УДК 591.524.11(28)

В.Ф.ШУЙСКИЙ
Горный факультет, профессор кафедры экологии, аэрологии и охраны труда
Д.С.ПЕТРОВ
Горный факультет, аспирант кафедры экологии, аэрологии и охраны труда

МЕТОДИКА КОЛИЧЕСТВЕННОЙ ОЦЕНКИ МНОГОФАКТОРНЫХ ТЕХНОГЕННЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА ПРЕСНОВОДНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ

В настоящее время для оценки антропогенных изменений среды используются различные методики, имеющие ряд недостатков. Предложен метод оценки техногенных воздействий на водотоки, использующий количественные закономерности реакции биоты на многофакторную нагрузку. Основным биоиндикатором многокомпонентных воздействий является макрозообентос. Количественный эффект взаимодействия факторов точно передается оригинальной изоболической моделью. Метод позволяет решить следующие проблемы: точно оценить состояние биоты, выделить главные лимитирующие факторы, правильно учесть их взаимодействие, а также прогнозировать общий эффект снижения воздействия от разрабатываемых природоохранных мероприятий. Метод апробирован при изучении различных техногенных воздействий на пресноводные водоемы России.

Now for a rating of manmade changes of environment the various methods, which have a number of lacks are used. In the submitted work the method of a rating of manmade influences on rivers, using quantitative law of biota reaction on multifactor loading is offered. Thus the macrozoobenthos is the main bioinicator of multifactor impact. The volume effect of the factors interplay is precisely transmitted by special isobolical model. The method allows to decide the following problems: precisely to estimate a status biota, to allocate the main limiting factors, correctly to take into account their interaction, and also to predict cumulative effect of decrease of influence from developed nature protection measures. This method was used in researches of the impacts of different industrial objects on the freshwater reservoirs of Russia.

Как известно, оценка качества среды и антропогенных изменений экосистем может производиться по их абиотическим и биотическим параметрам. Абиотические параметры характеризуют среду и ее изменения непосредственно, причем количественно. Однако остается неясным, насколько условия среды в целом соответствуют потребностям биоты, учтены ли хотя бы основные вредные для нее факторы, каков эффект их взаимодействия и др. Биотические параметры, напротив, надежно характеризуют качество среды, но часто не позволяют судить о природе воздействия. Иногда определяют и те, и другие параметры по отдельности, но это малоэффективно. Применяемые сейчас методы оценки воздействий на среду не свободны и от других недостатков: пробоотбор часто проводится бессистемно, почти наугад; крайне неэффективна методология количественной диагностики сложных воздействий. В гидроэкологии сложился традиционный уклон в сторону оценки преимущественно органического загрязнения – сапробности, которая на самом деле давно отошла на второй план, и т.д.

Предлагаемый метод оценки качества техногенных воздействий на водотоки, использует количественные закономерности реакции биоты на многофакторную нагрузку. Метод позволяет решить все указанные проблемы: точно оценить состояние биоты, выделить главные лимитирующие факторы, правильно учесть их взаимодействие, а так-

же прогнозировать общий эффект снижения воздействия от разрабатываемых природоохранных мероприятий.

В качестве основного биоиндикатора используется макрозообентос – сообщества донных беспозвоночных крупнее 2 мм. Поскольку седименты накапливаются в бентали, именно там наиболее резко проявляются антропогенные изменения абиотических условий водоема. Кроме того, по сравнению с другими сообществами гидробионтов зообентос наиболее стабилен в пространстве и времени, адекватно отражает антропогенные воздействия на водоемы и их конкретные биотопы и является одним из лучших биоиндикаторов водных экосистем.

Методика включает следующий комплекс операций:

1. Планирование гидроэкологической съемки водотока в условиях изучаемого воздействия (в «импактных» условиях) и вне его (в «фоновых» условиях). Приблизительная оценка ожидаемого распределения поллютантов, поступающих от всех источников сброса изучаемого объекта воздействия, может быть выполнена, например, с применением программы «Pollution» (разработчик НПО «Поток»). Как известно, точность таких расчетов обычно не очень велика, но для планирования будущей съемки – вполне достаточна.

Будущие створы наблюдения (не менее семи) выбираются по двум критериям:

• створы должны быть относительно равномерно расположены во всем рассчитанном градиенте воздействия: от самих источников сброса до зон с фоновыми условиями выше и ниже объекта по течению;

• створы должны пересекать все биотопы (или хотя бы наиболее характерные для данного водотока, берущиеся как модельные).

2. Гидроэкологическая съемка водотока на выбранных створах. Число станций на створе не менее пяти: две прибрежные, одна центральная и две промежуточные. Желательно охватить при этом все модельные биотопы. На каждой станции определяются стандартные гидрологические параметры, выполняются гидрохимические анализы «первого дня», отбираются пробы воды и грунта (по одной) и зообентоса (не менее трех) для лабораторного анализа.

3. Лабораторный анализ проб. Цель лабораторного химического анализа проб воды и грунта – получение стандартных параметров природных вод, способных измениться вследствие изучаемого воздействия, оценка специфических поллютантов изучаемого воздействия и специфических факторов, обусловливаемых другими источниками выше по течению.

Макрозообентос на каждой станции должен быть охарактеризован составом постоянно встречающихся видов (средняя популяционная плотность на станции, достоверно отличная от нуля) и составом случайно встреченных видов. Расчет среднего арифметического количественных оценок с их ошибками проводится для индексов разнообразия, биомассы, плотности, средней массы, типовых индексов качества среды, скорости образования продукции.

4. Оценка устойчивости сообществ к изучаемому воздействию. По результатам исследования станции относят к одной из трех групп:

• «устойчивость сохранена» – состав характерных видов не отличается от фонового в биотопах того же типа;

• «устойчивость утрачена» – часть видов, характерных для биотопа в фоновых условиях, исчезла (что часто ведет к непредсказуемым изменениям сообщества, экосистемы, качества среды);

• «ситуации повышенного риска потери устойчивости» – часть характерных видов еще встречается, но уже перешла в разряд случайных.

5. Анализ лимитирующих факторов. После выделения факторов воздействия, реально влияющих на сообщества и вызывающих потерю их устойчивости, для них определяются границы диапазонов: 1) не способных изменять характеристики сообщества (оптимальный диапазон); 2) обеспечивающих сохранение устойчивости (толерантный диапазон).

Значения всех лимитирующих факторов единообразно нормируются по формуле

вида $X_{ij} = (x_{ij} - x_{io})(x_{it} - x_{io})^{-1}$. Оптимальные значения «отсекаются», а неоптимальные показывают кратность превышения устойчивости сообществ к данному фактору.

6. Количественное описание условий устойчивости к воздействию. Граница области сохранения устойчивости к воздействию в евклидовом пространстве лимитирующих факторов описывается формулой

$$\sum_{i=1}^{n}\left[\left(X_{ij} - X_{io}\right)\left(X_{it} - X_{io}\right)^{-1}\right]^{Z_i} = 1.$$

Значения параметров Z определяются по методу наименьших квадратов (по ситуациям повышенного риска потери устойчивости) и показывают, как данный фактор взаимодействует с остальными: при $Z \approx 1$ аддитивно, при $Z > 1$ сильнее, чем аддитивно, при $Z < 1$ слабее, чем аддитивно.

Совокупность всех сочетаний значений лимитирующих факторов, оказывающих на биосистему равносильное воздействие, называется изоболой [1]. Поэтому данную простую модель устойчивости сообществ к воздействию, описывающую изоболы с учетом реального эффекта взаимодействия факторов, мы называем изоболической [2].

7. Количественная оценка воздействия. Уровень воздействия в любой j-й точке акватории

$$\sum_{i=1}^{n}\left[\left(x_{ij} - x_{io}\right)\left(x_{it} - x_{io}\right)^{-1} Y_j^{-1}\right]^{Z_i} = 1,$$

где Y – кратность превышения устойчивости сообществ к воздействию, при $Y < 1$ сообщества еще целы, при $Y > 1$ сообщества уже разрушены, так как их устойчивость превышена в Y раз.

Наши исследования показали, что различные изоболы, соответствующие разным уровням разрушения сообществ, обычно подобны друг другу в пространстве лимитирующих факторов [3]. В частности, подобны они и границе области сохранения устойчивости, так как это тоже изобола. Поэтому все комбинации значений факторов, при которых значение Y является постоянным, вызывают и равное изменение сообществ. Следовательно, показатель воздействия Y является изоболическим, т.е. адекватно отражает биотический эффект любых многофакторных воздействий. Это позволяет количественно изучать и нормировать сложные воздействия на экосистемы водотоков. Кроме того, важно, что ожидаемая реакция биоты на изменение значений лимитирующих факторов теперь становится предсказуемой. Поэтому метод помогает также выбирать оптимальную стратегию природоохранных мероприятий, планировать ожидаемую реакцию биоты и оценивать предотвращенный ущерб. Доработка и апробация метода проведены для р.Луги в зоне воздействия ОАО «Фосфорит» в 2001 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Власов В.В.* Реакция организма на внешние воздействия: общие закономерности развития и методические проблемы исследования / Иркутский университет. Иркутск, 1994.

2. Сравнительная оценка аддитивной, мультипликативной и изоболической моделей многофакторных воздействий на биосистемы / В.Ф.Шуйский, Ю.В.Шувалов, М.А.Перевозников, М.А.Пашкевич, Т.П.Занцинская, Д.С.Петров, Е.Е.Морозова, А.В.Савченко, Н.А.Максимовская, С.А.Маковский, Т.А.Петрова, М.Л.Матюшонок // Сб. науч. трудов ГосНИОРХ. 2000. Вып. 326.

3. *Шуйский В.Ф.* Оценка влияния ОАО «Фосфорит» на экосистему р.Луги / В.Ф.Шуйский, Д.С.Петров, Т.А.Петрова, Т.В.Максимова // Записки Горного института. СПб, 2001. Т.147.