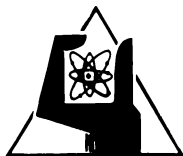


АКАДЕМИЯ НАУК СССР
УРАЛЬСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ

НАУЧНЫЕ
ДОКЛАДЫ



**БИОИНДИКАЦИЯ
НАЗЕМНЫХ
ЭКОСИСТЕМ**

СВЕРДЛОВСК

АКАДЕМИЯ НАУК СССР
Уральское отделение
===== :
ИНСТИТУТ ЭКОЛОГИИ РАСТЕНИЙ И ЖИВОТНЫХ

Препринт

БИОИНДИКАЦИЯ НАЗЕМНЫХ ЭКОСИСТЕМ

Свердловск, 1990

БИОИНДИКАЦИЯ НАЗЕМНЫХ ЭКОСИСТЕМ.

Препринт. Свердловск: УрО АН СССР, 1990.

Рассматриваются результаты полевых и лабораторных методов исследования млекопитающих, амфибий, почвенных беспозвоночных с целью их использования биоиндикации и экологическом мониторинге. Обсуждаются особенности различных показателей, их реакция на антропогенные воздействия в зависимости от видов и принадлежности, возраста, физиологического состояния, стадии развития и т.п. Работа представляет интерес для широкого круга биологов, специалистов в области охраны природы, мониторинга окружающей среды, студентов медицинского профиля и биологических факультетов университетов.

Ответственный редактор д.б.н. О.А.Пястолова

Рецензент к.б.н. Л.А.Добринская

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ БИОИНДИКАЦИОННЫХ СВОЙСТВ АМФИБИЙ

Вершинин В.Л

Уровень развития производства и человеческой деятельности уже давно достиг глобальных масштабов. Еще Вернадский (1977) писал, что "...впервые в истории человечества мы находимся в условиях единого исторического процесса, охватившего всю биосферу планеты". Биосфера стала глобальным переносчиком последствий этого процесса. Самые удаленные биоценозы испытывают воздействие антропогенного пресса из-за фоновое загрязнение, выпадения химически активных дождей, колебаний климата и т.д. В связи с этим растет осознание социальной значимости "первичных" условий человеческого существования (Яншикий, 1987).

Наблюдаемые нами трансформации биогеоценозов в изменяемой человеко. среде и примеры быстрой эволюции популяций показывают, что происходящие процессы, строго говоря, нельзя назвать деградацией, т.к. эти изменения представляют собой естественную реакцию сообществ на флуктуации среды (Шварц, 1976). Новые сообщества наиболее соответствуют созданной среде. Наша задача состоит в том, чтобы облегчить формирование продуктивных и стабильных биогеоценозов с необходимыми свойствами при антропогенных изменениях среды. Это значит, чтобы некоторая часть видов могла существовать в антропогенном ландшафте, нам также придется менять свои традиционные приемы хозяйствования. Для поддержания общего баланса биосферы на уровне, обеспечивающем оптимальное развитие человеческого общества, необходимо внедрение экологической экспертизы и экологического мониторинга в промышленное и сельское производство.

Наиболее широко применим и удобен экологический мониторинг

на уровне популяций и экосистем. В антропогенных ландшафтах уже сейчас на громадных территориях господствует несколько видов-убицистов, выполняющих ведущую роль в поддержании природного баланса, т.е. в функционировании современной биосферы популяционные механизмы поддержания биогеоэкологического равновесия играют большую роль, чем в нетронутой природе. Это и определяет главные направления научных исследований (Шварц, 1976).

Земноводные - удобный для мониторинга объект, их численность в местах обитания довольно велика, икра и личинки чувствительны к загрязнению; в течение всей жизни они привязаны к относительно небольшой по площади территории. Продолжительность жизни амфибий в природе 4-7 лет (в отличие от мышевидных грызунов, живущих один сезон), что дает возможность изучать эффекты длительного действия антропогенных факторов.

Для сопоставления и оценки получаемых результатов все места обитания земноводных городской черты группируются по степени антропогенного воздействия. Приводимая типизация городских ландшафтов разработана нами на основе литературных данных и собственных материалов (Вершинин, 1983). В основе подразделения лежит этажность, плотность и другие особенности застройки, учитывается наличие бытового и промышленного загрязнения.

I зона - центральная часть города с многоэтажной застройкой, массивными асфальтовыми покрытиями, забранными в трубы реками.

II зона - районы многоэтажной застройки, примыкающие к центру города, включая территории с несложившимся окончательно архитектурным обликом; высок уровень бытового и промышленного загрязнения.

III зона - малоэтажная застройка, частные дома с садами и огородами, окраина города, пустыри, парки. Часто местообитания этой зоны смыкаются с лесопарками.

IV зона - лесопарковый пояс города. Находится, главным образом, под воздействием рекреационной нагрузки.

Для подробного исследования батрахофауны были выбраны те местообитания амфибий в городской черте, где численность позволяла проводить регулярные наблюдения и сборы материала. Размеры исследуемых участков определялись таким образом, чтобы охватывалась практически вся группировка, населяющая данное местообитание. Под местообитанием мы понимаем участок, ограниченный пространственно и заселенный группировкой амфибий одного или нескольких видов, отделенный от других подобных группировок территорией, лишенной земноводных.

Для каждого местообитания, где проводились регулярные исследования, было составлено подробное описание. Гидрохимические особенности водной среды оценивались шестикомпонентным анализом воды из основных водоемов в разных зонах города. Анализ проводился после окончания икрометания и по завершении личинками метаморфоза. Определяли также pH, биологическое потребление кислорода - БПК₅, перманганатную окисляемость, содержание нефтепродуктов и масел, количество поверхностно-активных веществ и тяжелых металлов. Все анализы выполнены в ПТБ при УралНИИВХ. В работе использованы данные, собранные с 1977 по 1989 гг.

Объективная оценка состояния среды немислима только на основе определения концентраций токсических соединений в воздухе, воде и почве, т.к. необходимо знать пути и механизмы действия тех или иных загрязнений на экосистемы. Окончательное заключение можно сделать лишь на основе обширных многолетних исследований.

Исходя из приведенной выше типизации мы условно называем уровень трансформации экосистем в зоне IV начальным, в зоне III - средним и в зоне II значительным.

I. Признаки начального уровня изменений.

г.) Изменение видового состава.

Хорошим показателем начальных стадий деградации среды является изменение видового состава земноводных. Так, в лесопарковой зоне практически отсутствует такой типично лесной вид как серая жаба (Вершинин, Топоркова, 1981). При оценке изменений видового состава необходимо ознакомиться с литературными сведениями о видовом составе изучаемой территории в прошлом.

б) Падение численности и плотности.

Благодаря многолетним систематическим учетам количества кладок амфибий установлено падение численности фоновых для лесопарка видов амфибий в участках с растущей рекреационной нагрузкой (Вершинин, 1982; 1989). Учеты плотности животных проводились на пробных площадках размером 10x10 м и свидетельствуют о ее существенном снижении, в сравнении с контрольными участками (Вершинин, Криницын, 1965; Вершинин, 1987). Для сравнения плотности кладок в однотипных водоемах неплохим показателем можно считать число кладок на 10 м² водной поверхности.

в) Негативные изменения в популяциях лесных видов.

В популяции сибирского углозуба из участка лесопарка с растущей антропогенной нагрузкой и наибольшим уровнем загрязненности по тяжелым металлам отмечено падение среднего количества икринок в шнуры со 102-97 в 1977-78 гг. до 56-71,3 в 1986-88 гг., которое последовало за снижением общего числа размножающихся животных. Средняя длина тела самок при этом существенно не изменилась. Пределы изменчивости числа яиц в шнуры в популяциях лесопаркового пояса оказались шире, чем в загородной популяции 0-198 и 28-119 шт. суммарно за все годы наблюдений (Вершинин, 1989а). Различия в размахе изменчивости отражают, по-видимому, негативные изменения в группе производителей, т.к. минимальное количество икринок в шнуры здесь доходит до 0-4 шт., а в заго-

родной популяции не бывает ниже 28. Доля таких кладок невелика (от 0,37 до 3,2%), но указанная тенденция сохраняется в течение ряда лет и наиболее ярко выражена в популяции с усиливающимся антропогенным воздействием. Известно, что в условиях загрязнения и трансформации среды обитания уже в популяциях лесопарковой зоны появляется ряд физиологических адаптаций на уровне особей (Вершинин, Терешин, 1989), что приводит к дополнительным энергозатратам (Шварц, 1980), факт резорбции части икры в условиях значительных антропогенных нагрузок отмечается в популяциях рыб (Кошелев, 1988).

Хорошим показателем того, что определенные изменения в состоянии популяции уже происходят и в дальнейшем могут иметь место более существенные необратимые изменения является рост величины асимметрии (Захаров, 1987). Мы использовали степень асимметрии кладок сибирского углозуба, вычисляющуюся путем деления меньшего числа икринок в одном из мешков к большему в другом мешке кладки (Басарукин, Боркин, 1984). В популяции из участка лесопарка с наибольшим загрязнением среды отмечается тенденция к увеличению доли асимметричных кладок (с различием между шнурами более 30%) до 16,2% против 10,2-11,7% в других популяциях пригорода. Различия между мешками могут достигать 89-100% (когда один из шнуров не содержит яиц или содержит аномально низкое их количество), в абсолютном выражении максимальная разница составляет 93 икринки. У углозубов с Сахалина (Басарукин, Боркин, 1984) различия между шнурами доходят до 45% и в абсолютном выражении равны 1-34 икринкам.

г) Аккумуляция загрязнений.

Известно, что длительность жизни земноводных позволяет, благодаря аккумуляции поллютантов, оценивать опасность существующе-

го уровня загрязнения для разных трофических ступеней экосистем (Hall, Kolbe, 1980; Byrne, Kosta, Stegnar, 1975). Изучение содержания фтора в лесных экосистемах в районе криолитовых и алюминиевых заводов Урала показало, что амфибии концентрируют фтор в большей мере, чем другие зоологические компоненты экосистем — до 580 мкг на грамм сухого вещества (Любашевский и др., 1985).

Таким образом, для оценки начальных этапов трансформации экосистем удобно использовать изменения видового состава амфибий, численности фоновых видов, плотности, снижение плодовитости, рост асимметрии кладок, аккумуляцию загрязнений.

2. Средний уровень изменений.

При данном уровне изменений в связи с ростом загрязненности и коренным изменением растительной компоненты сообществ исчезает сибирский углозуб; в популяциях амфибий заметно начинают преобладать негативные тенденции.

а) Рост встречаемости морфологических аномалий и появление аномальных кладок.

У всех обитающих здесь видов земноводных растет общая встречаемость морфологических аномалий (Вершинин, 1982, 1989), сюда относится постметаморфический отек, аномальная регенерация, аномалии развития, новообразования, аномалии генетической природы. О возможности использования частот встречаемости таких отклонений в биоиндикации свидетельствует целый ряд работ (Барановский, Кудюкопов, 1988; Плисс, Худолей, 1979; Cooke, 1981; Dupert, 1986; Meyer-Rohow, Asashima, 1988; Rose, Harshberger, 1977). Отмечается повышение мутационного фона, так у остромордой лягушки одной лишь мутации проявляющейся в депигментации радужины, встречаемость на городской территории в целом более чем на порядок превышает ее частоту в контрольной популяции — 1,39 (n = 5050) против 0,03% (n = 107). У бурых лягушек на всей го-

родской территории отмечаются кладки со значительным числом икринок без зародышей и без индивидуальных белковых оболочек (Вершинин, 1982; Вершинин *in litt*), частота встречаемости таких кладок от 0,3 до 12,5%.

б) Появление физиологических адаптаций на уровне особей.

В зонах III и II в связи с ростом фактора беспокойства отмечается достоверное ($p = 0,01$) увеличение индекса $Cor\%$ у сеголе эк бурых лягушек (Вершинин, 1985). С помощью биофизических методов исследований (Терешин, 1979) нервно-мышечных препаратов взрослых самцов остромордой лягушки установлено, что животные из зон II и III обладают низкой мышечной возбудимостью (высоким порогом возбуждения) в сравнении с контрольными - 2,8-3,0 против - 1,9 м.сек, что говорит о наличии адаптивных изменений на уровне особей. Константа аккомодации нервных тканей у животных из зоны III и ее динамика в зоне IV оказалась достоверно ниже (3,4 и 2,4 против 5,2 и 4,2 м.сек в контроле соответственно), что также говорит о наличии адаптивных физиологических изменений на уровне особей при отсутствии ярко выраженных достоверных различий на популяционном уровне по другим показателям (Вершинин, 1987). Сходные результаты получены и по аккомодационной способности мышечной ткани. На наш взгляд, мышечная возбудимость может отражать степень беспокойства и уровень загрязненности в условиях урбанизации, а аккомодационная способность позволяет оценить глубину адаптивных изменений в популяциях при антропогенной трансформации среды (Вершинин, Терешин, 1989).

Таким образом, средний уровень трансформации и загрязненности экосистем хорошо оценивается по росту встречаемости всех типов морфологических аномалий повышению мутационного фона, появлению аномальных кладок у бурых лягушек и наличию физиологических адаптаций.

3. Значительный уровень изменений.

Амфибия, обитающие в зоне значительно преобразованной среды, характеризуются появлением ряда адаптивных особенностей популяционного ранга.

а) Специфика динамики численности.

На примере бурых лягушек установлено наличие высокой смертности на ранних этапах развития и резкое ее снижение в период метаморфического климакса (Вершинин, 1985). Dunson W.A., Connell J.

(1982) и Cecilis G., Just J.J. (1979) также рекомендуют использовать уровень смертности эмбрионов и личинок для оценки уровня загрязнения.

б) Фенотипические особенности.

На остромордой лягушке установлено укрупнение размеров тела сеголеток в группировках зоны II, что объясняется, с одной стороны, изменением поверхностно-объемного соотношения в пользу относительного уменьшения поверхности кожи, через которую поступают токсичные вещества, с другой стороны, — большей энергоемкостью, а следовательно, и лучшей выживаемостью крупных сеголеток (Шварц, 1980; Станьчак, 1981).

в) Специфика генетической структуры.

Изменение пространственной структуры, высокая локальная плотность при низкой численности производителей (Вершинин, Криницын, 1985) приводят к существенным изменениям генетической структуры. Возрастает частота морфы стриата и других редких морф (Вершинин, 1980, 1982, 1985, 1987; Лебединский, 1984). Увеличение частоты близкородственных скрещиваний в этих условиях приводит к проявлению рецессивных мутаций, как правило, снижающих жизнеспособность особи (Гершензон, 1985; Flindt, 1985; Вершинин, 1987; проявляющихся в ряде случаев морфологически. Например — постаморфический отек с летальным исходом, необычная пигментация

отсутствие век, разные степени редукции элементов стопы и т.п.

г) Появление виллов-интродуцентов.

Благодаря тепловому загрязнению среды в зоне II в результате интродукции появились и осуществляют воспроизводство две группировки озерной лягушки (Вершинин, 1981).

Значительный уровень трансформации экосистем определяется по специфике динамики численности личинок и сеголеток бурых лягушек с повторными отловами. Мечение личинок производится раствором нейтрального красного (Сооке, 1978; Семенов, Сурова, 1979) на 44 и 49-й стадиях (Дабаян, Слешова, 1974), а мечение сеголеток - массовой меткой отрезанием дистального фаланга пальца (Вершинин, 1987). Допускается использование других методов мечения сеголеток и личинок (Сесил, Джаст, 1978; Нонеггер, 1979). Существенные изменения генетической структуры выявляются благодаря учетам встречаемости редких морф и мутаций. Изменения среды вызывают укрупнение размеров тела сеголеток остромордой лягушки и приводят к возникновению популяций видов-интродуцентов, способных существовать только в измененной человеком среде.

В настоящей статье мы не даем подробных рекомендаций, т.к. большинство наших результатов получено традиционными зоологическими методами. Гораздо важнее, на наш взгляд, выделить основные направления работ, позволяющие правильно и быстро осуществлять мониторинг и биоиндикацию. Приведенные выше показатели и методы сознательно даны вместе с конкретными результатами, полученными с их применением, поскольку мы считаем, что в зависимости от конкретных целей исследований и регионов, в которых они проводятся, необходим выбор оптимальных методик и видов, наиболее адекватно отражающих антропогенные изменения среды. С одной стороны, это должны быть широко распространенные массовые виды, с другой - виды, обладающие достаточной чувствительностью к транс-

формации биогеоценозов. Необходим постоянный поиск новых методов, позволяющих проводить экспресс-оценку состояния экосистем.

Л И Т Е Р А Т У Р А

- рановский А.Э., Кудокоцев В.П. Влияние некоторых загрязнителей на процессы регенерации наружных органов у водных позвоночных и перспективы расширения круга объектов для биоиндикации токсичности воды // Рап. исполъз., охрана, воспр-во биол.ресурсов и экол.воспитание. - Запорожье, 1988. - С.209.
- сарукин А.М., Боркин Л.Я. Распространение, экология и морфологическая изменчивость сибирского углозуба, *Nuphonia keuserlingii*, на острове Сахалин // Труды Зоологического института АН СССР. - Т.124. - Л.: 1984. - С.12-54.
- рнадский В.И. Размышления натуралиста. М., 1977, Кн.2: Научная мысль как планетарное явление. - С.63.
- ршинин В.Л. Предварительная оценка влияния антропогенных факторов на амфибий Свердловска // Проблемы экологии, рационального использования и охраны природных ресурсов на Урале. - Свердловск, 1980. - С.117-118.
- ршинин В.Л. *Rana ridibunda* в черте города Свердловска // Вопросы герпетологии. Л., 1981. - С 32-33.
- ршинин В.Л. Городские группировки земноводных как критерий оценки состояния мелких водоемов // Проблемы экологии Прибайкалья. Ч.1. Иркутск, 1982. - С.8.
- ршинин В.Л. Видовой состав и биологические особенности амфибий промышленных городов Урала /Автореф. канд. дисс. ... биол. наук. Свердловск, 1983. - 2? с.
- ршинин В.Л. Материалы по росту и развитию амфибий в условиях большого города // Экологические аспекты скорости роста и развития животных. - Свердловск, УИЦ АН СССР, 1985. - С.61-75.

- Вершинин В.Д. Динамика численности личинок и сеголеток остромордой лягушки в условиях промышленного города // Вопросы герпетологии. - Л., 1985а. - С.46-47.
- Вершинин В.Д. Адаптивные особенности группировок остромордой лягушки в условиях крупного города // Экология, 1987. - № 1. - С.46-50.
- Вершинин В.Д. Влияние изоляции на встречаемость морфологических абераций у амфибий города // Областная молодежная научно-практическая школа-конференция "Экологические системы Урала: Изучение, охрана, эксплуатация" - Свердловск, 1987а. - С.11.
- Вершинин В.Д. Встречаемость депигментации радужины в городских группировках остромордой лягушки // Экология популяций. Ч.1. - Новосибирск, 1988. - С.89-91.
- Вершинин В.Д. Морфологические аномалии амфибий городской черты // Экология, 1989. - № 3. - С.58-66.
- Вершинин В.Д. Изменчивость числа яиц в кладках сибирского углозуба в зоне рекреации // Вопросы герпетологии. - Киев, 1989а. - С.45-46.
- Вершинин В.Д., Топоркова Л.И. Амфибии городских ландшафтов // Фауна Урала и Европейского Севера. - Свердловск, 1981. - С.48-56.
- Вершинин В.Д., Кришин С.В. Плотность в группировках остромордой лягушки в зависимости от степени урбанизации // Проблемы экологического мониторинга и научные основы охраны природы на Урале. - Свердловск, УНЦ АН СССР, 1985. - С.9-10.
- Вершинин В.Д., Терешин С.Ю. О возможности использования теста на функциональное состояние возбудимых тканей амфибий для контроля качества среды // Актуальные проблемы эко-

- гии: Экологические системы в естественных и антропогенных условиях среды. - Свердловск, УрО АН СССР, 1989. - С.15-16.
- Гершензон М.С. Микроэволюция, полиморфизм и доминантные мутации // Природа, 1985. - № 4. - С.86-89.
- Дабаян Н.В., Слепцова Л.А. Травяная лягушка *Rana temporaria* L. // Объекты биологии развития. - М., 1975. - С.442-462.
- Захаров Б.М. Асимметрия животных (популяционно-генетический подход). М., 1987. - 216 с.
- Кочелев Б.В. Особенности адаптивных преобразований популяций, кинетика рыбных сообществ и изменение индивидуального развития особей в разных условиях обитания // Экология популяций. Ч.2. - Новосибирск, 1988. - С.159-161.
- Лебединский А.А. Земноводные в условиях урбанизированной территории (на примере г.Горького) / Автореф. канд.дисс. ... биол. наук. М., 1984. - 23 с.
- Любашевский Н.М., Садыков О.Ф., Попов Б.В. и др. Техногенный фтор в лесных экосистемах Урала // Биохимическая экология и медицина. Вып.2. - Свердловск, УНЦ АН СССР, 1985. - С.234-272.
- Плисс Г.Б., Худольей В.В. Онкогенез и канцерогенные факторы у низших позвоночных и беспозвоночных животных // Экологическое прогнозирование. - М., 1979. - С.167-185.
- Северцов А.С., Сурова Г.С. Влияние хищников на популяцию головастиков травяной лягушки (*Rana temporaria*) // Зоол. журнал, 1979. - Т.58. - Вып.9. - С.1374-1379.
- Терешин С.Ю. Сравнительная характеристика компонентов озера Молтаево // Актуальные вопросы физиотерапии и курортологии в условиях Западной Сибири. - Тюмень, 1979. - С.41-42.
- Шварц С.С. Экология человека: новые подходы к проблеме "Человек

- и природа"//Будущее науки: Международный ежегодник.
-Вып.9. -М., 1976. -С. 165-172.
- Шварц С.С. Экологические закономерности эволюции. М.,
1980.- 278 с.
- Яницкий О.Н. Экологическая перспектива города. М.,1987.-
278с.
- Byrne A.R., Kostel L., Stegnar P. The occurrence of mercury in
amphibia//Environ.Lett.-1975.-8, № 2. P.147-155.
- Cooke A.S. Marking tad poles with neutral red// Brit.J.
Herpetol.-1978.-5.-P.701-705.
- Cooke A.S. Tadpoles as indicators of harmful levels of
pollution in the field//Environ.Pollut.,1981.-Ser. A. -
25.-P. 123-133.
- Cecil S.G.,Just J.J. Use of acrylic polymers for marking of
tadpoles (Amphibia Anura)//J.Herpetol.,1978.-V.12, № 1.
-P.95-96.
- Cecil S.G.,Just J.J. Survival rate, population density and
development of a naturally occurring anuran larvae (*Rana
catesbeiana*)//Copeia,1979.- № 3.-P.447-453.
- Dumpert K. Tests with the South African clawed toad
(*Xenopus laevis*) for detecting chemical causes of the
decrease of amphibians//Chemosphere,1986.-V.15, № 6. -P.
807-811.
- Dunson W.A.,Connell J. Specific inhibition of hatching in
amphibian embryos by low pH//J.Herpetol., 1982.-V.16, №
3.-P.314-316.
- Flindt R. Untersuchungen zum Ausreten von mißgebildeten
wechselkröten (*Bufo viridis*) in einen steinbruch in
Valingen - Roßwag//Jahresh.Ges.Naturk.Württemberg, 1985.

- № 140.-P.213-233.

- Hall R., Kolbe E. Bioconcentration of organophosphorus pesticides to hazardous levels by amphibians//J. Toxicol.and Environ.Health, 1980.-V.6, № 4.-P.853-860.
- Honegger R.E. Marking amphibians and reptiles for future identification//Int.Zoo.Yearb. V.19.- London,1979. -P. 14-22.
- Myer-Rochow B.V., Adashima M. Naturally occurring morphological abnormalities in wild populations of the Japanese newt *Cynops pyrogaster* (Salamandridae; Urodela; Amphibia)//Zool.Anz.,1988.-V. 221, № 1-2. -P. 70-80.
- Rose F.L., Harshberger J.C. Neoplastic and possibly related skin lesions in neotenic Tiger salamanders from a sewage lagoon//Science,1977. -V.196, № 4287.-P. 315-317.