© В.Ф. Шуйский, 2006

УДК 658.310.8:622.333

В.Ф. Шуйский

РЕАКЦИЯ ЭКОСИСТЕМЫ р. СЯСИ И ЕЕ ПРИТОКОВ НА ВОЗДЕЙСТВИЕ ОАО "БОКСИТОГОРСКИЙ ГЛИНОЗЕМ"

Семинар № 7

Изоболический метод количественной оценки многофакторных воздействий на водные экосистемы [1–3] может иметь довольно широкое и многоплановое применение. В частности, он может использоваться при решении следующих гидроэкологических и природоохранных задач:

– оценка разнообразных многофакторных воздействий на водные объекты [1, 3];

– анализ экологического риска, обусловленного таким воздействием, и прогноз соответствующей величины наносимого экосистеме ущерба [2, 3];

– выбор наиболее действенных и целесообразных мер по уменьшению антропогенной нагрузки на водные объекты до результирующего уровня, соответствующего приемлемой биотической реакции [3].

В настоящей публикации демонстрируются некоторые результаты использования метода для оценки многофакторного воздействия ОАО "Бокситогорский глинозем" на экосистему р. Сяси и ее притоков.

Экосистема р. Сяси в среднем течении испытывает значительное техногенное воздействие, обусловленное впадением сильно загрязненных рек Воложбы (стоки ОАО "Бокситогорский глинозем") и далее Тихвинки (стоки ОАО "Глинозем" в г. Пикалево и г. Тихвина). ОАО "Бокситогорский глинозем" является довольно крупным водопользователем. Водозабор осуществляется из р. Пярдомли, правого притока р. Воложбы и, соответственно, притока р. Сяси второго порядка. Река Пярдомля имеет длину 22 км, площадь водосборного бассейна – 188 км^2, характеризуется средним многолетним расходом воды около 1.8 м^3/сек и является водотоком первой категории рыбохозяйственной ценности. Расход воды, забираемой предприятием из р. Пярдомли на производственные нужды и хозяйственно-питьевые нужды (с учетом водоснабжения г. Бокситогорска) составляет около 22 млн м^3/год. Основными водопотребителями являются цеха: глиноземный, белого корунда, автотранспортный. Отведение сточных вод осуществляется через два выпуска – в р. Пярдомлю и в руч. Череховецкий, с расходами, приблизительно равными 10 млн м^3/год и 7 млн м^3/год, соответственно.

Выпуск производственных и ливневых сточных вод в р. Пярдомлю является сосредоточенным, береговым и представляет собой открытую канаву длиной 0.3 км. Несмотря на то, что перед сбросом сточные воды подвергаются механической очистке путем отстаивания, они существенно загрязнены взвешенными веществами; нефтепродуктами; ионами и соединениями алюминия, марганца и железа; ионами аммония; фенолами.

Воды от водопонижения Радынского карьера, отводимые через мелиоративную канаву в затопленный Подсосненский карьер, выпускаются далее в руч. Череховецкий (приток второго порядка р. Тихвинки, водоток второй категории рыбохозяйственной ценности). Эти сточные воды также значительно загрязнены, однако мониторинг их состояния не ведется, поскольку добыча боксита на карьерах прекращена.

Воздействие ОАО "Бокситогорский глинозем" на речную систему "р. Пярдомля (2 км) → участок р. Воложбы ниже устья р. Пярдомли (28.5 км) → участок р. Сяси ниже устья р. Воложбы (55.5 км)" изучалось в июле 2002 г.

Сбор и обработка проб макрозообентоса проводились по стандартным методикам [2, 3, 7]. На участках рек с мягкими грунтами пробы отбирались дночерпателем ТД-83-1016-40 (с площадью захвата 0.025 м^2), на участках с твердыми грунтами – количественной рамкой типа "Surber" (площадью 0.05 м^2, с сетью из газа №23). При первичной обработке проб некоторые экземпляры личинок комаров-звонцов (Chiro-nomidae: Diptera) и мошек (Simuliidae: Diptera) фиксировались в смеси этанол – ледяная уксусная кислота (3 : 1) [1] и затем подвергались кариологическому анализу с целью проверки видовых диагнозов, установленных по морфологическим признакам. Видовая принадлежность этих личинок двукрылых насекомых определена ведущими научными сотрудниками лаборатории систематики насекомых Зоологического института РАН д.б.н. Н.А. Петровой и д.б.н. Л.А. Чубаревой, доцентом Саратовского государственного университета к.б.н. Е.Е. Морозовой и ассистентом кафедры биологии Саратовского медицинского института к.б.н. Н.А. Дурновой, которым автор выражает искреннюю признательность.

Результаты обработки проб зообентоса, сведения о составе воды и иные характеристики условий среды заносились в электронные таблицы MS Excel и, затем, в единую базу данных под управлением СУБД MS Access. Предварительный расчет ожидаемого разбавления сточных вод предприятий для изучавшихся водотоков (с целью обеспечения относительно равномерного расположения створов наблюдения в градиенте антропогенного воздействия на речные экосистемы) осуществлялся методами Фролова-Родзиллера и Караушева с использованием программы "Pollution" (продукт НПО "Поток"). При статистической обработке и математическом анализе данных использовался пакет программ Statistica (5.0, 6.0). Самоорганизующиеся модели, описывающие зависимость характеристики фонового состояния макрозообентоса от естественных факторов среды, создавались методом группового учета аргументов с использованием оригинальной программы [6].

Ход ожидаемых изменений концентрации поллютантов, содержащихся в сточных водах ОАО "Бокситогорский гиинозем", на изучавшемся участке речной системы рассчитывался методом Караушева и Павловского. Здесь приводятся лишь два характерных примера – пространственная динамика концентрации алюминия и содержания в воде взвешенных веществ (рис. 1). Указаны также результаты эмпирического определения этих показателей.

Значения изоболического показателя (Y) результирующего воздействия техногенных факторов на биоиндикатор–макрозообентос определяются с учетом реального эффекта межфакторного взаимодействия и выражают кратность превышения данным конкретным воздействием своего предельно допустимого уровня (1) [4–6]. Для основных створов наблюдения значения изоболического показателя приведены в таблице.

$$\sum_{i=1}^{n}\left[\left(x_{ij}-x_{io}\right)\times\left(x_{it}-x_{io}\right)^{-1}\times\left(Y_{j}\right)^{-1}\right]^{Z_i}=1 \quad (1)$$

где x_{ij} – j-е значение i-го фактора, x_{io} и x_{it} – пороговое и предельно допустимое значение i-го фактора; Z_i – показатель взаимодействия i-го фактора с остальными (если оно сильнее аддитивного, $0<Z<1$; если слабее – $1<Z$; если аддитивно – $Z=1$).

Таким образом, уровень антропогенного воздействия на биоту изучавшихся рек варьирует очень широко.

Значения показателя результирующего (многофакторного) воздействия на биоту (Y) для основных створов наблюдения

№№ створа	Река	Створ наблюдения	*Y*
1	Сясь	0.1 км выше устья Воложбы	0.1
2	Сясь	40.4 км ниже устья Воложбы	1.4
3	Воложба	Выше устья Пярдомли	1.9
4	Сясь	0.2 км ниже устья Воложбы	2.5
5	Воложба	устье Воложбы	3.7
6	Воложба	23.4 км ниже устья Пярдомли	4.2
7	Пярдомля	фон Пярдомля	5.0
8	Воложба	2.9 км ниже устья Пярдомли	5.3
9	Воложба	0.1 км ниже Пярдомли	6.2
10	Пярдомля	Устье Пярдомли	10.4

В фоновых условиях р. Сяси указанные факторы практически не влияют на биоту. В устье р. Пярдомли, принимающей сточные воды ОАО "Бокситогорский глинозем", уровень воздействия превышает устойчивость на порядок величин.

Ход изменений значений изоболического показателя *Y*, определенных на основе расчетных и эмпирических факторных значений, представлен на рисунке 39. Закономерное уменьшение уровня воздействия по мере разбавления сточных вод может быть выражено обратной зависимостью значений изоболического показателя *Y* от накопленного расстояния от ОАО "Боксито-горский глинозем" (рис. 2).

Сравнение результатов использования двух различных методов кластерного анализа

Возможность объективной оценки уровня многофакторной нагрузки на биоту изоболическим показателем позволяет сопоставлять эффективность различных биоиндикационных методов. Так, на-

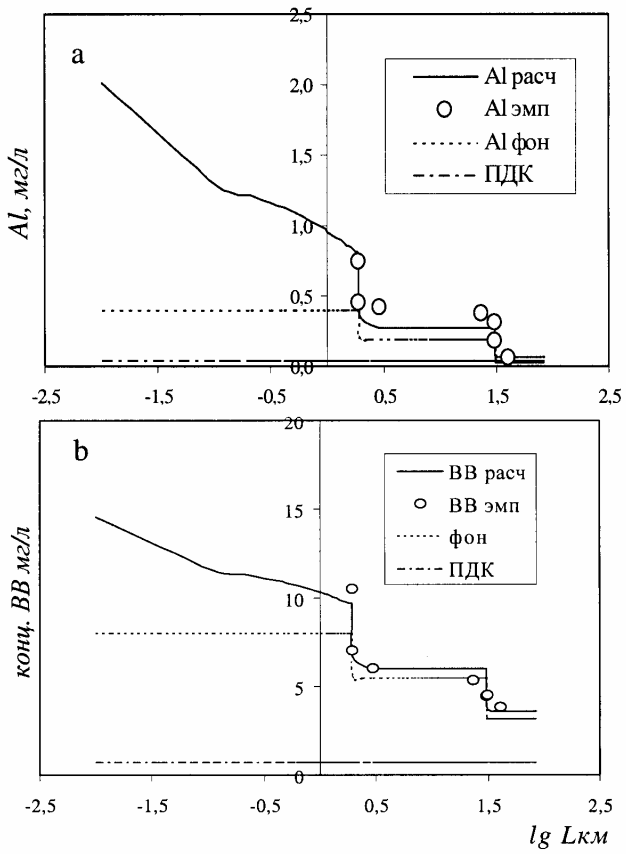


Рис. 1. Ход изменения концентрации алюминия (a) и содержания в воде взвешенных веществ (b) на изучавшемся участке системы рек Пярдомля → Воложба → Сясь

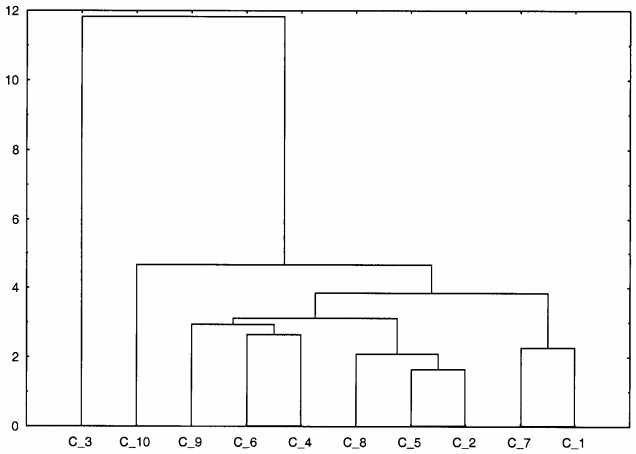
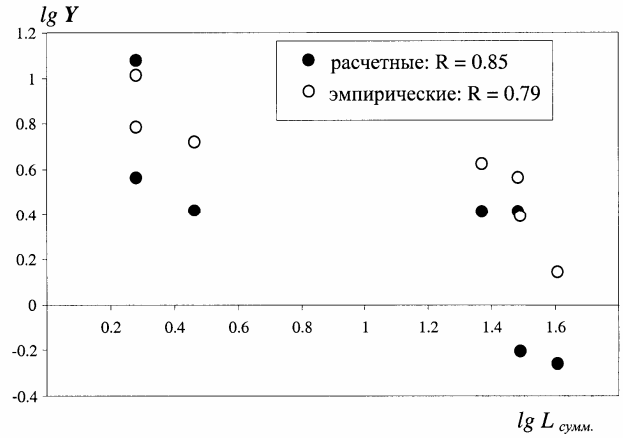


Рис. 2. Зависимость уровня многофакторного антропогенного воздействия (Y) от расстояния от ОАО "Бокситогоркий глинозем" (указано накопленное расстояние по изучавшемуся участку системы рек Пярдомля → Воложба → Сясь, $L_{сумм.}$, в километрах)

Рис. 3. Дендрограмма сходства 10 створов наблюдения по 7 абиотическим и 8 биотическим признакам.
На оси ординат – евклидовы расстояния в гиперпространстве. Нумерация створов – согласно таблице



пример, можно сравнить результативность применения разных методов кластерного анализа изменений макрозообентоса в градиенте воздействия.

На рис. 3 представлены результаты классического кластерного анализа сходства макрозообентоса на основных створах по значениям вышеуказанных лимитирующих факторов и по значениям 8 характеристик макрозообентоса, нормированным относительно фоновых:

– коэффициент сходства видового сходства сообществ с фоновым составом по Серенсену;

– доля стенобионтных видов в сообществе (по плотности и по биомассе);

– видовое богатство;

– индекс видового разнообразия сообщества Шеннона-Уивера (по плотности и по биомассе);

– биомасса сообщества;

– средняя масса особи в сообществе.

Анализ выполнен с учетом всех 15 абиотических и биотических признаков (рис. 3), только абиотических и только биотических признаков. В качестве меры сходства традиционно использованы евклидовы расстояния между сопоставляемыми створами в гиперпространстве учитываемых признаков.

Заметно, что порядок кластеризации створов на дендрограммах плохо соответствует реальному увеличению антропогенного воздействия на гидроэкосистему, характеризуемому показателем *Y*. Сходная картина получена и при выборочном использовании совокупности только абиотических или только биотических признаков. Более эффективным оказалось применение нумери

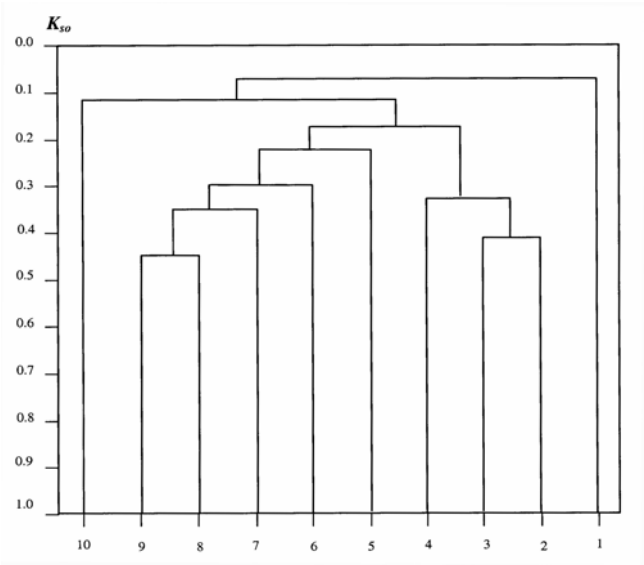


Рис. 4. Дендрограмма видового сходства сообществ макрозообентоса изучавшихся рек на основных створах наблюдения (по результатам нумерического кластерного анализа; на оси ординат – значения коэффициента видового сходства Серенсена)

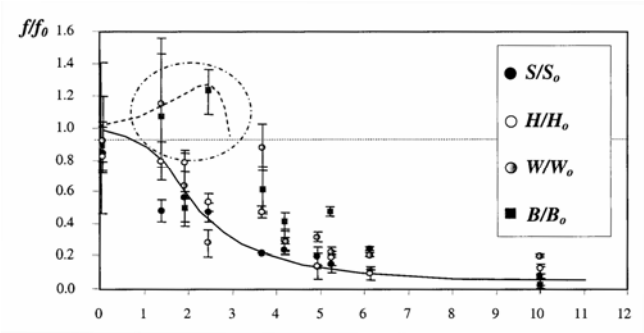


Рис. 5. Реакция макрозообентоса р. Сяси и ее притоков на воздействие ОАО "Бокситогорский глинозем". Характеристики (f/f_0): S/S_o - видовое богатство; H/H_o – видовое разнообразие; B/B_o – биомасса; W/W_o – средняя масса особи (значения характеристик нормированы относительно фоновых). Штрих-пунктиром выделен слабо выраженный эффект стимуляции биомассы и средней массы сообществ

ческого кластерного анализа видового сходства макрозообентоса (рис. 4).

Дендрограмма на рис. 4 отчетливо демонстрирует закономерно нарастающее сходство видового состава сообществ по мере увеличения уровня антропогенного воздействия. Соответственно, наименьшее сходство наблюдается между сообществами фоновых условий р. Сяси (отсутствие достоверного антропогенного воздействия) и р. Пярдомли в зоне прямого воздействия сточных вод ОАО "Бокситогорский глинозем". По-види-мому, такое соотношение эффективности сравниваемых методов кластеризации объясняется следующим. При сравнении сообществ по группе количественных признаков, выбор которых субъективен, каждому из них a priori присваивается равный индикационный статус, вне связи с его реальной важностью, что су-щественно влияет на результат анализа. Нумерическая классификация всегда использует один и тот же признак – видовой состав сообществ, который является наиболее существенным биоиндикационным признаком [4, 6].

Таким образом, использование изоболического показателя помогает наглядно убедиться, что при анализе техногенного воздействия на речные экосистемы нумерический кластерный анализ оказывается гораздо более эффективным, чем анализ по совокупности количественных признаков.

Реакция макрозообентоценозов на техногенное воздействие

Анализ реакции характеристик макрозообентоса на результирующее многофакторное техногенное воздействие, оцениваемое изоболическим показателем *Y*, позволяет выявить следующие закономерности.

В градиенте воздействия происходит закономерное, монотонное уменьшение значений характеристик макрозообентоса, отражающих его видовое богатство и разнообразие (сходство видового состава с его фоновым составом, доля стенобионтных видов в сообществе, видовое богатство и разнообразие макрозообентоса). Зависимость этих характеристик от уровня воздействия *Y* имеет более или менее четко выраженный, S-образный характер (рис. 5) и хорошо аппроксимируется логистическим уравнением (2).

$$f/f_o = 1 - \frac{1}{1 + a \times e^{bY}}, \quad (2)$$

где f/f_o – характеристика макрозообентоса, значение которой в изучаемых импактных условиях нормировано относительно синхронного ей фонового значения; $a = const = (1 - f / f_{0\min}) / (f / f_{0\min})$; $b = const$; $f/f_{o\ min}$ = *const* – нижний предел значений функции (при $Y \to \infty$).

Значения биомассы и средней массы особи в сообществе реагируют на воздействие, по-видимому, не монотонно: при увеличении значения *Y* примерно до 2 – несколько возрастают, при дальнейшем увеличении воздействия – убывают (рис. 5). Эффект немонотонности реакции этих показателей на возрастающее воздействие объясняется тем, что умеренное органическое загрязнение при слабой токсификации стимулирует увеличение биомассы и продукции бентоса заиленных грунтов за счет экспансии эврибионтных бентонтов. Однако эффект стимуляции биомассы и средней массы особи макрозообентоса выражен гораздо менее четко, чем при эвтрофировании водных объектов без техногенных воздействий [6].

Таким образом, изоболический метод изучения антропогенного воздействия на водотоки позволяет выявить и описать его основные закономерности, дает подход к целенаправленному, эффективному регулированию состояния гидроэкосистемы–реципиента многофакторной техногенной нагрузки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Кикнадзе И.И., Шилова А.И., Керкис И.Е. и др.* Кариотипы и морфология личинок трибы Chironomini. Атлас – Новосибирск: Наука, 1991. – 115 с.

2. *Комулайнен С.Ф., Круглова А.Н., Хренников В.В., Широков В.А.* Методические рекомендации по изучению гидробиологического режима малых рек – Петрозаводск, 1981. – 41 с.

3. *Методические* рекомендации по сбору и обработке материалов при гидробиологических исследованиях на пресноводных водоемах: Зообентос и его продукция – Л., 1983. – С. 29–46.

4. *Шуйский В.Ф., Петров Д.С., Матюшонок М.Л., Савченко А.В.* Оценка и подход к нормированию многофакторных техногенных воздействий на биосистемы // Горный информационно-аналитический бюллетень – 2000 – № 12 – С. 109 – 112.

5. *Шуйский В.Ф., Максимова Т.В.* Количественная оценка техногенного ущерба гидроэкосистемам на основе анализа экологического риска // Горный информационно-аналити-ческий бюллетень – 2003 – №1. – С.135-138.

6. *Шуйский В.Ф., Максимова Т.В., Петров Д.С.* Изоболический метод оценки и нормирования многофакторных антропогенных воздействий на пресноводные экосистемы по состоянию макрозообентоса – СПб.: Международная академия наук экологии, безопасности человека и природы (МАНЭБ), 2004 – 304 с.

7. *Slack K.V., Averett R.C. Gresson P.E., Lipsoned R.G.* Methods for collection and analysis of aquatic biological and microbiological samples // Technique of waterresources of geological Survey, Books, Chapter A–Y. – 1973. – 165 p.

Коротко об авторах

Шуйский В.Ф. – профессор, доктор биологических наук, кафедра БП и РГП, Санкт-Петербургский государственный горный институт.