Проблема, касающаяся методического подхода к прогнозированию будущего Обского бассейна,— одна из тех, осуществление которых отложить нельзя. По мнению Новицкого и Амстиславского, принципиальное решение данной проблемы может быть получено путем оценки функционирования экосистемы по одному из конечных звеньев трофической цепи, т. е. по рыбной продукции. Речные водоемы бассейна Оби представляют собой единую экологическую систему. Анализ воды экосистемы Обского бассейна по его высшему трофическому звену показал, что запас прочности ее невелик. Есть все основания считать, что снижение водности весенне-летнего паводка более чем на планируемые к изъятию 20—25 км^3 (без учета роста загрязнения), приведет к общим изменениям существующей экосистемы, вследствие чего использование речной системы как рыбопромышленной базы бассейна окажется невозможным, если не будут разработаны специальные мероприятия по ее сохранению.

Дело в том, что для воспроизводства и нагула полупроходных сиговых рыб бассейна главным фактором является гидрологический режим Оби в весенне-летний паводок. Водность Оби в этот период оказывает влияние на весь цикл воспроизводства сиговых рыб бассейна. Низкие паводки сокращают период нагула рыб в пойменных водоемах, в результате чего не только снижаются навески полупроходных рыб, но также наблюдается более позднее созревание производителей, уменьшение плодовитости и качества икры. Ухудшение условий нагула скатившихся с нерестилищ личинок, особенно выклюнувшихся из мелкой икры с незначительным запасом питательных веществ, резко сокращают их выживаемость и, следовательно, промысловый возраст. Кроме того, в период низких паводков происходит перестройка приустьевых участков рек, что затрудняет проход производителей на нерестилища.

Следовательно, критическое положение для полупро-

ходных рыб бассейна наступит при отъеме 35—40 км³. Снижение водности реки на названную величину окажет самое отрицательное влияние на жизнедеятельность полупроходных рыб. В частности, произойдет нарушение репродуктивности циклов сиговых рыб, массовый пропуск нерестовых циклов и резкое снижение промыслового возврата. Значит, рост безвозвратного водопотребления из весенне-летнего паводка непременно скажется на состоянии кормовой базы Обской губы. При этом следует иметь в виду, что мероприятия по сохранению полупроходных рыб (муксуна, пеляди, чира, сига, ряпушки и др.) путем их искусственного воспроизводства будут неэффективны прежде всего из-за незначительной приемной «емкости» водоемов в продолжительные маловодные периоды. В итоге очевидна необходимость развертывания в срочном порядке обширных научно-исследовательских работ, направленных на поиск путей преодоления возможных негативных последствий проектируемых мероприятий по изменению режима вод Обского бассейна.

Институтом биологии Коми филиала АН СССР разработан прогноз ожидаемых изменений природной среды при отъеме части стока р. Печоры. Прогноз построен на основании большого числа многолетних исследований почв, лесов, животных и растительных сообществ. Это, по существу, прогноз, построенный методом коллективной экспертной оценки. Вывод экспертов сводится к тому, что предложенные варианты переброски стока р. Печоры приведут к необратимым нарушениям природных экосистем на Севере.

Экологический прогноз изменений экосистемы Онежского озера при планируемой переброске вод транзитом через озеро с севера на юг был дан на основе имитационной модели. Были рассмотрены следующие варианты: нормальные условия (отсутствие переброски); транзит 7 км³ в год: транзит 30 км³ в год. Был сделан прогноз концентраций основных биологических компонентов в различных частях озера на три года вперед. Оказалось, что экосистема Онежского озера наименее чувствительна к сливу из озера некоторого количества воды. Просчеты варианта со сливом не показали какого-либо существенного отклонения от наблюдаемого равновесного состояния. Напротив, переброска через озеро большой массы воды с высоким содержанием биогенных элементов ока-

зывает существенное влияние на концентрацию биологических компонентов, введенных в модель. В частности, в Повенецком заливе через три года количество фитопланктона увеличится в 36 раз, зоопланктона в 80 раз, а бактерий в 15 раз. Модельные прогнозы показывают, что проекты по транзитной переброске вод приводят, по мнению авторов работы, к недопустимо высокому воздействию на экосистему озера.

В ближайшие годы большим числом научных учреждений предусматриваются дальнейшие интенсивные исследования биологических процессов в районах возможного отъема и переброски воды в целях прогнозирования изменения экологических процессов и разработки мер, направленных на предотвращение вероятных нежелательных последствий такой переброски. Несмотря на достаточно широкое сейчас распространение экологических прогнозов и интенсивную разработку методики их построения, приходится констатировать, что далеко не все они оправдываются даже в сравнительно короткий период действия.

Вот один из таких примеров, приведенный Н. Ф. Реймерсом. Еще недавно ресурсы океана казались безграничными. В книге «Мир в 2000 году. Свод международных прогнозов», изданной на русском языке в 1973 г., предрекалось, что в 1980-е годы мы будем ловить в океане не менее 100 млн. т рыбы и рыбопродуктов. Прогнозисты исходили из того, что ежегодный рост добычи рыбы непрерывно возрастал. Они экстраполировали, не замечая, что оперируют не с ресурсами океана, а с методами их извлечения — ростом технической вооруженности флотов. Никто как следует не подсчитал, а сколько же в океане рыбы, каковы возможности самовосстановления ее ресурсов. Добыча рыбы с года написания книги «Мир в 2000 году» не только не увеличилась, но даже несколько упала, хотя технические мощности лова растут... Яркий пример неверной экстраполяции в большую сторону. Не оправдались надежды на безмерные биологические ресурсы океана. Повлиял не только перевылов сам по себе, но резкое качественное изменение структуры промысловых популяций морских организмов.

Далеко не всегда оправдываются прогнозы, касающиеся воздействия вредных веществ на природу и оценки предложенных природоохранных мероприятий. И. П.

Герасимов считает, что причина подобных просчетов чаще всего заключается в трудности достоверного прогноза «обратной реакции» природной среды на антропогенное вмешательство, в отсутствии научно обоснованных методов оценки допустимой степени такого вмешательства, в ограниченности представлений о научной сущности противоречий, возникающих между задачей необходимости охраны среды и интенсивным использованием ее ресурсов. Недостаточность многих усилий по защите окружающей среды, целенаправленному ее преобразованию определяется, по его мнению, очевидной нехваткой научных знаний об основных свойствах окружающей среды, формах и уровнях ее организованности, о структурных механизмах, физической сущности природных процессов и динамике их изменений, вызванных антропогенными факторами. С этим нельзя не согласиться.

Московские географы Ю. Г. Ермаков и А. М. Рябчиков, проанализировав работы, появившиеся в последние годы за рубежом, отмечают, что до начала 60-х годов прогнозы состояния окружающей среды были единичны, но с середины 60-х годов наблюдается «взрыв» прогнозов. Это связано с целым рядом социально-экономических причин.

Сейчас все больше появляется попыток прогнозирования целостной эколого-экономической системы (природы и производства). Конечной целью такого прогноза должно быть согласование максимально возможных темпов экономического роста с экологически допустимым уровнем загрязнения (или с заданным качеством) окружающей природной среды. Важнейшая проблема современной экологии — проблема оптимизации взаимоотношений человека и природы. Дальнейшее всестороннее развитие экологических исследований и на их базе — теории и практики экологического прогнозирования диктуется необходимостью одной из перспективных важнейших задач человеческого общества — разработке системы управления жизнью на нашей планете.

В заключение я еще раз хочу подчеркнуть, что, несмотря на несомненную важность экологического прогнозирования, оно, по существу, еще только делает первые шаги: нет еще достаточно разработанной теории, не всегда уровень современных знаний позволяет вскрыть

необходимые для прогноза причинно-следственные связи в очень сложных природных процессах. Однако исследования ведутся широким фронтом учеными разных специальностей, и успехи уже видны.

ЛИТЕРАТУРА

1. Закономерности и прогнозирование природных явлений. М., Наука, 1980.
2. Красная книга СССР. Редкие и находящиеся под угрозой исчезновения виды животных и растений. М., Лесная промышленность, 1978.
3. Моделирование биогеоценотических процессов. М., Наука, 1981.
4. Моделирование и прогнозирование в экологии. Рига, Латвийский госуниверситет им. П. Стучки, 1978.
5. Наумов Н. П. Экология животных. М., 1963.
6. Новиков Г. А. Основы общей экологии и охраны природы. Л., 1979.
7. Общество и природная среда. Сборник. М., Знание, 1980.
8. Ожидаемые изменения биологических ресурсов при переброске части стока р. Печоры на юг. Серия препринтов «Научные доклады». Вып. 82. Сыктывкар, Коми филиал АН СССР, 1982.
9. Рабочая книга по прогнозированию. М., Мысль, 1982.
10. Шварц С. С. Эволюция биосферы и экологическое прогнозирование.— Мир науки, 1976, 20, № 2.
11. Экологическое прогнозирование. М., Наука, 1979.
12. Яблоков А. В., Юсуфов А. Г. Эволюционное учение. М., Высшая школа, 1976.

ВСЕГДА ЛИ СБЫВАЮТСЯ ПРОГНОЗЫ?

По свидетельству Г. М. Кржижановского, в один из солнечных дней 1922 года В. И. Ленин обратил внимание на дым, валивший из труб первой Московской электростанции. Владимир Ильич довольно резко заметил, что техника, которая вредит здоровью людей, нам не нужна: «Нельзя создавать условия жизни, когда в городах, люди, как говорил Энгельс, задыхаются в собственном навозе и спасаются кто как может и кто куда может в поисках свежего воздуха и чистой воды. Но и это бегство не спасает. С течением времени «железная пята» этаких электростанций и других промышленных левиафанов может растоптать и пашню, и лес, ступить на берега прозрачных рек. И люди будут мечтать о глотке чистого воздуха и свежей воды. Социализм немыслим, невозможен без дружбы с природой... Серьезно, очень серьезно подумайте об этом в Госплане».— Это яркий пример гениального и мудрого предвидения (Урланис Б. Ц. Проблемы динамики населения СССР. М., Наука, 1974).

С. С. Шварц в опубликованной в 1972 г. статье «Материалы к составлению долгосрочного прогноза развития популяционной экологии» представил следующий прогноз: «В ближайшее десятилетие следует ожидать значительного совершенствования методов экологических исследований. Автоматическая маркировка животных, маркировка радиоизотопами, телеметрия, дистанционное наблюдение за физиологическим состоянием животных, учеты численности с самолетов и вертолетов, приборы ночного видения и т. д. войдут в повседневную практику полевой работы экологов. Следует ожидать и значительно более широкого применения физиологической и биохимической техники при решении экологических задач... Следует подчеркнуть, что в рассматриваемый период можно ожидать психологических сдвигов в сознании экологов в отношении применения в практической работе сложных технических средств исследования, значительно упрощающих практическую реализацию теоретических идей... До тех пор пока задача подготовки биологов-инженеров различных специальностей не будет решена, научно-технический прогресс в тех отраслях практики, которые связаны с природопользованием, будет лишь ограниченным и локальным. Поэтому разработка систем подготовки кадров биологов-инженеров (в том числе и разработка программы их подготовки) должна рассматриваться в качестве одной из основных задач экологии на ближайший период. Эта задача должна быть в основном решена к 1980 г. ..Можно полагать, что к 1980 г. математические методы изучения популяционных явлений и процессов будут разработаны. Параллельно с этим следует ожидать дальнейшей работы по моделированию динамики популяций по упрощенной, сильно идеализированной схеме. Это создаст предпосылки для решения более сложной задачи — моделирования динамики реальных биогеоценозов. Следует стремиться в течение ближайших 10 лет довести эти работы до такой степени конкретности, которая необходима для внедрения математического моделирования популяционных явлений в производство...» (Экология, 1972, № 6).

К настоящему времени часть высказанных С. С. Шварцем прогнозов полностью реализована, практическая реализация других (например, касающихся подготовки биологов-инженеров разных специальностей) так и не была начата.

Интересные прогнозы были опубликованы в книге «Мир в 1984 году», которая была издана в Англии в 1964 г. и в СССР была опубликована в 1969 г. под названием «Горизонты науки и техники» (М., Мир, 1969). В книге содержатся прогнозы видных ученых и руководителей крупнейших промышленных организаций США, Англии, Франции и других стран.

Так, Олаф Хелмер, доктор математики и логики, главный математик «Рэнд корпорейшн», один из разработчиков метода Делфи, писал, что многие достижения науки могут быть предсказаны с большой вероятностью. Однако оценить сроки их осуществления не так легко. К примеру, по проблеме искусственного зарождения жизни были получены результаты опроса методом Делфи примерно 20 ученых разных специальностей. Одна четверть экспертов полагала, что успех будет впервые достигнут к 1979 г., вторая четверть — между 1979 и 1989 гг., третья — между 1989 и 2000 гг. Остальные 25% экспертов полагали, что это произойдет не раньше 2000 г. или же не случится вообще.

Основоположник кибернетики Норберт Винер писал, что основные проблемы биологии должны быть связаны с системами и их организацией в пространстве и времени. Огромную роль здесь должна сыграть самоорганизация. Мое предсказание для науки о жизни сводится к тому, что она ни в коей мере не будет поглощаться физикой. Наоборот, биология будет все более ассимилировать различные разделы физики.

Профессор Франсуа Бурльер, президент Международного союза по охране природы и природных богатств, выступил с рядом прогнозов, касающихся взаимодействия человека с природой. Он писал: «Быстрое увеличение населения различных стран мира, освоение ранее не возделываемых земель для обеспечения продовольствием и индустриализация прежде слаборазвитых стран — все это говорит о том, что в течение ближайших 20 лет (1964—1984 гг.) во всех странах произойдут радикальные изменения: на смену диким животным и растениям придут домашние животные и культивированные растения. Человек будет регулировать биологическое воспроизводство на Земле только в собственных интересах и за счет дикой природы. Многие пессимисты предсказывают исчезновение некоторых крупных животных в Африке и других местах, а также полную замену всех лесов искусственными посадками, которые растут быстрее и дают больше древесины, чем дикие. Другие предсказывают общее загрязнение воды и воздуха... Во всех сельскохозяйственных районах с плодородными почвами как в тропиках, так и в умеренной зоне к 1984 г. почти не останется дикой природы. Механизация сельского хозяйства и широкое применение гербицидов и инсектицидов приведут к полной монополии человека над производительностью животных и растений. Плодородные почвы будут превращены в гигантские «фабрики калорий», неодомашненным животным и растениям не останется места. В некоторых местах будут созданы резервации для научных и эстетических целей. Они станут экологическими островами — изолированными экспонатами — среди враждебного им мира и, несомненно, будут требовать осторожного обращения.

При условии их достаточного количества и экологического самовоспроизводства подобные резервации (в условиях одного континента — целая система) должны обеспечить выживание достаточно больших групп не только местных животных, но и мигрирующих птиц... Вполне возможно, что в 1984 г. почти все оставшиеся животные на земном шаре укроются в заповедниках. Наше поколение должно считать своим долгом обеспечить такое положение, чтобы во всемирной системе резерваций и заповедников было представлено достаточно большое количество представителей каждой экологической системы Земли. Заповедники будут лабораториями на открытом воздухе для будущих экологов и этологов.

В качестве примера современного прогноза можно привести долгосрочный прогноз возможного влияния строительства металлургического комбината в Южной Якутии и развития добывающей промышленности, который содержится в статье П. Н. Бургасова «Развитие производительных сил и здоровье человека в условиях Севера Сибири», которая была опубликована в сборнике «Социально-экономические аспекты проблемы природопользования на Севере Сибири» (Якутск, 1979). В этой работе П. Н. Бургасов отмечал, что в случае строительства металлургического комбината в Южной Якутии произойдет распространение водных загрязнений на 500 км, будет уничтожена растительность и опасно загрязнена почва в зоне 70 км. Поэтому был сделан вывод о том, что промышленное развитие Южной Якутии следует ограничить добычей и переработкой полезных ископаемых. Было предсказано, что если не будут приняты меры в области охраны среды в добывающей промышленности, то к 2000 г. в Южной Якутии образуются обширные зоны с уровнями загрязнений, которые можно расценивать как чрезвычайно опасные. Значение подобных прогнозов, побуждающих к активным действиям ради того, чтобы они не осуществились, по нашему мнению, трудно переоценить.

Практика строительства ирригационных сооружений насчитывает не менее 6000 лет. И на первый взгляд накоплен достаточный опыт, позволяющий прогнозировать те или иные возможные последствия. Но вот пример неверного прогноза, который приводит Л. Браун в статье «Производство пищи человеком как процесс в биосфере».

Расчеты водохранилища в Западном Пакистане давали срок его существования не менее 100 лет, и с учетом этого было потрачено на его строительство 600 млн. долл. На деле оказалось, что из-за сильного эрозионного сноса оно просуществует не более 50 лет и целиком заполнится грязью.

Другой пример курьезного прогноза. В прошлом в течение длительного времени одна лошадь или один мул (основной источник энергии в сельском хозяйстве) могли обеспечить прокормление 4 человек. Исходя из такого соотношения, прогноз 1870 г., сделанный экономистами, предполагал наличие в 1970 г. в мире 50 млн. лошадей и мулов. Но последовавшее вскоре внедрение машин с двигателями внутреннего сгорания привело к тому, что фактически лошадей в 1970 г. оказалось всего 1,5 млн. голов и только часть из них непосредственно использовалась в сельскохозяйственных работах (Браун Х. Производство промышленных материалов человеком как процесс в биосфере.— В кн.: Биосфера. М., Мир, 1972).

СОДЕРЖАНИЕ

Введение 3
Что такое экологическое прогнозирование? 4
Современная экология — научная основа охраны среды . 8
Экология видов 8
Экология популяций 12
Экология сообществ (биогеоценология) 23
Теория и практика экологического прогнозирования . . 32
Моделирование 41
Литература 60
В конце номера. Всегда ли сбываются прогнозы? 64

Владимир Николаевич Большаков

ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЕ

Редактор **И. Тужилина**
Заведующий редакцией естественнонаучной литературы **А. Нелюбов**
Мл. редактор **А. Кузнецов**
Художник **Н. Константинова**
Худож. редактор **Т. Егорова**
Техн. редактор **А. Красавина**
Корректор **Н. Мелешкина**

ИБ № 5690

Сдано в набор 24.02.83. Подписано к печати 21.04.83. А 09649. Формат бумаги 84×108¹/₃₂. Бумага тип. № 2. Гарнитура литературная. Печать высокая. Усл. печ. л. 3,36. Усл. кр.-отт. 3,57. Уч.-изд. л. 3,55. Тираж 42 720 экз. Заказ 408. Цена 11 коп. Издательство «Знание». 101835, ГСП, Москва, Центр, проезд Серова, д. 4. Индекс заказа 836105.
Типография Всесоюзного общества «Знание», Москва, Центр, Новая пл. д. 3/4.

11 коп. Индекс 70071

ДОРОГОЙ ЧИТАТЕЛЬ!

Брошюры этой серии в розничную продажу не поступают, поэтому своевременно оформляйте подписку. Подписка на брошюры издательства „Знание" ежеквартальная, принимается в любом отделении „Союзпечати".

Напоминаем Вам, что сведения о подписке Вы можете найти в „Каталоге советских газет и журналов" в разделе „Центральные журналы", рубрика „Брошюры издательства „Знание".

Цена подписки на год 1 р. 32 к.

СЕРИЯ

БИОЛОГИЯ