

**О КНИГЕ В. Ф. ШУЙСКОГО, Т. В. МАКСИМОВОЙ, Д. С. ПЕТРОВА  
“ИЗОБОЛИЧЕСКИЙ МЕТОД ОЦЕНКИ И НОРМИРОВАНИЯ  
МНОГОФАКТОРНЫХ АНТРОПОГЕННЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА  
ПРЕСНОВОДНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ ПО СОСТОЯНИЮ  
МАКРОЗООБЕНТОСА”<sup>1</sup>**

© 2006 г. В. К. Шитиков, Г. С. Розенберг

Одна из наиболее актуальных задач современной экологии – моделирование отклика биологических систем на изменяющийся уровень многопараметрических воздействий и количественная оценка нормативных значений антропогенных факторов. К сожалению, после известных работ В. Д. Федорова и Т. Д. Гильманова [2 и др.] 80-х годов XX в. трудно назвать сколько-нибудь заметные труды, расширяющие концептуально-методологическую сторону проблемы. Еще меньше публикаций, где авторы, фактически исследующие влияние различных факторов среды на гидроэкосистемы, выходили бы за рамки непритязательных графиков Excel или оценок простейших корреляций. Рецензируемая монография, по-видимому, первая попытка, где строгое, последовательное и развернутое обоснование таких теоретико-экологических понятий как “оценка антропогенных изменений”, “устойчивость гидробиоценозов” и “нормирование многофакторных воздействий” сочетаются с большим количеством примеров, подробно иллюстрирующих применение изоболического метода на экспериментальных данных, полученных авторами.

Всю монографию, представленную шестью главами, по характеру изложения можно разбить на три составные части: 1) определение концептуальной сущности, механизмов и компонентов оценки воздействий на пресноводные экосистемы, 2) математическое описание изоболического метода, 3) практические примеры реализации.

Первая часть не может не доставить чувства удовлетворения самому придирчивому читателю. Не размываясь на малосущественные частности, авторы дают развернутую классификацию абиотических факторов и биотических параметров гидроэкосистем (на примере макрозообентоценозов) и делают подробный сравнительный

анализ типов функциональных взаимодействий между ними. Возможность оценки антропогенного воздействия на биоценозы авторы справедливо видят только как результат сравнения значений наиболее показательных характеристик сообщества-биоиндикатора в двух состояниях: при наличии изучаемого воздействия (*импактные* объекты) и в его отсутствии (*фоновые* объекты), причем обязательно при прочих равных условиях. Обосновываются понятия и признаки фоновых условий, предлагаются конкретные методики описания фонового состояния сообществ макрозообентоса для гомотопных и гетеротопных экосистем. Важность этих теоретических положений, представленных в монографии, связана с принципами стратегической политики в отношении экологических исследований, объективная необходимость выработки которых очевидна для научного сообщества. Ресурсы экологической науки не позволяют реализовать сплошной “фронтальный” мониторинг всех биосферных объектов, поэтому особое значение приобретают точный выбор и оптимальное планирование объема исследований по главным директивным направлениям, позволяющим принести максимальную теоретическую и практическую эффективность.

Важное место в монографии занимает сравнительный анализ показателей, оценивающих реакцию биоты на внешние возмущающие воздействия, и выбор функций *отклика* *f* экосистемы (функций *желательности* в терминологии В. Д. Федорова и Т. Д. Гильманова [2]). В. Ф. Шуйский с соавт. считают, что традиционные биоиндикационные показатели макрозообентоса, основанные на численности и биомассе таксономических групп, имеют вторичное, вспомогательное значение, в то время как наиболее надежная оценка состояния экосистем и их антропогенных изменений возможна только при непосредственном учете и анализе полного видового состава сообщества (здесь явно прослеживается аналогия с хорошо развитыми в фитоценологии методами классификации по Браун-Бланке). При этом вводится понятие списка *характерных* видов макрозообентоса в его фоновом состоянии и

<sup>1</sup> В. Ф. Шуйский, Т. В. Максимова, Д. С. Петров. Изоболический метод оценки и нормирования многофакторных антропогенных воздействий на пресноводные экосистемы по состоянию макрозообентоса. СПб.: Международ. академия наук экологии, безопасности человека и природы, 2004. 304 с.

предложен количественный критерий, позволяющий определить, входит ли конкретный вид в состав “локального актуального пула” (*actual species pool* [3]) или он может быть исключен при сравнительной оценке видового состава в различных условиях как нехарактерный (случайный) для сообщества. Оценку экологической роли каждого вида и проверку нулевой гипотезы авторы предлагают осуществлять с использованием критерия Стьюдента. На взгляд рецензентов, требуются дополнительные исследования относительно устойчивости критерия Стьюдента в условиях различных закономерностей распределения наблюдаемых значений популяционной плотности. Необходим также анализ и выбор количественной оценки результатов сравнения двух списков видов: используемые авторами (достаточно традиционные) доля встреченных характерных видов или сходство по Сьеренсену между фоновыми и импактными пробами представляются не самыми удачными критериями такого рода.

В рецензируемой монографии подробно излагается концепция оценки устойчивости экосистем в условиях многофакторного градиента внешних воздействий. Предлагаются конкретное понятие и количественная мера состояния упругой устойчивости макрозообентоценоза (способность сообщества возвращаться в исходное состояние после прекращения воздействия). Выделяются три фазы упругой устойчивости: оптимальное состояние экосистемы, субоптимальное состояние, характеризующееся последовательной потерей резистентности, и пессимальное (пограничное) состояние, в котором велик риск бифуркационных “взрывов” и необратимых изменений в сообществе. Каждому фиксированному состоянию экосистемы соответствует совокупность различных сочетаний значений взаимосвязанных антропогенных факторов, которую авторы называют изоболой (от греческого “οσοξ” – равное и “βολοξ” – изменение). Тогда с учетом этих понятий формальная постановка задачи нормирования антропогенных воздействий сводится к нахождению границ области сохранения упругой устойчивости экосистемы в гиперпространстве  $n$  лимитирующих факторов, т.е. изоболы повышенного риска потери макрозообентоценозом толерантности к воздействию. Во второй части монографии математически описан поиск границ областей сохранения устойчивости экосистемы.

Количественное описание условий сохранения упругой устойчивости экосистем авторы видят в анализе семейства изоболических гиперповерхностей

$$\frac{f}{f_0} = \sum_{i=1}^n (x_i)^{Z_i},$$

где  $f$  и  $f_0$  – значения биотических показателей, оценивающих состояние макрозообентоценоза в

импактных и фоновых условиях соответственно,  $x_i$ ,  $i = 1, 2, \dots, n$  – нормированные значения факторов антропогенного воздействия,  $Z_i$  – параметры регрессионной модели, определяющие нелинейный характер взаимодействия, оценки которых находятся градиентными методами оптимизации.

Цель математического анализа – нахождение границ области сохранения упругой устойчивости и различных частных проекций этой гиперповерхности, исходя из условия  $f/f_0 = 1$ . Тогда для любого произвольного сочетания значений  $n$  комбинированных факторов ( $x_1, x_2, \dots, x_n$ ) можно оценить степень уклонения экосистемы от границы области упругой устойчивости с помощью изоболического показателя  $Y = 1/\sum_{i=1}^n (x_i)^{Z_i}$ , который близок к единице для фоновых условий и стремится к бесконечности по мере увеличения степени импактности.

Методологическую основу нормирования многофакторных воздействий на гидроэкосистемы авторы видят в изучении закономерности реакций макрозообентоценозов, определяемых соотношениями  $f/f_0$ . Для этого выполняется статистический анализ причинно-следственных связей нормированных количественных характеристик макрозообентоценозов (индекса Шеннона, биомассы, средней массы особи и т.д.) и изоболического показателя  $Y$ . Предложена “почти стандартная” аппроксимация этих зависимостей функцией сигмоидного типа, которая не противоречит существующим теоретическим взглядам на устойчивость экосистем и кинетику процессов “воздействие – эффект”.

Представляет значительный интерес небольшой, но информационно насыщенный материал, представленный в разделе “Оценка техногенного экологического ущерба на основе риск-анализа”. Авторы указывают на то, что техногенные воздействия на окружающую среду, формирующие экологический риск и ущерб, не могут содержательно интерпретироваться простыми стационарными графами, отображающими независимые альтернативные сценарии развития опасных событий [1]. Природные и техногенные явления связаны между собой не жесткими детерминированными связями с усредненными параметрами воздействия, а вероятностными зависимостями динамического нестационарного характера. В разделе приводится описание разработанной авторами методики анализа экологического риска, учитывающей законы вероятностного распределения интенсивности техногенных факторов и предусматривающей, в частности, использование изоболического метода оценки комбинированных воздействий.

Вряд ли уместно обсуждать математические аспекты предлагаемого изоболического метода,

подробно описанного в монографии. Вероятно, использование более изощренного аппарата современной математики (например, нейросетевого моделирования, уравнений обобщенных нелинейных полиномов, потенциальных функций и т.д.) могло бы повысить точность и эффективность аппроксимации данных искомыми изоболлическими поверхностями. Осталась также неясной процедура “совмещения” областей упругой устойчивости, выделенных для различных функций желательности  $f$ . Для воспроизводства предлагаемых методик читателю были бы интересны такие немаловажные детали, как технология выбора подмножества точек наблюдений, лежащих вблизи границы устойчивости и используемых для нахождения оценок параметров  $Z_i$ . Весьма сомнительные выводы делаются, на взгляд рецензентов, из сравнения результатов использования двух различных методов кластерного анализа (стр. 225). Можно упомянуть и другие вопросы или дискуссионные положения, которые неизбежно возникнут при чтении книги как экологами, так и математиками. Однако представляется более важным отметить два следующих обстоятельства.

Во-первых, книга написана профессиональными экологами-гидробиологами и адресована для чтения экологической аудиторией. Язык изложения – образный и доступный, а специальные рассуждения и формулы не выходят за рамки школьного курса математики, хотя и не предполагают облегченного примитивизма. Десятки практических примеров для моделируемых водотоков и гидросистем Центрального и Северо-Западного регионов России подробно и развернуто иллюстрируют изложенные теоретические предпосылки. Все это делает рецензируемую монографию более действенным инструментом становления системно-аналитического мировоззрения практических экологов, чем “сто томов” специального курса высшей математики и системотехники.

Во-вторых, использование предложенного изоболлического метода на множестве пресноводных объектов позволило проанализировать, обобщить, формализовать и типизировать основные количественные закономерности реакции пресноводных макрозообентоценозов на различные многофакторные воздействия. Авторы, получив на практике конкретные результаты и квалифицированно их обработав, тем самым как бы сказали: “Мы сделали, что смогли. Кто думает

иначе – пусть сделает лучше”. А это дорогого стоит в наш век, наполненный малопродуктивной дискуссионностью и бездоказательным декларированием.

В последние десятилетия нередки споры о соотношении биологической и математической составляющих в экологии как науке. Несмотря на то что элементарная единица анализируемых сообществ – биологические объекты (особи, популяции, сообщества), приходится признать, что основную сущность экологических исследований составляют операции с абстрактными объектами математической природы: множествами, классами, категориями, взаимодействиями, причинно-следственными связями и другими конструктивами сложных систем. В практической работе с такими объектами существуют свои законы, свои операционистские приемы. Например, желая всего лишь сравнить между собой два значения индекса Шеннона, биолог неожиданно для себя попадает на “чужое поле” в мир прикладной статистики, где действуют свои, десятилетиями отработанные “правила игры”. Разумеется, можно проигнорировать классическую схему оценки статистических гипотез и, доверившись “зову биологической сущности”, сразу объявить верным подходящий случаю результат, но такой подход имеет все меньшее и меньшее отношение к науке. Объективно существующее движение по направлению к “доказательной экологии” неизбежно сопровождается психологически болезненной для специалистов-биологов сменой вех, когда математика из подсобного иллюстратора устоявшихся штампов превращается в генератора и строгого цензора продуктивных идей о механизмах функционирования экологических сообществ. Неплохим образцом гармоничного сочетания математической и гидробиологической составляющих в экологии можно считать рецензируемую книгу.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Методические указания по проведению анализа риска опасных производственных объектов (РД 03-418-01). М.: Госгортехнадзор РФ, 2001. 13 с.
2. Федоров В.Д., Гильманов Т.Г. Экология. М.: Изд-во МГУ, 1980. 464 с.
3. Abbott I. Review of past and current research into insect problems in the jarrah forest, with recommendations about the future direction of research. Western Australia: Department of Conservation and Land Management, 1987. 72 p.