

## Читайте и узнаете:

- что входит в перечень общепотребимых в эколого-токсикологическом нормировании показателей водной среды;
- нормативы каких физико-химических показателей качества сточных вод превышаются наиболее часто;
- какие последствия влечет разная интерпретация показателя индекса токсичности

## Ключевые слова:

индекс токсичности, безвредная кратность разбавления (разведения), корреляция, сточные воды, физико-химические нормативы

# Сопоставление индексов токсичности проб воды с превышениями нормативов по физико-химическим показателям

**В.Е. Ларин**

начальник отдела биологических методов анализа ЗАО «РОСА», канд. биол. наук

**С.А. Полянская**

гидробиолог II кат. ЗАО «РОСА»

**В.В. Речкалов**

гидробиолог II кат. ЗАО «РОСА», канд. биол. наук

**Н.Е. Гусельникова**

ведущий гидробиолог ЗАО «РОСА»

**Е.О. Сычева**

гидробиолог II кат. ЗАО «РОСА»

**Е.Н. Исаченко**

гидробиолог II кат. ЗАО «РОСА»

**Б**езопасность сточных вод должна быть обеспечена в отношении, как минимум, двух объектов: технологических систем очистки сточных вод, принимающих абонентские сточные воды, и природных поверхностных водоемов, принимающих очищенные сточные воды. Очевидно, что нормативы, обеспечивающие безопасность этих объектов, должны быть разными, поскольку существенно различа-

Обсуждаются токсикологические показатели качества сточных вод. Показано отсутствие значимых корреляций между значениями индекса токсичности в пробах сточных вод Москвы и физико-химическими показателями с часто нарушаемыми нормативами. Представлены интерпретации показателя «индекс токсичности»

ются экосистемы очистных сооружений (активного ила) и водоемов — рек, озер и т.д. На практике таких отличий, как правило, нет, и в отношении безопасности сточных вод для систем очистки канализационных вод действуют те же нормативы, которые установлены для водоемов рыбохозяйственного назначения, как будто промышленный лов рыбы «с розничной реализацией потребителю» ведется непосредственно в «водоочистных» канализационных системах. Хотя все это, вроде бы, не имеет отношения к теме статьи, поскольку в ней мы не требуем разработки специальных нормативов содержания загрязняющих веществ для принимающих систем водочистки, а обсуждаем методоло-

гию контроля безопасности сточных вод для систем их очистки.

Из-за неосуществимости контроля всех установленных санитарно-токсикологических и рыбохозяйственных нормативов содержания элементов и веществ в сточных водах (высоких стоимостных и трудовых затрат) экологическая наука предложила определять и нормировать интегральную характеристику отрицательного, вредного воздействия сточных вод на принимающие экосистемы — токсичность. Здесь позволительна аналогия с нормированием санитарно-микробиологических показателей — из-за невозможности на практике определить содержание в воде всех возможных возбудителей инфекционных заболева-

**Базовые методики установления токсикологических нормативов и определения токсикологических показателей основаны исключительно на методах биотестирования, хотя в протоколах исследований некоторых лабораторий в разделе «токсикологические показатели» можно встретить списки групп различных элементов и соединений, например тяжелых металлов или пестицидов**

ний, передающихся водным путем, эпидемиологическая безопасность питьевой воды нормируется косвенными показателями, характеризующими вероятность и риск присутствия в воде патогенов фекального происхождения.

Токсичность в целом также является характеристикой качества воды, не относящейся непосредственно к какому-либо химическому элементу или соединению, но характеризующей общее вредное воздействие исследуемого образца на какую-либо биологическую тест-функцию. *«Токсичность — степень проявления ядовитого действия разнообразных химических соединений и их смесей. Токсичность — один из важных факторов, определяющих качество воды, достаточно информативный, существенно дополняющий наше представление о степени опасности или безопасности воды при ее использовании...»<sup>1</sup>.*

#### **Токсикологические показатели качества вод**

Принципы измерения токсикологических показателей каче-

ства (безопасности) различных типов вод и традиционных физико-химических и микробиологических показателей принципиально различны. Если предметом измерения двух последних является концентрация элемента или соединения, группы соединений, численность одного вида или группы микроорганизмов в нормируемом объеме исследуемого объекта анализа, то при токсикологическом анализе измерение — это оценка изменения какой-либо функции тест-организма под воздействием исследуемого объекта анализа по сравнению с контрольным значением, а показателями являются реакции тест-объектов, изменяющиеся под суммарным (или, как популярно говорится — интегральным) воздействием физико-химических показателей пробы воды, оцененные в сравнении с контрольным значением этой же реакции.

Следует подчеркнуть, что базовые методики установления токсикологических нормативов и определения токсикологических показателей основаны исключительно на методах биотестирования, хотя в протоколах исследований некоторых лабораторий в разделе «токсикологические показатели» можно встретить списки групп различных элементов и соединений, напри-

мер тяжелых металлов или пестицидов, что, несомненно, является ошибочной практикой.

Токсикологические показатели, методы их определения и нормативы в зависимости от цели нормирования подразделяются на две основные группы.

1. Для защиты здоровья человека, снижения риска вредного воздействия различных соединений разработаны комплексы санитарно-токсикологических показателей, их нормативы и соответствующие методы определения. В качестве тест-объектов для установления санитарно-токсикологических нормативов используются, как правило, млекопитающие и/или их физиолого-биохимические реакции с дальнейшей экстраполяцией результатов биотестирования на человека.

2. Другая группа токсикологических нормативов предназначена для защиты окружающей среды, экосистем от вредного воздействия загрязнений антропогенного происхождения. Соответственно, такие нормативы классифицируются как экологические, а применительно к водной среде чаще всего как рыбохозяйственные. В качестве тест-организмов для установления рыбохозяйственных токсикологических нормативов методическими документами требуется

<sup>1</sup> Методические рекомендации МР 01.021-07 «Методика экспрессного определения интегральной химической токсичности питьевых, поверхностных, грунтовых, сточных и очищенных сточных вод с помощью бактериального теста «Эколюм» утверждены главным врачом ФГУЗ «Федерального центра гигиены и эпидемиологии» Роспотребнадзора 15.06.2007 г.

# Испытания, измерения, анализ

использование гидробионтов разной таксономической принадлежности, представляющих несколько трофических уровней<sup>2</sup> водной экосистемы, например одноклеточные хлорококковые водоросли, ракообразные и рыбы-продуценты, консументы первого и второго уровней.

## Интерпретации показателя «индекс токсичности»

Проблема состоит в нечеткой и ненаучной интерпретации токсикологического показателя «индекс токсичности» и его нормативного значения. Причины же проблемы кроются, по нашему мнению, в междисциплинарности понятия «токсичность» и недостаточной научной широте кругозора специалистов, привлекаемых к созданию нормативных документов.

Перечень общепризнанных, общеупотребимых в экологическом токсикологическом нормировании показателей водной среды при всем их разнообразии мож-

но свести к ограниченному спектру:

- полулетальная концентрация ( $LC_{50}$ ) — концентрация химических элементов/соединений, вызывающая гибель 50 % экспериментальной выборки тест-организмов за заданное методикой время испытаний. Применяется при установлении токсикологических нормативов чистых соединений или их смесей под коммерческими наименованиями;

- полулетальная кратность разбавления (разведения) сточных вод ( $KP_{50}$ ) — кратность разбавления (разведения) исследуемой пробы сточной воды, вызывающая гибель 50 % экспериментальной выборки тест-организмов за заданное методикой время. Применяется при оценке токсичности сточных вод с неизвестным и неустановимым за оправданную стоимость химическим составом;

- предельно-допустимая концентрация (ПДК) — максимальная определяемая аналитическими методами количественного химического анализа concentra-

ция химического элемента/соединения или смеси веществ под коммерческим наименованием, не вызывающая статистически достоверных отклонений значений набора токсикологических показателей в эксперименте от контрольных значений за заданное методикой время испытаний (как правило, включая хронические эксперименты, охватывающие ряд поколений тест-объекта). Применяется при установлении токсикологических нормативов чистых соединений или их смесей под коммерческими наименованиями;

- ориентировочно безвредный уровень воздействия (ОБУВ) — расчетное значение концентрации химических элементов/соединений, не вызывающее статистически достоверных отклонений от контрольных значений, определяемых методами биотестирования показателей за заданное методикой время испытаний с учетом коэффициентов токсикологической «надежности» определенных экспериментально значений. Применяется при установлении токсикологи-

<sup>2</sup> Трофический уровень — совокупность организмов, занимающих определенное положение в общей цепи питания.

## Информация

**Биотестирование (*bioassay*)** — процедура установления токсичности среды с помощью тест-объектов, сигнализирующих об опасности независимо от того, какие вещества и в каком сочетании вызывают изменения жизненно важных функций у тест-объектов.

**Тест-объект (*test organism*)** — организм, используемый при оценке токсичности среды (химических веществ, природных и сточных вод, почв, донных отложений, кормов и др.)

**Тест-функция (*test function*)** — жизненная функция или критерий токсичности (*toxicity criterion*), используемые для характеристики от-

клика тест-объекта на повреждающее действие среды.

### Виды биотестов

**Острые биотесты (*acute tests*)** по показателям выживаемости, длятся от нескольких минут до 24–96 ч.

**Краткосрочные (*short-term chronic tests*)** хронические тесты, длятся 7 суток и заканчиваются, как правило, получением первого поколения тест-объектов.

**Хронические тесты (*chronic tests*)** на общую плодовитость ракообразных, охватывают 3 поколения.

## Сопоставление индексов токсичности проб воды с превышениями нормативов по физико-химическим показателям

ческих нормативов чистых соединений или их смесей под коммерческими наименованиями по сокращенной схеме в отношении определения ПДК (своего рода «дешевое» определение ПДК);

- безвредная кратность разбавления (разведения) сточных вод (БКР) — кратность разбавления (разведения) исследуемой пробы сточной воды, не вызывающая статистически достоверного отклонения значений определяемого методикой биотестирования порогового уровня показателя по отношению к контролю за заданное методикой время испытаний. Применяется при оценке токсичности сточных вод с неизвестным и неустановленным за оправданную стоимость химическим составом;

- индекс токсичности ( $T$ ) — отношение разности контрольного значения показателя биотестирования и тестируемого значения показателя биотестирования к контрольному значению показателя биотестирования, выражается в процентах или в долях от единицы (безразмерная — у.е. или ед.). Например,

$$T = 100 (I_0 - I) / I_0,$$

где  $I_0$  и  $I$  — интенсивность свечения опытного и контрольного образцов соответственно при фиксированном времени экспозиции исследуемого раствора с тест-объектом (МР 01.021-07), или

$$T = \frac{|I_{\text{ср.к}} - I_{\text{ср.а}}|}{I_{\text{ср.к}}} K,$$

где  $I_{\text{ср.к}}$ ,  $I_{\text{ср.а}}$  — средние показания прибора для контрольных и анализируемых проб соответствен-

но,  $K$  — коэффициент разбавления пробы<sup>3</sup>.

На сегодняшний момент только единичные национальные методики биотестирования имеют в качестве конечного результата индекс токсичности, а не БКР, что приводит к ложному уравни-

*вредной водой при биотестировании, при которой токсичность не проявляется».*

Мы видим, что абсолютно разные токсикологические термины подменяются один другим. Индекс токсичности, согласно приведенным выше опреде-

---

**Токсичность — один из важных факторов, определяющих качество воды, достаточно информативный, существенно дополняющий наше представление о степени опасности или безопасности воды при ее использовании**

---

лению этих показателей и обусловлено коммерческими интересами авторов методик биотестирования, которые при формальной трактовке норматива «индекса токсичности» остались без применения.

Необходимо также отметить, что в действующих нормативных и планируемых к утверждению федеральных нормирующих документах определение показателя «индекс токсичности» может трактоваться ошибочно, что влечет невозможность соблюдения установленных нормативов. Так, например, в Проекте общего технического Регламента «О водоотведении»<sup>4</sup> дается такое определение индекса токсичности: «кратность разбавления сточной воды без-

лениям и формулам, невозможно пересчитать в безвредную кратность разбавления. И наоборот. Это не связанные ни математически, ни методически, ни функционально токсикологические показатели, наполненные разным смыслом.

Таким образом, действующее российское законодательство в отношении нормирования сбросов сточных вод содержит противоречивые интерпретации токсикологического норматива, что может повлечь конфликты, в том числе и в судебной инстанции, связанные с применением методик определения индекса токсичности.

**Корреляция индекса токсичности сточных вод и концентраций нормируемых в сточных водах веществ и элементов с часто нарушаемыми нормативами**

Исследования по выявлению корреляции между значениями индекса токсичности сточных вод

<sup>3</sup> ПНД Ф Т 14.1:2:3:4.2-98 «Методика определения токсичности проб природных, питьевых, хозяйственно-питьевых, хозяйственно-бытовых сточных, очищенных сточных, сточных, талых, технологических вод экспресс-методом с применением прибора серии «Биотестер»», ред. 01.01.2015 г.

<sup>4</sup> Проект № 284072-4 «Общий технический регламент «О водоотведении»» <http://docs.cntd.ru/document/902015704/>.



# Испытания, измерения, анализ

## Сравнение результатов параллельного определения индекса токсичности двумя методами биотестирования

[таблица]

Индекс токсичности	Количество проб	
	ПНД Ф Т 14.1:2:3:4.11-04	ПНД Ф Т 14.1:2:3:4.2-98
Допустимая, $T < 20$	48	12
Умеренная, $20 \leq T \leq 50$	1	6
Высокая, $T > 50$	6	37
ИТОГО:	55	55

и концентраций нормируемых в сточных водах веществ и элементов с часто нарушаемыми нормативами были вызваны большой затратой времени на установление ПДК (проведение хронических тестов) в водных объектах и рутинной исследований по определению индекса токсичности (проведением острых, краткосрочных тестов).

Результаты расчета и статистические обобщения по 1202 пробам сточных вод показали ожидаемо низкие значения коэффициентов корреляции<sup>5</sup> между индексом токсичности сточных вод и концентрацией нормируемых в сточных водах веществ и элементов (в порядке убывания):

- СПАВ<sup>6</sup> анионные — 0,33;
- СПАВ неионогенные — 0,14;
- частота превышения ПДК по физико-химическим показателям в пробе — 0,12;
- сульфаты — 0,12;
- фосфор общий (в расчете на  $PO_4$ ) — 0,12;
- хлор и хлорамины (хлор общий) — 0,11;
- фенолы (сумма) — 0,11;
- БПК 5 — 0,10.

Коэффициенты корреляции с прочими (всего 32) суммарно определяемыми нормируемыми показателями из стандартного

списка оказались менее одной десятой. Низкие значения коэффициента корреляции индекса токсичности с ПДК тех или иных физико-химических нормативов были ожидаемы, поскольку ПДК — это показатель токсичности, устанавливаемый с применением хронических биотестов (см. Информацию), с «запасом» токсикологической надежности. Но поскольку полученные значения противоречат базовой гипотезе о полном отсутствии какой-либо корреляции, их следует рассматривать как значимые.

Показатели, нормативы которых превышаются наиболее часто:

- частота превышения ПДК какого-либо показателя в пробе — 89,1 %;
- индекс токсичности — 70,3 %;
- соотношение ХПК : БПК5 — 51,6 %;
- ХПК — 38,9 %;
- взвешенные вещества — 26,8 %;
- БПК5 — 24,7 %.

Частоты превышения ПДК прочих химических показателей в выборке из 1202 проб составили менее 20 %.

Хотя вопрос сопоставимости результатов определения индекса токсичности сравнимыми легитимными методами не рассматривался, наши работы показали существенные расхождения между метрологически аттестованными методами биотестиро-

вания, официально допущенными «для целей государственного экологического контроля» (см. таблицу). В таблице представлены результаты параллельного определения индекса токсичности двумя методами биотестирования:

- ПНД Ф Т 14.1:2:3:4.2-98, тест-объект — инфузории, тест-функция — двигательная активность;
- ПНД Ф Т 14.1:2:3:4.11-04<sup>7</sup>, тест-объект — бактерии, тест-функция — люминесценция.

### Заключение

Особо актуальной остается проблема соотношения результатов определения индекса токсичности, полученных равно легитимными, но различными по тест-функции/тест-объекту методами. Эти результаты, полученные аккредитованными лабораториями, могут оспариваться в юридическом поле.

Несмотря на отсутствие сколько-нибудь высокой корреляции между индексом токсичности и физико-химическими показателями с часто нарушаемыми нормативами, максимальные коэффициенты Пирсона выявлены для анионных и неионогенных СПАВ и частоты превышения ПДК по пробе. Это подтверждает значимость суммарного показателя «индекс токсичности» для оценки воздействия сточных вод на принимающие системы.



<sup>7</sup> ПНД Ф Т 14.1:2:3:4.11-04 «Токсикологические методы контроля. Методика определения интегральной токсичности поверхностных, в том числе морских, грунтовых, питьевых, сточных вод, водных экстрактов почв, отходов, осадков сточных вод по изменению интенсивности бактериальной биолюминесценции тест-системой «ЭКОЛЮМ».

<sup>5</sup> Коэффициент корреляции Пирсона характеризует наличие между признаками линейной связи.

<sup>6</sup> СПАВ — синтетические поверхностно-активные вещества.