УДК 622.2:574.4/5.

Т.В.МАКСИМОВА
Горный факультет, аспирантка кафедры экологии, аэрологии и охраны труда
В.Ф.ШУЙСКИЙ
Горный факультет, профессор кафедры экологии, аэрологии и охраны труда

ТЕХНОГЕННОЕ ЭВТРОФИРОВАНИЕ ГИДРОЭКОСИСТЕМ: КОЛИЧЕСТВЕННАЯ БИОИНДИКАЦИЯ, РИСК-АНАЛИЗ И ПРОГНОЗ ПОСЛЕДСТВИЙ

Изучены закономерности техногенного эвтрофирования рек при воздействии объектов горной промышленности. Проанализированы основные специфические особенности сукцессии при техногенном эвтрофировании. Разработаны методы количественной биоиндикации и риск-анализа этих сукцессий для речных экосистем. При этом учитывается множество альтернативных вариантов возможного развития экологически опасных событий. В итоге оценивается наиболее вероятный экологический ущерб и дается его стоимостной эквивалент. Это открывает возможности прогноза и управления ситуацией на количественной основе. Разработки позволяют прогнозировать уровень техногенного воздействия на экосистему, определять и регулировать наиболее вероятный техногенный экологический ущерб.

The regularities of technogenic eutrophication of rivers under the influence of the mining industry are studied. Basic specific features of succession in technogenic eutrophication are analysed. Quantitative bio-indication and risk-analysis methods for river ecosystems are developed. At the same time numerous alternative variants of possible development of ecologically dangerous events are taken into consideration. The most probable ecological damage and its cost equivalent are estimated as the result. This gives broad opportunities for forecast and management of the situation on the basis of quantitative approach. The results allow to predict the level of technogenic impact on ecosystems, to determine and regulate the most probable technogenic ecological damage.

Настоящая статья кратко обобщает некоторые оригинальные результаты пятилетнего (1999-2003) изучения техногенного эвтрофирования рек Ленинградской области, испытывающих воздействие объектов горной промышленности (ОАО «Ленинградсланец», ООО «ПГ «Фосфорит», ООО «Бокситогорский глинозем», ООО «Пикалевский глинозем»). Для сравнения использованы данные и по другим рекам Ленобласти, которые также были изучены нами в этот период и ранее и испытывали иные формы антропогенного эвтрофирования.

Техногенная сукцессия речных экосистем от воздействия предприятий горной промышленности имела весьма сложный характер. Термин «эвтрофирование» обозначает как избыточное поступление с водосборной территории в воду биогенных соединений (прежде всего – фосфора и азота), так и все вызываемые этим изменения экосистемы. Эвтрофирование, не сопровождаемое токсификацией, стимулирует развитие водорослей и сине-зеленых. Если биогенные вещества поступают в минеральной форме и малыми дозами, в фитопланктоне обычно преобладают мелкие водоросли, активно потребляемые консументами, что частично компенсирует перепроизводство органических веществ. Острее протекает эвтрофирование при поступлении биогенных веществ в органической форме, особенно при залповых сбросах. Органическое вещество не может быть использовано водорослями, его потребляют бактерии и цианеи, плохо усваиваемые консументами. Тогда седиментация,

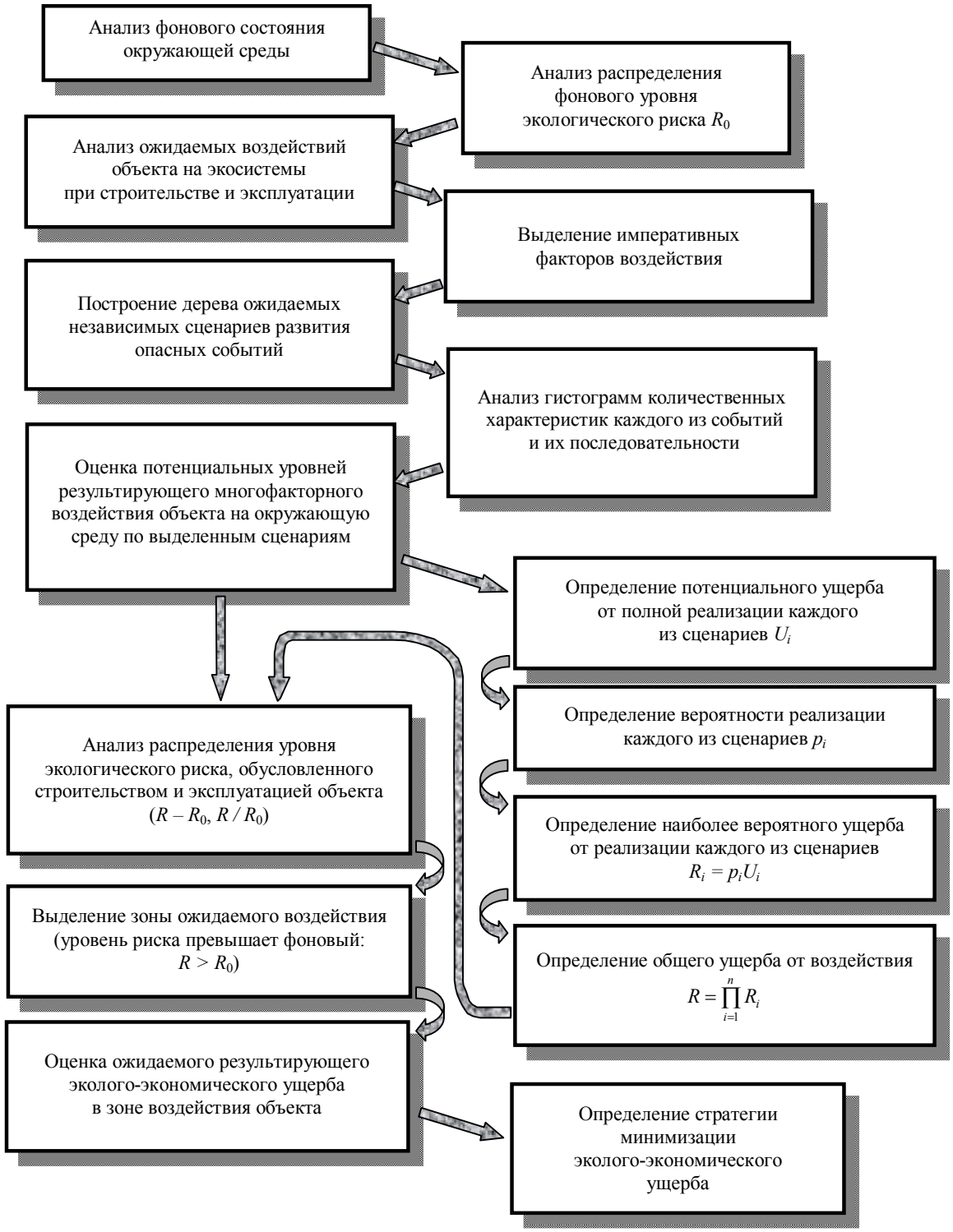


Рис.1. Блок-схема этапов анализа экологического риска и оценки эколого-экономического ущерба от строительства и эксплуатации промышленного объекта

заиление водоема или водотока, гниение органических отходов и развитие гипоксии происходят гораздо быстрее и интенсивнее, чем в первом случае. Однако наиболее сложный характер и тяжкие последствия имеет именно техногенное эвтрофирование. Оно отличается большим разнообразием возможных сценариев развития экологически опасных событий. Загрязнение водоема или водотока минеральными солями био-

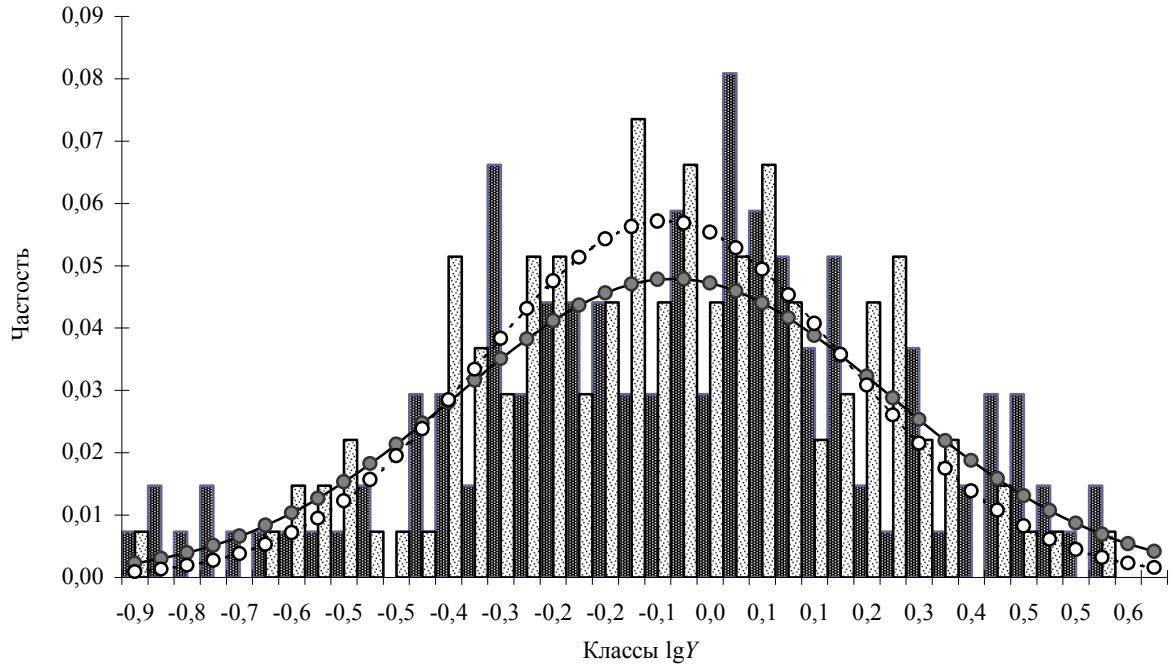


Рис.2. Пример гистограмм значений изоболического показателя техногенного воздействия (***Y***), ожидаемых при развитии техногенного эвтрофирования реки. Указаны расчетные (темные) и эмпирические (светлые) частости классов, их тренды. Тип распределения – логнормальный

генных элементов и органическими веществами сопровождается интоксикацией сложной смесью взаимодействующих промышленных ядов. Такое воздействие не может быть обезврежено нормальными механизмами самоочищения водной экосистемы – стимуляцией консументов и редуцентов. Многие промышленные поллютанты подавляют их жизнедеятельность, в частности, ингибируют ферменты, обеспечивающие окисление органического вещества и дыхательные процессы.

В зависимости от состава сбросов возможно и много вторичных эффектов. Например, техногенное подкисление воды освобождает из комплексов с гуминовыми веществами все ранее накопленные и обезвреженные металлы, что создает их дополнительный, эндогенный «сброс». Некоторые флотореагенты нарушают работу клеточных насосов и калиево-натриевый обмен, разрушают наружные покровы гидробионтов и др. Клиническая картина отравлений промышленными ядами и особенно их смесями на фоне гипоксии и изменений активной реакции очень разнообразна, как, впрочем, и итоговая величина наносимого биоте ущерба. Этого никак не предусматривается устаревшей нормативно-методической базой оценки антропогенного воздействия на водный объект, исходно разработанной под простой стандартный сценарий эвтрофирования от сравнительно безобидных сельскохозяйственных стоков. Ситуация дополнительно осложняется большой вариабельностью критических условий, провоцирующих антропогенные сукцессии различных гидроэкосистем, в частности, и их техногенное эвтрофирование [2, 3].

Оценка, нормирование и выбор мер по регуляции таких сложных воздействий и обусловленных ими разнообразных изменений экосистем требуют более «пластичных» и адекватных методов. Для оценки техногенных многофакторных воздействий нами разработан новый количественный метод биоиндикации. Он основан на универсальных закономерностях реакции лучшего биоиндикатора – макрозообентоса на многофакторные воздействия. Результирующий уровень последних определяется оригинальным изоболическим показателем *Y*,

точно выражающим кратность превышения воздействием его предельно допустимого уровня благодаря учету эффекта межфакторного взаимовлияния [1].

Для прогноза развития различных сценариев техногенного эвтрофирования и его негативных последствий наиболее органичным и эффективным представляется предлагаемый метод анализа деревьев экологически опасных событий с последующим вычислением экологического риска и наиболее вероятного экологического ущерба в стоимостном выражении (рис.1). Данный метод учитывает, что, в отличие от технического риска, сценарии экологически опасных событии имеют не дискретный, а вероятностный характер количественных параметров. Это обеспечивает адекватность метода реальным сукцессионным процессам техногенного эвтрофирования. Алгоритм реализован в компьютерную программу, позволяющую оценивать и прогнозировать: формирование многофакторной нагрузки на экосистему; динамику конкретных гидрологических, гидрохимических и гидробиологических параметров эвтрофируемой экосистемы; ожидаемый уровень результирующего техногенного воздействия *Y* (пример на рис.2) и, в итоге, наиболее вероятный техногенный экологический ущерб.

Таким образом, разработанный метод риск-анализа позволяет адекватно оценивать и достаточно точно предусматривать наиболее вероятные долговременные последствия техногенного эвтрофирования водных объектов, определять ожидаемый экологический ущерб и выбирать наиболее целесообразные меры по его предотвращению и компенсации.

Настоящее исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ (грант Е02-12.5-319 по фундаментальным исследованиям в области естественных наук, Конкурсный центр фундаментального естествознания).

ЛИТЕРАТУРА

1.Количественная оценка, нормирование и регуляция многофакторных антропогенных воздействий на пресноводные экосистемы. Закономерности лимитирования пресноводного макрозообентоса экологическими факторами / В.Ф.Шуйский, Д.С.Петров, Т.В.Максимова, О.С.Иванова // Записки Горного института. 2003. Т.154. С.115-118.

2. *Фрумин Г.Т.* Экологическая химия и экологическая токсикология. СПб: Изд-во РГГУ, 2000. 198 с.

3.Экологически допустимые уровни абиотических факторов. Исследование водных экосистем Восточной Европы / В.Н.Максимов, В.А.Абакумов, Н.Г.Булгаков, А.П.Левич, А.Т.Терехин // Вестник МГУ. Серия 16. Биология. 2001. № 4. С.36-41.