

БИОИНДИКАЦИЯ, ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА И НОРМИРОВАНИЕ В МЕТОДАХ МОНИТОРИНГА ПРЕСНОВОДНЫХ ЭКОСИСТЕМ

А.П. Левич, Н.Г. Булгаков, Д.В. Рисник, В.Н. Максимов

*Биологический факультет МГУ имени М.В.Ломоносова, Москва, Россия,
e-mail: apl@chronos.msu.ru*

ПРОБЛЕМЫ СУЩЕСТВУЮЩЕЙ СИСТЕМЫ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ

Современная система экологического нормирования в России основана, в первую очередь, на нормативах предельно допустимых концентраций (ПДК) загрязняющих веществ. Эти нормативы устанавливаются в лабораторных опытах по биотестированию путем анализа зависимостей "доза – эффект". Процедура установления норматива состоит в фиксации в качестве ПДК такой концентрации вещества, при которой величина биологического тест-параметра достигает условленного порогового значения, (на рис. 1 этот порог обозначен как "красная черта").

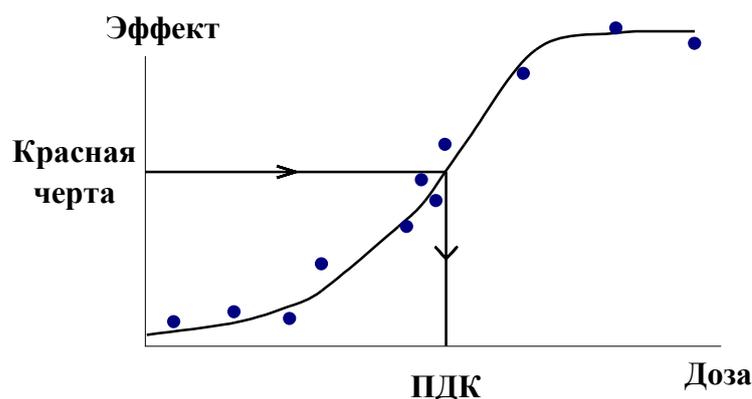


Рис. 1. Установление ПДК в опытах по биотестированию.

Установленный в лаборатории норматив ПДК применяют для нормирования качества среды природных экосистем. Следует отметить ряд главных причин, по которым перенос лабораторных результатов на реальные природные объекты приводит к сугубой неэффективности всей системы экологического нормирования:

- Фактически, неблагополучие тестовой популяции в колбе отождествляют с неблагополучием реальной экосистемы.
- Если в лабораторных опытах уровень ПДК представляет собой следствие существования "красной черты" для состояния тестовой популяции, то при примене-

нии ПДК к природным объектам происходит подмена понятий, и границей между благополучными и неблагополучными состояниями экосистем полагают лабораторные величины ПДК.

- Если в лабораторных опытах на тестовую популяцию воздействует единственный испытуемый фактор и предполагается, что действие остальных не приводит к неблагополучию, то в природных экосистемах нет изолированного действия факторов, и все они одновременно влияют на каждую из биологических характеристик и могут одновременно приводить к неблагополучию.

- ПДК устанавливают как универсальные нормативы для огромных административных территорий. Они не учитывают специфику функционирования экосистем в различных природно-климатических зонах (широтная и вертикальная зональность, биогеохимические провинции с естественными геохимическими аномалиями и различным уровнем содержания природных соединений), а значит, и их токсикорезистентность.

Трудности, с которыми сталкивается методология применения ПДК, неоднократно обозначены во многих публикациях по нормированию качества окружающей среды (см., например, [1-2]).

БИОТИЧЕСКАЯ КОНЦЕПЦИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ

Экологическую неэффективность методологии ПДК призвана преодолеть биотическая концепция экологического контроля [1-4]:

- Оценку состояния природных экосистем следует проводить не по уровням факторов среды, а по характеристикам биологических компонент (биологическим индикаторам).

- Эту оценку следует проводить *in situ*, а не *in vitro*.

- Границы нормы факторов среды следует вводить как уровни, не нарушающие норму экологического состояния, установленную по биологическим индикаторам.

Идея, реализующая биотическую концепцию перехода от лабораторных ПДК к "натурным" нормативам, казалось бы, лежит на поверхности: нужно проанализировать зависимость "доза-эффект" для факторов среды и биоиндикаторов. Однако реализация этой идеи сталкивается с принципиальными и, как следствие, с методическими трудностями:

- 1) При установлении нормативов в лаборатории понятие экологической нормы возникает как конвенционально принятый порог тест-параметра подопытных организмов.

Такой нормой может быть, например, объявленный экспертами уровень смертности в лабораторной популяции. Для природных экосистем желателен отказ от экспертного (субъективного) установления "красной черты". Другой пример – отклонением от экологической нормы признают статистически значимое превышение величин тест-параметра в контрольном эксперименте. И такой подход в приложении к природным объектам нереалистичен, поскольку у исследователей нет в распоряжении другого – контрольного – эксперимента, кроме пассивного эксперимента, который человек "проводит" над природой в местах своего проживания и хозяйственной деятельности.

Для природных экосистем границы классов качества вводят экспертным, другими словами, субъективным образом. Необходимо введение научно обоснованного определения (и метода установления) для понятия "экологическая норма природного объекта".

- 2) В контролируемых условиях лабораторных экспериментов "хорошо организованные" данные "доза-эффект" имеют вид однозначных функциональных зависимостей, поддающихся корреляционному, регрессионному и другим видам статистического анализа (рис 1). В природных экосистемах на биологические характеристики одновременно действует множество факторов среды, среди которых только часть охвачена программами мониторинга. Диаграмма "доза-эффект" в этом случае имеет вид "плохо организованного" облака точек.

Поэтому необходим метод отыскания взаимосвязи между переменными, позволяющий выявлять корреляции, скрытые при рассмотрении парных зависимостей биоиндикатора от отдельных факторов.

МЕТОД УСТАНОВЛЕНИЯ ЛОКАЛЬНЫХ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ НОРМ

Один из методов анализа "плохо организованных" данных – переход от количественных переменных к их качественным классам. Такими классами могут быть "низкие", "средние" и "высокие" значения; "благополучные" и "неблагополучные", "допустимые" и "недопустимые" значения и т.п. После выделения качественных классов возможен поиск корреляций и других видов связи уже между качественными классами различных переменных. Применение анализа качественных переменных сталкивается, по крайней мере, с двумя трудностями. Во-первых, возникает проблема выбора объективного критерия для выделения качественных классов. Вторая трудность особенно ярко проявляется при поиске связи между биотическими и абиотическими характеристиками экосистем. Она связана

с упомянутым выше неустранимым *in situ* влиянием на индикаторы всех факторов среды и состоит в том, что любые из них могут одновременно приводить к экологическому неблагополучию. К чему приводит это обстоятельство при анализе натуральных зависимостей "доза-эффект" следует разъяснить подробнее.

Качественные классы для биологического индикатора – это классы "благополучных" и "неблагополучных" значений, указывающих соответственно на экологическое благополучие или неблагополучие биоты. Для фактора – это классы "допустимых" и "недопустимых" значений. Если некоторая биологическая характеристика Y действительно является индикатором воздействия на биоту фактора X , то благополучные значения индикатора Y встречаются в наблюдениях за экосистемой только совместно с допустимыми значениями фактора X , а неблагополучные значения индикатора Y – только совместно с недопустимыми значениями фактора X . Этот идеальный случай отражен на рис. 2а, где граница между "благополучными" и "неблагополучными" значениями названа "границей нормы индикатора", а граница между "допустимыми" и "недопустимыми" значениями фактора названа "границей нормы фактора".

На рис. 2б представлено типичное реальное распределение результатов наблюдения за индикаторной характеристикой Y и некоторым фактором X . От идеального случая на рис. 2а это распределение отличает наличие точек-наблюдений в области "с". Наполненность области "с" связана с влиянием на индикатор всех существующих в среде факторов. Если для качественных классов на рис 2а корреляция между ними "стоппроцентна", то для реальных распределений (рис. 2б) корреляционный анализ может не дать убедительных результатов. Однако, если индикатор Y действительно представляет собой "правильный отклик" на воздействие X , то область "b" на рис. 2б обязательно должна быть пуста. Другими словами, недопустимые значения фактора X никогда не должны приводить к благополучным значениям индикатора независимо от действия других факторов. Однако в силу возможности случайного попадания точек в область "b" требование к её пустоте приходится смягчать, требуя, чтобы область "b" была "как можно более" пустой.

Подход, который можно назвать методом установления локальных экологических норм (методом ЛЭН) или методом частичных корреляций между качественными переменными [5, 6], реализует идею поиска "как можно более пустой" области "b".

"IN SITU"-ТЕХНОЛОГИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ

Представленный выше подход к поиску взаимосвязей между биотическими и абиотическими характеристиками экосистем может быть положен в основу комплекса методик для экологического контроля по совместным данным биологического и физико-

химического мониторинга природных объектов. Этот комплекс можно назвать "in situ"-технологией [6], которая включает несколько методик:

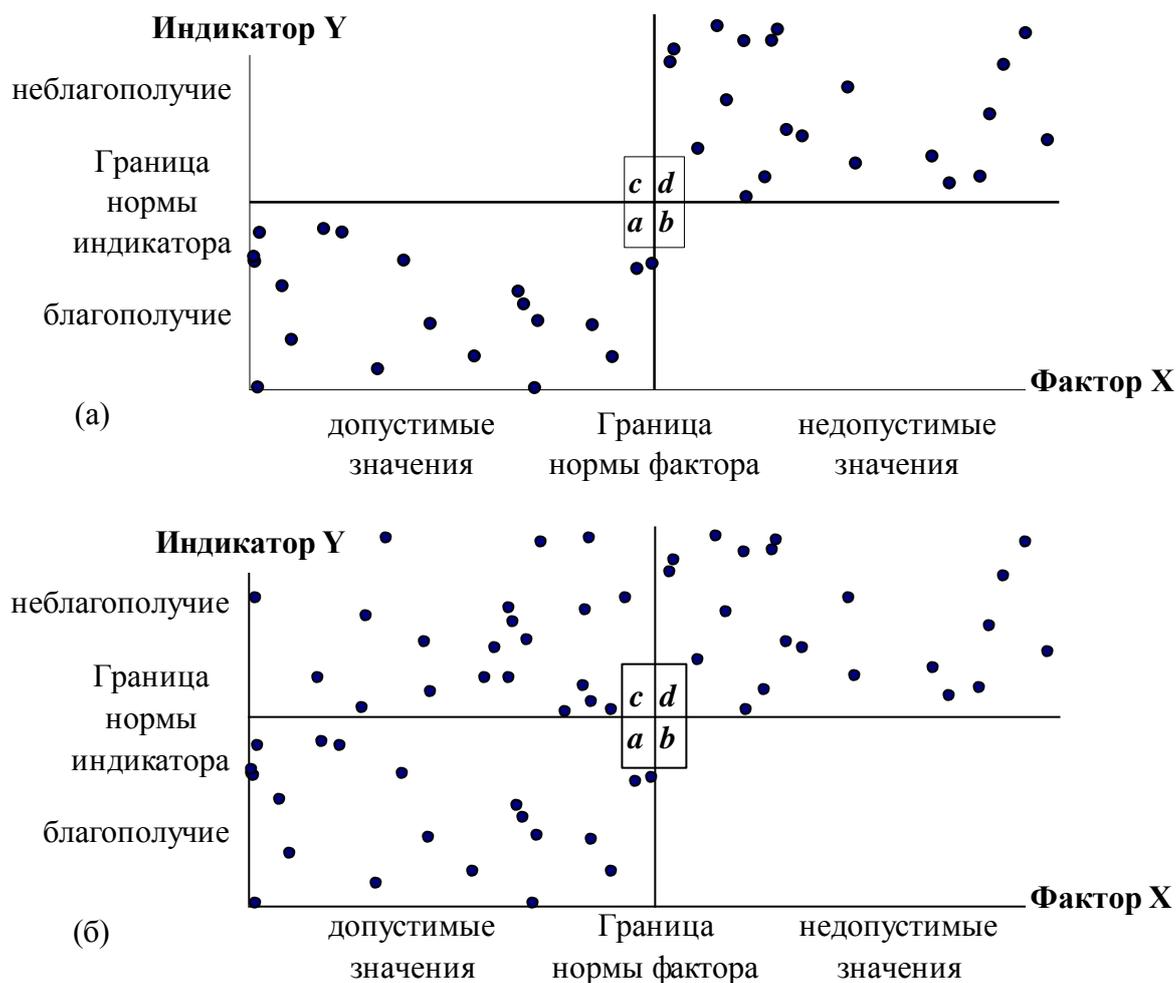


Рис. 2. Классы значений индикатора и фактора в идеальном случае, когда на индикатор влияет только один фактор (а), и в реальном наблюдении, когда на индикатор воздействует множество факторов (б)

1) методику расчета биологических характеристик экосистем, принятых за биоиндикаторы их состояния (см., например, [7, 8, 9]); 2) методику экологической диагностики состояния экосистем, понимаемую как процедуру выявления среди факторов среды значимых и незначимых для экологического неблагополучия биоты; 3) методику экологического нормирования, включающую как установление нормы состояния экосистемы (границы между "благополучными" и "неблагополучными" значениями биоиндикатора состояния), так и установление норм факторов – границ между допустимыми и недопустимыми их значениями, выход за пределы которых приводит к неблагополучию состояния экосистемы; 4) ме-

тодику ранжирования значимых факторов (см. пункт 2) по их вкладу в экологическое неблагополучие; 5) методику, которая позволяет выявить, в какой степени достаточна программа мониторинга факторов среды, вызывающих экологическое неблагополучие; 6) методику оценки качества среды в отдельных пунктах наблюдения за биологическими и физико-химическими характеристиками экосистем в определенную дату наблюдения; 7) методику выявления причин экологического неблагополучия на отдельных "датопунктах" и их совокупностях; 8) методику прогноза состояния экосистемы по сценариям проектируемых воздействий; 9) методику управления качеством среды.

Работа частично поддержана РФФИ (гранты 09-04-00541а, 10-04-00013а, 11-04-00915а).

1. Абакумов В.А., Сущенко Л.М. Гидробиологический мониторинг пресноводных экосистем и пути его совершенствования // Экологические модификации и критерии экологического нормирования. Труды международного симпозиума. – Л.: Гидрометеоиздат, 1991. С. 41–51.
2. Левич А.П., Булгаков Н.Г., Максимов В.Н. 2004. Теоретические и методические основы технологии регионального контроля природной среды по данным экологического мониторинга. – М.: НИИ-Природа. 271 с.
3. Максимов В.Н. Проблемы комплексной оценки качества природных вод (экологические аспекты) // Гидробиологический журнал. 1991. Т. 27. № 3. С. 8-13.
4. Левич А.П. Биотическая концепция контроля природной среды // Доклады РАН. 1994. Т. 337. № 2. С. 280-282.
5. Левич А.П., Милько Е.С. 2011. Нормирование качества среды и биоиндикация экологического состояния природных объектов как детерминационный анализ зависимостей «доза-эффект» для функций многих переменных // Актуальные проблемы экологии и природопользования. – М.: РУДН. С. 16-25.
6. Левич А.П., Булгаков Н.Г., Максимов В.Н., Рисник Д.В. "In situ"-технология установления локальных экологических норм // Вопросы экологического нормирования и разработка системы оценки состояния водоемов. – М.: Товарищество научных изданий КМК, 2011. С. 32-57.
7. Булгаков Н.Г., Левич А.П., Гончаров И.А., Будилова Е.В. Применение метода установления локальных экологических норм для биоиндикации и диагностики состояния антропогенных экосистем по показателям демографии и заболеваемости населения России // Данный сборник статей.

8. Левич А.П. Что может дать метод установления локальных экологических норм для поиска взаимосвязи между биологическими и физико-химическими характеристиками среды // Антропогенное влияние на водные организмы и экосистемы. – Борок: 2011. С. 138-142.
9. Рисник Д.В. Анализ влияния сезонных и географических факторов, особенностей отбора и обработки проб на биоиндикационный потенциал размерной структуры сообществ фитопланктона Волги // Данный сборник статей.

SUMMARY

Levich A.P., Bulgakov N.G., Risnik D.V., Maximov V.N.

BIONDICATION, ECOLOGICAL DIAGNOSTICS AND STANDARDIZATION IN METHODS OF MONITORING OF FRESHWATER ECOSYSTEMS

The approach to monitoring of freshwater ecosystems and estimation of their quality, based on biotic concept of ecological control is offered. The offered approach can be taken into the base methods complex for ecological control by joint data of biological and physico-chemical monitoring of natural objects. This complex could be named "in situ"-technology.