

ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ НОРМИРОВАНИЕ АНТРОПОГЕННЫХ НАГРУЗОК. II. МЕТОДОЛОГИЯ

В. С. Безель, Ф. В. Кряжимский, Л. Ф. Семериков, Н. Г. Смирнов

Обсуждается специфика понятия экологической нормы. Явление адаптации биологических систем различного ранга к неблагоприятным факторам среды рассматривается в качестве необходимого элемента биологической нормы. Рассматривается соподчиненность различных уровней экологического нормирования (ландшафтно-географического, биогеоценотического, популяционного). В соответствии с этим исследована возможность использования для регламентации антропогенных нагрузок показателей биологического разнообразия. Сформулированы основные требования к видам-индикаторам, взятым в качестве объекта нормирования популяционного ранга.

Поставлена проблема экстраполяции данных экспериментальной экотоксикологии на природные объекты. В практическом плане изучена возможность введения временных категорий экологических норм.

При всей очевидной значимости практических аспектов экологического нормирования можно говорить лишь о некоторых общих подходах к оценкам влияния антропогенных нагрузок на природную среду. Рассмотрим некоторые вопросы методологии экологической регламентации.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ НОРМЫ

До настоящего времени теория функционирования биологических систем разработана недостаточно. Знать, как формируется нормальное состояние системы — это значит понять, как она функционирует. Останемся на некоторых положениях, определяющих специфику экологической нормы.

1. Обсуждавшаяся раньше возможность существования систем надорганизменного ранга в нескольких метастабильных состояниях (Безель и др., 1992) делает проблему определения нормы биологической системы достаточно неопределенной. Это связано с неизбежной антропоцентрической позицией, требующей максимального удовлетворения потребностей человека. С другой стороны, существуют объективные закономерности функционирования таких систем и необходимость выполнения ими специфических функций в системах более высокого ранга. Несовпадение этих требований часто ставит нас перед необходимостью принятия в каждом конкретном случае допустимой нормы воздействия.

2. Наиболее характерным показателем нормы биологических систем является способность их к изменению функциональных параметров, чтобы поддерживать систему в условиях оптимума. Иначе говоря, норма целого — это норма взаимодействия его частей в процессе приспособления биологической системы к условиям существования. Так, если в качестве объекта нормирования рассматривать популяцию организмов, то в силу исходной разнокачественности составляющих ее отдельных эколого-функциональных группировок ответ популяции как системы взаимодействующих особей на любые внешние воздействия будет отражать это разнообразие. Даже в случае морфологически (фенотипически) однородной популяционной группировки существует скрытый резерв (внутрипопуляционной) генетической изменчивости, который проявляется при изменении интенсивности внешних экологических факторов. Этот резерв, часто определяемый как адаптивный потенциал системы, является необходимым компонентом ее нормы.

Процессы приспособления (адаптации) живых организмов к неблагоприятному влиянию внешней среды широко обсуждаются в биологии и учитываются, в частности, в токсикологии при оценке допустимых

уровней воздействия на человека. Для биологических систем можно говорить по крайней мере о трех уровнях адаптации.

Прежде всего, это приспособительные реакции в организмах, выраженные в разнообразных коррекциях биохимических, физиологических и иных процессов, обеспечивающих их нормальное функционирование. Порог индивидуальной толерантности организмов определяется по снижению репродуктивных функций, повышению заболеваемости или смертности.

Во-вторых, это приспособительные реакции надорганизменного характера, типичные для природных систем, подверженных в пределах одного или нескольких компонентов влиянию неблагоприятных факторов. Под термином «адаптация» в данном случае подразумевается поддержание популяцией некоторого нормального уровня ее функционирования (за счет толерантных особей, их фертильности, плодовитости и т. д.). Порог адаптации популяции под воздействием неблагоприятных внешних факторов выражается в резком возрастании изменчивости особей за счет «включения» скрытого резерва генетической изменчивости популяции, ведущего к появлению несбалансированных фенотипов, резко уклоняющихся от среднего, «оптимального» в нормальных условиях фенотипа.

Наконец, выделяют процесс адаптивной микроэволюции. При длительном воздействии на популяцию неблагоприятных факторов (десятки и сотни поколений), благодаря огромному резерву наследственной изменчивости, в результате отбора популяция проходит через ряд этапов снижения и восстановления численности. Формируются новые популяционные параметры и новая адаптационная норма.

В реальных условиях разные уровни и этапы адаптивного процесса взаимно дополняют друг друга. Во всяком случае при нормировании внешнего воздействия важно знать, на каком уровне и этапе адаптации находится популяция, выбранная в качестве индикатора такого воздействия.

Можно привести примеры адаптации растительных популяций к загрязнению почвы. Так, в сообществах полевицы (*Agrostis stolonifera*) на лугах различного возраста, находящихся в зоне аэральных выбросов медеплавильного завода, со временем возрастает доля растений, обладающих повышенной толерантностью к действию меди (Wu et al, 1975). При возрасте луговых сообществ 70 лет до 60 % растений обладают повышенной устойчивостью к этому элементу, в то время как на молодых лугах (не более 4 лет) лишь 4—6 % всех растений. Аналогичные популяционные эффекты адаптации к действию загрязнителя описаны и для другого вида полевицы (Mc Neilly, 1968).

Еще один момент прямо связан с процессами популяционной адаптации. Факт повышенной изменчивости некоторых показателей, возникающий под антропогенным влиянием, отмечается многими исследователями на растительных и животных объектах. Является ли многообразие форм (в приведенных примерах это индексы толерантности растений на загрязненных участках) благом для популяции?

Можно полагать, что повышенная изменчивость популяции в этих условиях есть следствие начала потери устойчивости системы. Очевидно, в дальнейшем, если рассматривать антропогенный фактор в качестве постоянно действующего, из широкого набора форм, присутствующих в популяции и в различной мере приспособленных к его влиянию, видимо, будут вымирать менее приспособленные, изменчивость уменьшится и сформируется новая норма из более приспособленных особей. При этом повышение популяционной устойчивости по отношению к конкретному антропогенному фактору, видимо, сопровождается потерей иных свойств, обеспечивающих популяционную приспособленность в «обычных» природных условиях. Ведь не случайно популяция на чистых

участках состоит из иных форм растений по сравнению с загрязненными.

3. Реакция природных систем надорганизменного уровня на антропогенное воздействие носит неспецифический характер. На влияние как естественно-климатических факторов, так и факторов антропогенного происхождения система отвечает «традиционным» комплексом реакций, закрепленных в процессе длительной эволюции. Эта неспецифичность ответа затрудняет идентификацию конкретного фактора, поскольку одна и та же реакция системы может быть обусловлена действием нескольких факторов, в том числе и природных.

Так, суховершинность древостоя и снижение его общей продуктивности могут быть вызваны азральными выбросами загрязнителей (например, сернистым газом) и подтоплением территории, связанным с изменением гидрологического режима местности, или еще целым рядом причин. С другой стороны, именно неспецифичность реакции биологических систем позволяет нам интегрировать действие разнообразных неблагоприятных факторов, оценивая общее состояние биоты. Кроме того, накопленные знания об ответе биологической системы на действие «традиционных» природных факторов позволяют предвидеть процессы, защищающие системы и компенсирующие неблагоприятное влияние «нетрадиционных» антропогенных факторов. Это, естественно, расширяет наши представления о функционировании биологических систем в норме.

4. Опыт диагностики состояния биологических систем любого ранга показывает, что норма не может быть сведена к простой совокупности среднестатистических величин, характеризующих основные функциональные параметры. Поскольку не разработаны основные принципы формализации биологической значимости разнородных показателей, то задача диагностики нормального состояния системы как целого в настоящее время представляется достаточно неопределенной. Это вынуждает нас идти на серьезные упрощения. Состояние нормы, определяемое по комплексу наиболее информативных показателей, можно рассматривать через их естественную вариабельность, отражающую как колебания эколого-климатических факторов, приуроченных к определенным эколого-географическим зонам, так и вызванных закономерностями саморазвития биологических систем. В связи с этим подход, основанный на анализе банков данных многолетней динамики таких показателей, оказывается недостаточным, если не учитывать разномасштабность динамики и периодическую смену направлений в пределах эволюционного, исторического и актуального масштабов времени (Безель и др., 1992). Имеющиеся банки данных, как правило, охватывают периоды всего в несколько десятилетий и, следовательно, характеризуют лишь небольшой отрезок в среде флуктуаций актуального масштаба. Для полноценного определения нормы необходимо не просто более длительный ряд наблюдений и не простое выведение средних параметров за этот период, а анализ материала как временного ряда с вычленением в нем флуктуаций разного уровня и направления. Получение таких данных возможно как с помощью регистрирующих структур типа древесных колец, так и при применении богатого арсенала методов исторической экологии («Антропогенные факторы...», 1981).

Мы должны исходить из того, что антропогенное воздействие может быть признано несущественным только в том случае, если вызываемые им изменения не выходят за пределы колебаний статистической нормы. Именно статистический подход к определению границы нормы подразумевает некоторый произвол при выборе статистических критериев значимости различий. В любом случае мы априори задаемся некоторыми статистическими критериями, определяющими вероятность того, что биологическая система, характеризуемая набором параметров, не выхо-

дящих за пределы определяемой нами нормы, все же окажется «пораженной».

В заключение отметим, что экологические нормативы следует рассматривать в качестве временной категории. В ряде случаев возможен пересмотр введенных норм в зависимости от изменения конкретной ситуации. Например, в агроэкосистемах то, что сегодня является нормой, завтра может быть изменено в связи с использованием новых видов удобрений или пестицидов, искусственного структурирования почв, изменения капельного полива и т. д.

УРОВНИ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО НОРМИРОВАНИЯ

Отличительной особенностью биологических систем надорганизменного ранга является их пространственная и временная протяженность. Это обстоятельство, а также наличие нескольких соподчиненных уровней функционирования определяют масштаб нашего подхода к выбору объекта экологического нормирования. Экологическая регламентация, следуя здравому смыслу, означает ограничение общей антропогенной нагрузки на элементарную ландшафтно-географическую единицу (промышленно-территориальный комплекс), интегрирующую все разнообразие действующих природных и антропогенных факторов. Вместе с тем такая ландшафтно-географическая единица занимает самостоятельное место в круговороте вещества и поддерживает его устойчивость.

Подобный ландшафтно-географический комплекс представляет собой совокупность взаимосвязанных отдельных биогеоценозов, объединенных в единую систему за счет потоков абиотических веществ, переноса биомассы, энергии и информации. Из-за природного разнообразия биоценозов и неравномерности нагрузки отдельные элементы ландшафта не в равной мере подвержены действию антропогенного пресса. Поэтому стремление в целях экологического нормирования оперировать некоторыми интегральными показателями, характеризующими состояние ландшафтного комплекса в качестве целостной биологической системы, трудно реализовать практически. Последнее обстоятельство требует перехода к локальному или биогеоценозическому уровню регламентации.

В этих целях необходимо выделение некоторого числа биогеоценозов, в силу своей метаболической активности в максимальной мере воспринимающих и трансформирующих как потоки эндогенных веществ и энергии, так и экзогенные потоки антропогенного происхождения. Предварительная оценка конкретной ситуации в ландшафтно-географическом районе, включающая инвентаризацию источников техногенного воздействия и объема токсических выбросов, а также определение количества отдельных БГЦ, наиболее критических с точки зрения их толерантности к конкретному виду воздействия, позволяет выделить ограниченное их количество, по отношению к которому необходима регламентация уровня воздействия.

Например, при загрязнении атмосферы или водной среды поллютантами такими критическими звеньями могут быть экосистемы эстуариев, в максимальной степени кумулирующие загрязнители и испытывающие в связи с этим максимальное техногенное воздействие. В случае аэриального загрязнения лесных экосистем сернистым газом в качестве критического БГЦ следует рассматривать хвойные леса, наиболее приближенные к источнику выбросов.

Важнейшим моментом в биоценозическом уровне нормирования является не только регламентация собственного состояния БГЦ, но и его взаимодействие с сопредельными ценозами, определяющими целостность ландшафта как системы. Так, по мнению Б. М. Миркина, для

агроэкосистем границы землепользования всегда учитываются на этапе конструирования оптимального агроландшафта, в структуре и функции которого должна быть реально достигнута непротиворечивость экологических и экономических интересов. Показатели нормы в этом случае будут связаны с оптимальным, зависящим от климата, рельефа, механического свойства почв, соотношением между пашней, многолетней травяной растительностью и лесом.

Определение допустимых антропогенных нагрузок на конкретный биоценоз, принятый в качестве критического, прямо связано с возможностью выделения ограниченного количества интегральных показателей, характеризующих с максимальной полнотой перечисленные выше свойства БГЦ. При этом важнейшим и даже решающим условием является аппаратурная и методическая возможность оперативного контроля показателей.

Последнее обстоятельство побуждает нас к введению следующего уровня регламентации — нормирование нагрузки на отдельные популяции растений и животных. Хотя антропогенное давление испытывает вся биосфера и ее компоненты, точкой приложения внешних воздействий оказывается прежде всего популяция. Именно здесь реализуются те экологические процессы, которые определяют функционирование последующих уровней интеграции (биоценозического, биосферного).

Мы уже отмечали (Безель и др., 1992), что понятие популяционной нормы исходит из концепции ее адаптивности, постулирующей тот факт, что за наиболее приспособленными «средними» фенотипами в популяции стоит множество разнообразных генотипов, селективная ценность которых меняется в условиях изменяющейся среды. Это обеспечивает широкую «норму» реакции популяции как самостоятельной целостной системы, превышающей аналогичные возможности отдельного организма.

С другой стороны, понятие популяционной «нормы» опирается на представления о генотипической стабильности популяции, условием которой является ее системная организованность, выраженная в подразделении на субпопуляционные единицы. Генетическая стабильность во времени определяет устойчивость таких важных параметров популяции, как репродуктивно-эффективная численность, половая и возрастная структуры. В ней уравновешена величина генетического груза, в результате чего вредные мутации и неблагоприятные генные комбинации неизбежно элиминируются в процессе исторического развития. При этом генетические и определяемые ими биологические параметры популяции принципиально поддаются долгосрочному прогнозированию и, следовательно, нормированию.

Возможные генетические изменения в растительном и животном мире под антропогенным влиянием можно диагностировать по следующим признакам:

— разрушение субпопуляционной структуры в результате прямого уничтожения, сопровождающееся сдвигом генных частот, выщеплением мало приспособленных генотипов и разрушением адаптивных генных комплексов;

— увеличение скорости мутагенного процесса при воздействии химических агентов и рост генотоксического груза, сопровождающиеся уменьшением приспособленности.

Для разумного определения возможных масштабов генетических изменений необходимы систематические исследования, в которых популяции и протекающие в них генетические процессы становятся показателями состояния среды. Отсюда следует, что для целей экологического нормирования возможно использование как морфофизиологических параметров популяции с помощью традиционных статистических тестов, так и генетико-статистических показателей.

Примеры существенных сдвигов морфофизиологических параметров популяций, особенно растительных, в загрязненных районах хорошо известны. Часто регистрируемое увеличение фенотипической изменчивости связано с тем, что мощность действия антропогенного фактора достигает некоторого порога адаптивности популяции, когда большинство фенотипов не в состоянии обеспечить формирование среднего оптимального фенотипа. Это проявляется в деформации соответствующих распределений в популяции, т. е. происходит уменьшение количества средних, наиболее приспособленных к норме фенотипов и возрастание доли особей с крайними значениями признаков. Важнейшей задачей экологического нормирования на популяционном уровне регламентации является определение допустимых пределов вариации параметров популяции, не угрожающих ее благополучию.

Вместе с тем популяции представляют собой сложные динамические системы, обладающие некоторыми имманентными характеристиками, не связанными напрямую с описанными выше генетическими преобразованиями. Существуют определенные механизмы популяционной саморегуляции, выражающиеся прежде всего в изменениях демографической и пространственной структур в ответ на изменение внешних биотических и абиотических факторов. Эти реакции часто являются неспецифическими (Оленев, 1981). Внешние воздействия преломляются через внутрипопуляционные регуляторные механизмы. Поэтому реакции таких интегральных популяционных показателей, как, например, численность (плотность), на подобные воздействия часто имеют нелинейный характер, что в свою очередь может приводить к резким изменениям типа динамики численности без изменений системных механизмов саморегуляции («Экологические системы...», 1981; Базыкин, 1985). Наиболее ярким примером изменений динамического режима могут служить «неожиданные» всплески численности насекомых-фитофагов. Кроме того, теоретически существует некоторый нижний порог численности популяции, ниже которого популяция будет элиминирована в силу чисто демографических закономерностей. Поиск таких порогов представляет собой самостоятельную сложную экологическую проблему (см., напр., «Жизнеспособность популяций...», 1989).

Вообще говоря, кратко упомянутые здесь демографические аспекты составляют основной предмет большого самостоятельного раздела экологии — популяционной экологии и, естественно, не могут быть обойдены при разработке системы экологического нормирования. Предметом мониторинга и нормирования в данном случае должны быть такие показатели структуры популяций, как возрастной состав, соотношение полов, и пр. В настоящее время существуют хорошо развитые методы популяционного анализа (Коли, 1979), которые должны являться методической основой экологического нормирования на популяционном уровне.

МЕТОДЫ И ПОДХОДЫ К ЭКОЛОГИЧЕСКОМУ НОРМИРОВАНИЮ

1. Показатели биологического разнообразия в качестве основы экологического нормирования

В силу системной организации каждого уровня присущие им характеристики относительно самостоятельны и не сводимы к закономерностям любого уровня, в то же время всем уровням свойственны некоторые инварианты, важнейшие из которых — биологическое разнообразие. Понятие биологического разнообразия, как фундаментального свойства биосферы и как результата глобальной неоднородности пространства

и времени, можно рассматривать в соответствии с уровнями регламентации.

Внутривидовое разнообразие (прежде всего, генетическая и экологическая изменчивость, внутривидовая структура и межпопуляционная дифференциация в разнообразных условиях среды как результат приспособления и времени существования вида). В рамках популяционной экологии и генетики разработан большой арсенал методов его оценки, основанных на регистрации количественных (мерных, счетных) и качественных (фенов и генных маркеров, например изоферментов) признаков у отдельных особей в популяции и последующем статистическом анализе распределений. Оценками внутри- и межпопуляционного разнообразия служат параметры распределений: средние, коэффициенты вариации, коэффициенты повторяемости, параметры дисперсии и т. д.

Видовое разнообразие (флора и фауна ландшафтно-географических районов как результат видообразования и истории развития видов в конкретных условиях рассматриваемого региона). Вторжение человека в природные экологические системы сопровождается появлением в них новых видов — синантропов и рудералов, и исчезновением аборигенных видов, сменой доминирующих видов и изменением структуры сообществ.

Хорошо известно, что закрытые сообщества характеризуются наибольшей сбалансированностью процессов продукции и деструкции органического вещества. Появление новых видов в них однозначно свидетельствует о сдвигах в этих процессах. Можно полагать, что по аналогии с увеличением внутривидового разнообразия под воздействием антропогенного фактора увеличение видового разнообразия (и тем более его уменьшение) отнюдь не благо для стабильности природных систем, а начало их перестройки и потери устойчивости.

Например, появление степных видов в результате пастбы скота в островных борах Зауралья — признак снижения продуктивности и депрессии сосняков. Другим примером является образование травянистых сообществ на месте коренных тундровых и болотных при антропогенном освоении, которое наблюдается на полуострове Ямал в связи с развитием нефтегазового комплекса. Продуктивность луговых сообществ выше, чем тундровых и болотных. Поэтому появляется соблазн заявить о якобы благоприятных последствиях промышленного освоения экосистем Крайнего Севера, тем более что наличие зеленых кормов в летнее время необходимо для успешного оленеводства. Однако при более внимательном рассмотрении проблемы с точки зрения стабильности биохимических циклов оказывается, что степень замкнутости, например круговорота углерода (оцениваемая по соотношению почвенного потока углекислого газа к его суммарному потреблению растительностью), в типичных растительных сообществах тундры существенно выше, чем в луговых сообществах. Иными словами, залужение больших территорий на Крайнем Севере чревато нарушениями углеродного баланса экосистемы (Добринский и др., 1983, 1984).

Некоторые агрессивные виды могут быстро разрушить аборигенные сообщества, ослабленные действием антропогенного фактора (опунция, водный гиацинт, элодея, ротан и т. п.), особенно болезнетворные организмы, вызывающие эпизоотии и эпифитотии (например, голландская болезнь или сосудистый микоз дуба, пришедшие к нам из Америки): Несомненно, что кратковременное увеличение числа видов в сообществах со временем уменьшится, снизится продуктивность и соответственно ухудшится качество среды.

Таким образом, изменения видового разнообразия в сообществах, выделяемые в процессе мониторинга, также могут служить для целей экологического нормирования. При этом важно знать, насколько допу-

стимы изменения в сообществах. Некоторые этапы сукцессий могут быть даже более пригодными для удовлетворения потребностей человека (например, пирогенные сосняки на месте сообществ темнохвойной тайги), другие являются критическими для развития сообществ в желаемом направлении. Например, беглый низовой пожар в спелых сосняках не может существенно повредить древостой; пожар на вырубке способствует естественному возобновлению сосны, а на возобновившейся вырубке или гари ведет к развитию длительно производных березняков.

Экосистемное разнообразие (биогеоценотическое). Исторически сложившееся экосистемное разнообразие какого-либо региона, безусловно, способствует стабилизации круговорота вещества и энергии; появление новых ландшафтов резко разрушает их. В результате такие «новые» экосистемы сами выступают в качестве потребителя ресурсов соседних ландшафтов, резко обедняя их. В итоге биологическое разнообразие сокращается на всех уровнях организации, включая экосистемное.

Очевидно, исследование любого уровня биологического разнообразия с целью экологического нормирования территории неизбежно связано с трудностями полного описания и требует собственных методов и подходов для каждого уровня регламентации. По-видимому, на всех уровнях организации жизни существует некая исторически сложившаяся и зонально-климатически обусловленная норма биологического разнообразия, которая и может быть точкой отсчета при экологическом нормировании.

2. Виды-индикаторы в качестве объекта экологического нормирования

При популяционных оценках в силу их трудоемкости невозможно детально проанализировать состояние популяций даже ограниченного числа видов. Поэтому проблема выбора и обоснование того минимального числа видов-индикаторов, оценка состояния популяций которого может в достаточной степени отражать состояние БГЦ, требует серьезной научной проработки.

Согласно С. С. Шварцу (1971), в структуре природных БГЦ могут быть выделены немногочисленные популяции видов-доминантов, определяющих продуктивность биоценоза и его своеобразие. Остальные популяции представлены многочисленными видами-сателлитами, обеспечивающими необходимый уровень биохимических циклов, характерных для данного ценоза. Однако сама по себе принадлежность видов-индикаторов к ценоценозному ядру или видам-сателлитам еще не определяет их место в системе нормирования допустимых нагрузок и мониторинга за ними.

Подбор популяционных индикаторов должен учитывать целевую задачу нормирования — идет ли речь о сохранности уникальных природных комплексов (заповедных территорий), отдельных «краснокнижных» или редких видов или же допустима антропогенная трансформация ландшафта или отдельных БГЦ. Можно говорить лишь о некоторых общих принципах отбора видов-индикаторов: это должны быть массовые виды, хорошо представленные в нормируемом биогеоценозе и на смежных территориях; кроме того, выбранные виды должны быть видами-эдификаторами, представляющими основу биоценоза и играющими основную роль в создании биоценоценозической среды.

При этом необходимо располагать рядом данных, характеризующих экологию вида, в том числе: условия обитания вида-индикатора, учитывающие общую его распространенность, пребывание в оптимуме или на периферии вида; сведения по фоновой динамике численности вида в

аналогичных условиях, исключая антропогенное воздействие; данные об изменчивости основных популяционных параметров вида, в том числе генетически обусловленной изменчивости.

Разработка экологических нормативов возможна лишь на основе количественной оценки ограниченного числа параметров, характеризующих состояние регламентируемого объекта. Это предполагает необходимость существенной формализации и упрощения реальных процессов функционирования природных популяций и их взаимоотношения с окружающими компонентами биогеоценоза.

Как отмечено выше, последствия техногенного загрязнения среды или иных видов антропогенного воздействия можно рассматривать в качестве «потребления» некоторого условного биологического ресурса. При этом экологическое нормирование должно исходить из регламентации интенсивности продукционных процессов. В качестве таковых можно рассматривать: прямое изменение биологической продуктивности выделенного индикаторного звена ценоза, выраженное через ежегодный прирост биомассы; средние показатели интенсивности деструкционных процессов, обуславливающих круговорот абиотических и биотических веществ; средние показатели плодovitости или плодотворности, прямо определяющие восполнение биологического ресурса; частоту проявления признаков поражения как показателя, характеризующего популяционные процессы; на уровне регламентируемых биоценозов возможно рассмотрение их упрощения, выраженного в снижении видового разнообразия сообществ и, как следствие этого, снижении общей биологической продуктивности ценоза.

В ряде случаев возможно использование таких показателей ландшафтно-географического уровня, как показатели интегрального стока водосборного бассейна; уровни развития эрозийных процессов, выраженные через количество (площадь) деградированных биоценозов; уровни сельскохозяйственного использования территории (площади пашни, выпаса, сенокоса и т.д.); показатели лесистости территории и т.д.

Выделяемые показатели должны отражать неспецифические ответы биологических систем на разнообразные виды антропогенного влияния. Это позволит рассматривать их в качестве индикаторов сочетанного действия многих синхронно действующих антропогенных факторов.

3. Проблемы экстраполяции данных экспериментальной экотоксикологии на природные объекты

Многолетний успешный опыт токсикологов и гигиенистов показывает, что одним из путей решения проблемы допустимых антропогенных нагрузок является широкое применение методов лабораторных аналогов с последующей экстраполяцией полученных данных на человека. Именно токсикологические эксперименты по хронической затравке лабораторных животных лежат сегодня в основе устанавливаемых для человека ПДК токсических веществ в воздухе, воде, продуктах питания.

Подобные методы экстраполяции особенно актуальны в случае экологического нормирования, поскольку практически полностью исключены какие-либо эксперименты с антропогенным влиянием на природные объекты. Установление строгих экологических регламентов возможно лишь на основе наших априорных знаний о последствиях для природных систем градируемых значений антропогенной нагрузки. Подобная программа предполагает, с одной стороны, учет сложнейших внутренних популяционных и биоценологических факторов и связей, существование и функционирование которых определяет изучаемый объект в качестве биологической системы, с другой — учет влияния по от-

ношению к регламентируемому объекту, главным образом абиотических, факторов эколого-географического характера.

В качестве экспериментальной основы такой экстраполяции следует рассматривать результаты, получаемые в лабораторных условиях (аквариумные эксперименты, виварная затравка животных, климатические камеры), при которых допустимы предварительный отбор однородных экспериментальных групп, поддержание неизменными факторов внешней среды, дозирование антропогенных нагрузок и т.д. Как правило, полученная информация относится к закономерностям онтогенетического (организменного) ранга. Последующая экстраполяция предполагает учет модифицирующего влияния отмеченных выше внутренних и внешних факторов, существенных для систем надорганизменного уровня.

В последнее время большое внимание уделяется так называемым природным экспериментам, в которых биоценозы изолируются и подвергаются дозированному воздействию антропогенного фактора. В этих условиях ряд биоценологических характеристик остается идентичным с оставшейся частью ценоза, которая может рассматриваться в качестве контрольной. Естественно, что экстраполяция в этом случае значительно упрощается.

В качестве эмпирической основы экологического нормирования следует рассматривать также данные, получаемые при изучении деградированных территорий. При использовании такой информации необходимо решать вопрос о биологической идентичности тех территорий, которые подвержены антропогенному воздействию, и тех, которые рассматриваются нами в качестве контрольного объекта.

Уникальность каждой регламентируемой системы и ее эколого-географическое своеобразие требуют индивидуального подхода при установлении допустимой меры антропогенного воздействия. Это значит, что в каждом конкретном случае необходимо решать проблему экстраполяции некоторой совокупности наших сведений, полученных в экспериментальных условиях или в результате изучения уже деградированных систем, на конкретные условия существования рассматриваемого объекта при антропогенном воздействии. К сожалению, теории подобной экстраполяции не существует. Это связано с объективными трудностями, и прежде всего с отсутствием завершенных теорий организации и функционирования систем надорганизменного уровня. Поэтому сегодня мы вынуждены лишь обозначить проблему, подчеркивая насущную необходимость разработки и внедрения ее в практику экологического нормирования.

4. Временные категории экологического нормирования

По чисто технологическим причинам важнейшие для жизнеобеспечения виды природопользования (сельское хозяйство, энергетика, металлургия и т. д.) являются источниками мощного антропогенного воздействия на природную среду. Просто остановить все предприятия, исходя из их неэкологичности — значит, по существу свергнуть общество в разруху. Следовательно, природоохранные требования и экологические регламенты должны вводиться поэтапно, через определенные временные интервалы, достаточные для технического перевооружения производственной сферы.

Такого рода жизненно необходимый компромисс между экологически желаемым и реально достижимым побуждает рекомендовать разработку динамической системы природоохранных норм и регламентов, ввода временные категории нормативов (Садыков, 1989).

К первой категории текущих норм регламентов относятся нормативы для действия на окружающую среду, допустимого в течение заранее оговоренного периода времени. Их соблюдение позволит

оптимальным образом сочетать краткосрочные экономические интересы действующих предприятий и долгосрочные эколого-экономические интересы общества в целом, заинтересованного в их поэтапной модернизации и функционирования в каждый этап времени. Речь идет о совокупности регламентов, которые заведомо достижимы при современном уровне развития данного производства и конкретной технологии. Так, например, для предприятий топливно-энергетического комплекса установлено, что количество техногенных выбросов на единицу продукции по стране может изменяться в десятки раз в зависимости от соблюдения технологического режима и общей культуры производства. Текущие нормативы в этом случае должны быть ориентированы по наилучшим вариантам производств, включая зарубежный опыт. Установление текущих регламентов возможно по результатам экологической аттестации конкретных объектов и анализа проектной документации для отечественных и зарубежных аналогов. Естественно, что уровень современного производства, как правило, не соответствует экологическим требованиям, поэтому текущие нормативы следует рассматривать в качестве строго временных ограничений, предполагающих переход к более жестким регламентам в заранее оговоренные сроки.

Вторая категория — перспективные нормативы. Они должны рассматриваться как совокупность регламентов, которые могут быть достигнуты к определенному сроку, т. е. через заранее обусловленное время перейти в категорию текущих нормативов. Уровни перспективных норм и время их действия должны быть определены на основе сопоставления текущих нормативов и возможности достижения их за установленный срок.

Несомненно, должны существовать подлинно экологические нормативы, под которыми следует рассматривать всю совокупность экологических норм и регламентов хозяйственной деятельности, отвечающих полной экологической безопасности и гарантирующих сохранение в регионах нового освоения высокое качество природной среды.

Отметим вновь, что обсуждаемые временные категории следует рассматривать лишь как вынужденный компромисс между современным состоянием экономики и объективными требованиями рациональной и экологически обоснованной природоохранной деятельности. Сегодня в полной мере эти требования можно применить лишь к ограниченным территориям, подлежащим заповедному режиму. Несмотря на то, что хозяйственная деятельность на остальной территории в ближайшем будущем будет подчиняться временным регламентам, неукоснительное их выполнение уже сегодня будет способствовать установлению целенаправленного и контролируемого режима природопользования.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Почти 20 лет назад академик С. С. Шварц (1974) ставил вопрос о необходимости всестороннего изучения биоеоценозов, развивающихся под влиянием различных форм антропогенного воздействия в условиях различных эколого-географических районов и восстановление на этой основе предельно допустимых норм антропогенного воздействия различного характера в пределах различных биотопов. Создание системы экологического нормирования является сегодня необходимым этапом перестройки всей природоохранной деятельности нашего общества.

Мы допускаем, что изложенный материал не может в полной мере удовлетворить желание экологов-практиков получить практические рекомендации по порядку проведения экологических экспертиз и внедрению экологически обоснованных нормативов. При всей очевидности значимости прикладных аспектов экологического нормирования проблемы эти далеки от решения. Успехи на этом пути неразрывно связаны как

с формированием и развитием новых научных направлений (экологическая диагностика, экологическая токсикология), так и с теоретической разработкой целого ряда фундаментальных проблем современной экологии.

Рассматривая проблему экологического нормирования, мы сознательно акцентировали внимание на природоохранной деятельности. Однако практическая реализация этих подходов должна исходить из необходимости взаимной увязки экологических и гигиенических норм и регламентов. Только единые усилия экологов и гигиенистов в состоянии обеспечить благополучие человека и природной среды при возрастающей нагрузке со стороны промышленности и сельского хозяйства.

Институт экологии растений
и животных УрО РАН

Поступила в редакцию
5 марта 1992 г.

ЛИТЕРАТУРА

- Антропогенные факторы в истории развития современных экосистем. Под ред. Л. Г. Динесмана.— М.: Наука, 1981.— 245 с.
- Базыкин А. Д. Математическая биофизика взаимодействующих популяций.— М.: Наука, 1985.— 215 с.
- Безель В. С., Кряжимский Ф. В., Семериков Л. Ф., Смирнов Н. Г. Экологическое нормирование антропогенных нагрузок. I. Общие подходы.— Экология, 1992, № 6.
- Вернадский В. И. Живое вещество.— М.: Наука, 1978.— 358 с.
- Добринский Л. Н., Кряжимский Ф. В., Малофеев Ю. М. Приспособительное значение динамики углекислотного обмена в растительных ассоциациях Крайнего Севера.— В кн.: Адаптация организмов к условиям Крайнего Севера. Таллинн, 1984, с. 44—48.
- Добринский Л. Н., Давыдов В. А., Кряжимский Ф. В., Малофеев Ю. М. Функциональные связи мелких млекопитающих с растительностью в луговых биогеоценозах.— М.: Наука, 1983.— 160 с.
- Жизнеспособность популяций. Природоохранные аспекты. Под ред. М. Сулея.— М.: Мир, 1989.— 224 с.
- Коли Г. Анализ популяций позвоночных.— М.: Мир, 1979.— 362 с.
- Оленев Г. В. Популяционные механизмы приспособлений к экстремальным условиям среды.— Журнал общ. биол., 1981, 62, № 4, с. 506—511.
- Садыков О. Ф. Экологическое нормирование: проблемы и перспективы.— Экология, 1989, № 3, с. 3—11.
- Шварц С. С. Популяционная структура биогеоценоза.— Изв. АН СССР, сер. биол., 1971, № 4, с. 485—493.
- Шварц С. С. Проблемы экологии человека.— Вопросы философии, 1974, № 9, с. 102—110.
- Экологические системы. Адаптивная оценка и управление. Ред. Холлинг К. С.— М.: Мир, 1981.— 397 с.
- Mc Neilly T. Evolution in closely adjacent plant populations. III. *Agrostis tenuis* on a small copper mine.— *Heredity*, 1968, 23, p. 99—108.
- Wu L., Bradshaw A. D., Thurgman D. A. The potential for evolution of heavy metal tolerance in plants. III. The rapid evolution for copper tolerance in *Agrostis stolonifera*.— *Heredity*, 1975, 34, p. 165—187.

УДК 591.5+599.32+59.08

АНАЛИЗ ПРОЦЕССОВ МИГРАЦИИ В ПОПУЛЯЦИЯХ МЕЛКИХ МЛЕКОПИТАЮЩИХ

О. А. Лукьянов

Обосновывается подход, позволяющий по многосуточным отловам мелких млекопитающих оценивать как величину их миграции, так и исходную численность животных на территории обследования. Применение процедуры для ряда видов мелких грызунов показывает, что предложенная модель обладает высокой разрешающей способностью.