

Shuisky V.F., Maximova T.V., Monastirshina A.N. Evaluation of multifactor impact on hydroecosystems and environmental risk caused by this (Plenary Session) // Modeling and Analysis of Safety and Risk in Complex Systems / Proceedings of the Seventh International Scientific School MASR – Saint-Petersburg, June 24-28, 2008. – SPb.: SUAI, 2008. – P. 202 –207.

ОЦЕНКА МНОГОФАКТОРНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ГИДРОЭКОСИСТЕМЫ И
ОБУСЛОВЛЕННОГО ИМ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО РИСКА

EVALUATION OF MULTIFACTOR IMPACT ON HYDROECOSYSTEMS AND
ENVIRONMENTAL RISK CAUSED BY THIS

Шуйский В.Ф., Максимова Т.В., Монастыршина А.Н.

Shuisky V.F., Maximova T.V., Monastirshina A.N.

Российский государственный педагогический университет им. А.И. Герцена,
Россия 191186 г. С.-Петербург, наб. р. Мойки, д.48, shuisky.v@mail.ru

Предлагается метод оценки многофакторного техногенного воздействия и прогноза наносимого им ущерба водным экосистемам, основанный на анализе экологического риска. Определяются пути возможного техногенного воздействия на водную экосистему и вероятные варианты техногенной сукцессии. Экологический ущерб рассчитывается как сумма математических ожиданий ущерба от реализации альтернативных сценариев экологически опасных событий.

Экологический риск; экологический ущерб; многофакторное антропогенное воздействие;
гидроэкосистема

Проблема корректного определения и прогноза экологического ущерба водным экосистемам от многофакторных антропогенных воздействий является одной из актуальнейших задач современной гидроэкологии. Очевидно, что развитие экологически опасных событий, например, при сооружении и эксплуатации производственных объектов в штатном режиме и при авариях, не может быть строго детерминировано и носит вероятностный характер. Соответственно, расчет антропогенного гидроэкологического ущерба должен базироваться на результатах анализа экологического риска. Однако имеющиеся методы прогноза техногенного экологического ущерба вообще исключают риск-анализ. Вместо этого соподчиняются конкретные значения переменных: (1) значения внешних факторов → (2) изменение значений характеристик среды → (3) определяемый этим экологический ущерб в натуральном выражении → (4) ущерб, оценка которого переведена из натурального выражения в стоимостное [1, 2 и др.]. Методы анализа технологического риска [3] также не могут быть просто применены для решения этой задачи вследствие очевидных существенных различий между процессами отказа технических устройств и воздействия предприятий на окружающую природную среду. Эксплуатация производственного объекта даже в штатном, безаварийном режиме наносит некоторый ущерб всем её компонентам. Таким образом, требуется разработка адекватного способа определения техногенного ущерба на основе анализа экологического риска.

Предлагаемый метод оценки экологического риска водным экосистемам от сложных антропогенных воздействий вкратце сводится к следующим процедурам.

1) **Иницирующие события (X1)**. Определяются исходные характеристики водной экосистемы, достоверно изменяемые изучаемым техногенным воздействием. Определяются факторы, составляющие оцениваемое многофакторное антропогенное воздействие на водную экосистему (иницирующее событие X1), и вероятные значения этих факторов. Мерой этого воздействия служит значение так называемого **изоболического** показателя Y , выражающего кратность превышения воздействием своего предельно допустимого для водной биоты уровня

[4, 5]. Значение изоболического показателя многофакторного антропогенного воздействия Y для некоторой j -й ситуации рассчитывается по формуле:

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

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 – $Z = 1$). Значения параметров уравнения определяются эмпирически в ходе мониторинговых исследований на изучаемом водоёме или, при невозможности их установления, принимаются равными значениям параметров этих же факторов на аналогичных водных объектах, испытывающих сходные воздействия [4, 5].

Исходя из данных о вариабельности значений факторов, составляющих изучаемое воздействие, строится гистограмма частот ожидаемых значений изоболического показателя Y для N (обычно $7 \div 15$) равных классов их значений. Определяются середины классов и соответствующие им частоты.

2) **Первичные изменения экосистемы (X2)**. Для середины каждого класса оцениваются соответствующие ей возможные значения характеристики второго экологически опасного события (X2) – изменения качества абиотической водной среды. Мерой X2 является приращение значения изоболического показателя Y по сравнению с его фоновым значением (Y_ϕ), обусловленным исходным уровнем антропогенного воздействия на данную экосистему ($\Delta Y = Y - Y_\phi$). Вариабельность фонового уровня антропогенного воздействия Y_ϕ определяет вероятностный характер приращения значения изоболического показателя. Поэтому середине каждого класса гистограммы значений Y (событие X1) соответствует множество вероятных значений показателя ΔY (событие X2), характеризуемое гистограммой с N равными классами. В свою очередь, середине каждого класса значений ΔY соответствует своя частота.

Поскольку каждому из N классов значений первого события сопоставлена гистограмма, также включающая N классов, общее количество полученных гистограмм значений второго события составляет N , а общее количество их классов – N^2 .

3) **Дальнейшая реакция экосистемы (X3–Xk)**. Для середины каждого из N классов каждой из N гистограмм, характеризующих возможные значения второго события (ΔY), оцениваются соответствующие ей возможные значения характеристики. Определяются пути возможного прямого и косвенного (сукцессионного) воздействия объекта на компоненты водной экосистемы при его строительстве и эксплуатации. При этом как можно полнее учитывается значительное многообразие возможных форм развития техногенного эвтрофирования при различном сочетании характеристик воздействия и гидроекосистемы [5]. Строится дерево возможных экологически опасных событий, связанных с сооружением и эксплуатацией объекта. Каждый сценарий учитывает вероятность (p) и полную величину ущерба реципиентам воздействия в натуральном выражении (U) (упрощённый пример – на рисунке 1).

Вероятность реализации каждого i -го независимого сценария экологически опасных событий из n потенциально возможных сценариев (p_i) определяется мультипликативно. Ожидаемый ущерб R в стоимостном выражении определяется как сумма математических ожиданий ущерба от реализации альтернативных сценариев экологически опасных событий, по уравнению:

$$R = \sum_{i=1}^n R_i = \sum_{i=1}^n (\xi_i \times U_i \times p_i) = \sum_{i=1}^n \left(\xi_i \times U_i \times \prod_{j=1}^k p_{ij} \right) \quad (2)$$

где: p_{ij} – вероятность реализации j -го события в i -м сценарии; n – количество проанализированных альтернативных сценариев вызываемых "цепочек" экологически опасных событий; R_i – вероятный экологический ущерб от реализации i -го сценария в стоимостном выражении; U_i – полная величина экологического ущерба в натуральном выражении; ξ_i –

коэффициент для перевода натурального выражения ущерба в стоимостное при конкретном составе и структуре конечных реципиентов воздействия.



Рис. 1. Условный упрощённый пример схемы риск-анализа: количество событий в сценариях $k=4$, количество классов в гистограммах значений $X_1 - X_4$ (количественно характеризующих степень проявления соответствующих событий №№ 1 – 4) $N=8$, последнее, четвёртое событие – формирование ущерба U .

Количество учитываемых значений первого события – $N^1=8$, второго события – $N^2=64$, третьего – $N^3 = 512$, четвертого – $N^4 = 4096$. Общее количество анализируемых сценариев $n = N^k = 4096$.

Так, для произвольно выделенного сценария № 21 ($X_{11} \rightarrow X_{21} \rightarrow X_{31} \rightarrow U_{21}$) вероятность его реализации составляет $p_{21} = p_{11} \times p_{21} \times p_{31} \times p_{421}$, математическое ожидание соответствующего ущерба величиной U_{21} составляет $R_{21} = p_{21} \times U_{21}$. Общая величина прогнозируемого ущерба для данного примера составляет: $R = \sum_{i=1}^{4096} R_i$

Картируется пространственное распределение экологического риска в стоимостном выражении. Выделяется зона ожидаемого достоверного воздействия объекта на окружающую среду. Зона объединяет акваторию, где уровень экологического риска от изучаемого (ожидаемого) воздействия достоверно больше фонового уровня. Например, при выборе лучшего из нескольких альтернативных проектных решений для каждого из них определяются общие величины ожидаемого эколого-экономического ущерба. Предпочтительным является решение, связанное с наименьшим экологическим риском и наименьшим соотношением совокупных экологических издержек и предотвращенного экологического ущерба.

Проанализированы разнообразные примеры формирования экологического риска: гидростроительство, функционирование предприятий горной и целлюлозно-бумажной промышленности, электростанций, сооружение и эксплуатация магистральных трубопроводов и другие ситуации техногенного воздействия на окружающую среду и др. [5]. В пределах данной публикации ограничимся двумя примерами.

1. Пример оценки и картирования многофакторного воздействия на гидрэкосистему. Изучена ситуация техногенного воздействия на экосистему р. Плюсса (Сланцевский район Ленинградской области).

Формирование техногенного воздействия на р. Плюсу и её притоки отражает динамика величины изоболитического показателя Y на рисунке 2.

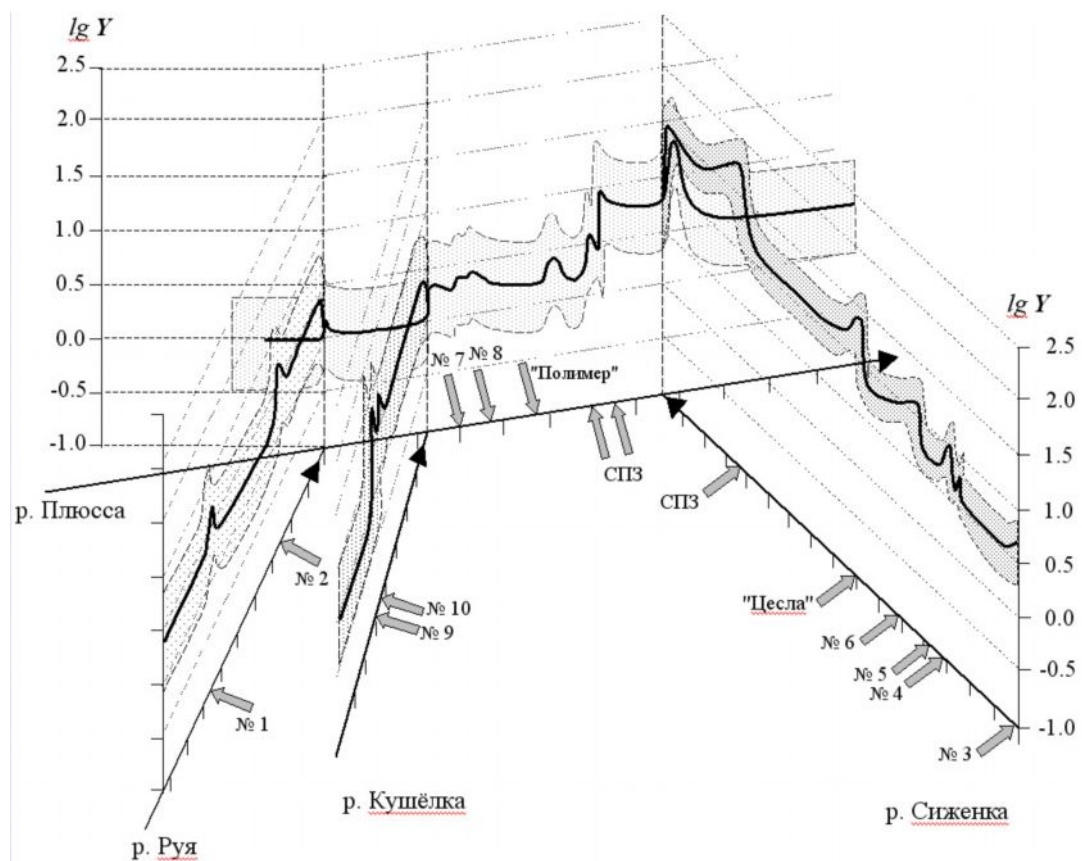


Рис. 2. Формирование многофакторного антропогенного воздействия на реку Плюсу и ее притоки.

По оси ординат – значения изоболитического показателя уровня многофакторного антропогенного воздействия на гидрэкосистему (Y). Отметки на осях абсцисс указывают расстояния (в километрах). Стрелками отмечены выпуски производственных, ливневых и хозяйственно-бытовых сточных вод.

Анализ техногенного экологического риска позволил определить экологический ущерб, разработать меры по его снижению и оценить ожидаемые последствия [5].

2. Пример оценки техногенного ущерба гидрэкосистеме и определения пути его минимизации. По результатам изучения многофакторного техногенного воздействия ООО "ПГ Фосфорит" на экосистему р. Луги с притоками [5] выявлены лимитирующие факторы, преимущественно определяющие уровень нагрузки на биоту (Y): загрязнение вод органическими веществами (оцениваемое по пятисуточному биологическому потреблению кислорода – БПК₅, мгО/л) и фосфат-анионами (рис. 3, 4).

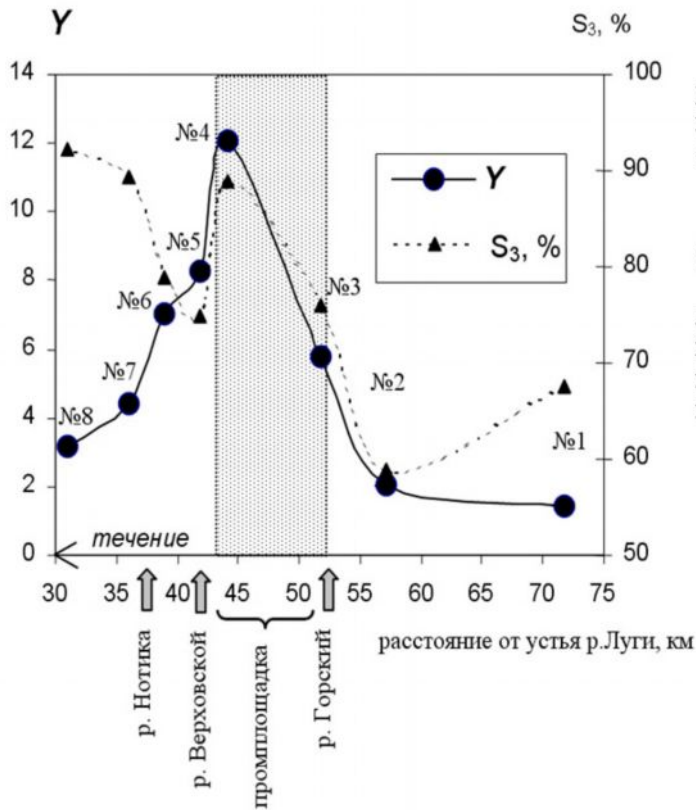


Рис. 3. Ход изменения уровня результирующего техногенного воздействия (Y) и совокупного вклада в его формирование трех императивных

$$S_3 = \sum_{i=1}^3 \left(\frac{x_i}{Y} \right)^{Z_i};$$

факторов – гипоксия, загрязнение реки легко минерализуемыми органическими веществами (по БПК) и фосфатами) на изучавшемся участке р. Луги (указаны номера створов наблюдения)

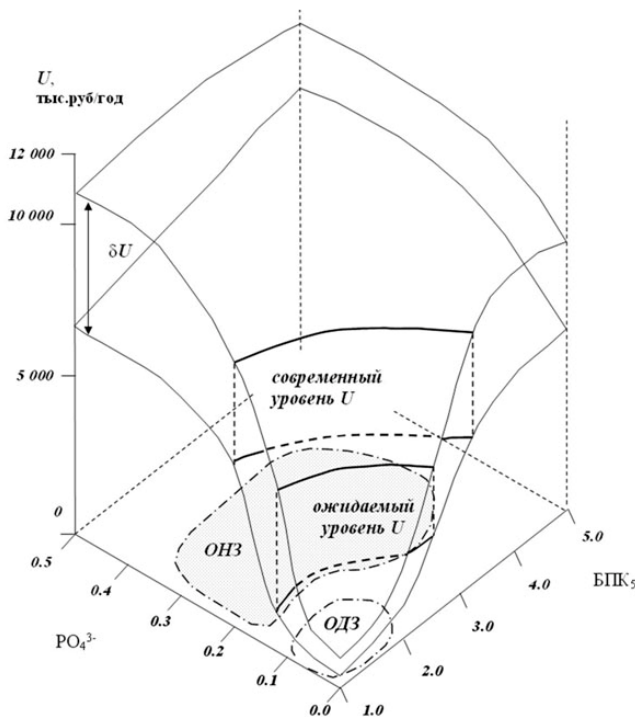


Рис. 4. Зависимость расчетных величин техногенного ущерба в импактной зоне (U ; диапазон – δU) от средних значений двух императивных факторов – загрязнения вод органическими веществами (БПК₅, мгО/л) и фосфатами (PO_4^{3-} , мг/л).

Выделены области сочетаний факторных значений, наблюдаемых в импактной зоне и допустимых ($Y \leq 1$) – ОНЗ и ОДЗ соответственно. Выделены уровни средних значений Y в импактной зоне: современный ($\bar{Y} \approx 6$), ожидаемый после реализации предлагаемых природоохранных мероприятий ($\bar{Y} \approx 2$), предельно допустимый ($Y=1$).

Результаты использования предложенного метода позволили формализовать зависимость математического ожидания техногенного ущерба, наносимого гидросистеме, от поступлений указанных загрязнителей, и определить условия его минимизации [5].

Таким образом, предложенный метод позволяет прогнозировать и оценивать многофакторные техногенные воздействия на гидросистемы и оценивать (прогнозировать) ожидаемый экологический ущерб на основе анализа экологического риска. При этом обеспечивается значительное увеличение адекватности оценки благодаря использованию многовариантной модели вероятных последовательных изменений состояния экосистемы.

Более подробно с предлагаемыми методическими разработками можно ознакомиться на сайте www.shuisky-vf.narod.ru и в монографии [5], приобрести которую можно у руководителя авторского коллектива проф. Шуйского Владимира Феликсовича (shuisky.v@mail.ru).

Литература

1. Методика определения предотвращенного экологического ущерба. Госкомэкология РФ. 30.11.1999.
2. Временная методика оценки ущерба рыбным запасам при строительстве, реконструкции и расширении предприятий... Госкомприроды, Минрыбхоз, Минфин СССР. 1989.
3. Методические указания по проведению анализа риска опасных производственных объектов. РД 03-418-01. 2001.
4. Шуйский В.Ф., Евдокимов И.И., Михнин А.Е., Белов М.М. Количественная оценка многофакторного воздействия на сообщества макрозообентоса // Сб. научных трудов ГосНИОРХ – 1995. – вып. 314.
5. Шуйский В.Ф., Максимова Т.В., Петров Д.С. Изоболный метод оценки и нормирования многофакторных антропогенных воздействий на пресноводные экосистемы по состоянию макрозообентоса – СПб.: МАНЭБ, 2004.