

БИОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА ВОДЫ

А.М. Грек, И.А. Белых, Т.А. Жадан,
О.А. Шевцова, А.В. Сақун, В.В. Марущенко
(Харківський інститут танкових військ Національного технічного університету “ХПІ”)

Проведен анализ существующих методик определения степени загрязнения водных источников. Особое внимание в статье уделено методам количественного обнаружения патогенных бактерий и вирусов в воде. Делается вывод, что наиболее перспективным и информативным в отношении оценки качества водных источников является блок трофо-сапробиологических показателей.

биологические агенты, сапробность, катаробность, трофо-сапробиологические показатели, эпито-взвесь, микробный ценоз

Постановка проблемы. Антропогенное воздействие на окружающую среду в настоящее время настолько возросло, что экологические нарушения стали нормой и приобрели угрожающие размеры.

Если атмосфера и почва служат основными «приемными пунктами» химических соединений, поступающих в окружающую среду, то водоемы являются «природными коллекторами» химических отходов [1].

Анализ литературы. Все примеси природных и сточных вод, независимо от свойств и концентрации по фазово-дисперсному состоянию разделяются на 4 группы [2], входящие в две системы.

Гетерогенные системы: I – взвеси; II – коллоидные растворы. Гомогенные системы: III – молекулярные растворы; IV – ионные растворы.

Первая группа веществ, представляет собой нерастворимые примеси, образующие с водой суспензии, эмульсии или пены, которые обуславливают мутность и цветность воды.

Вторая группа веществ объединяет гидрофильные и гидрофобные коллоидные примеси и высокомолекулярные вещества.

Это такие как минеральные и органоминеральные частицы почв и грунтов, недиссоциированные и нерастворимые формы гумусовых веществ, а также вирусы и другие организмы. Характерная особенность примесей второй группы – образовывать с водой устойчивые коллоидные системы.

Третья группа веществ, включает растворенные в воде газы и органические соединения как биологического, так и антропогенного проис-

хождения. К ним относятся разнообразные продукты жизнедеятельности и отмирания плесневых грибов, актиномицетов, бактерий, водорослей, а также фенолы, спирты, альдегиды и другие органические вещества, обычно попадающие в воду со стоками. Многие из этих примесей обладают токсичностью.

Наибольшую опасность для водных источников с экологической и медицинской точек зрения несут загрязнители II и III групп: в состав которых входят бактерии, вирусы и биологические агенты.

Наиболее опасными являются бактерии и вирусы, вызывающие кишечные инфекции, а также вспышки холеры, гепатита А, сальмонеллеза и др.

Помимо патогенных микробов в водных источниках могут находиться хемотрофные, фототрофные и другие организмы, а также консорциумы с водными растениями, количество видов и форм которых зависит от типа и концентрации загрязняющего вещества [3].

Таким образом, количественное соотношение видов и форм различных микроорганизмов характеризует уровень загрязненности и токсичности водных источников.

Целью данной работы явилось изучение специфики формирования качества воды, критериальных оценок, взаимосвязи между интегральными и специфическими показателями а также выбор приоритетных показателей качества воды..

Показателями загрязнения водных источников являются живущие микроорганизмы, которые делятся на катаробов и сапробов (табл. 1), а по зонам сапробности судят о степени загрязнения водных источников, которые представлены в графическом изображении [4] на рис. 1.

Таблица 1

Бактериологические показатели загрязнения водоемов

Степень загрязнения водных источников	Зоны сапробности
Грязные	Полисапробная
Умеренно-грязные	Мезосапробная (а-, в)
Чистые	Олигосапробная
Очень чистые	Катаробная

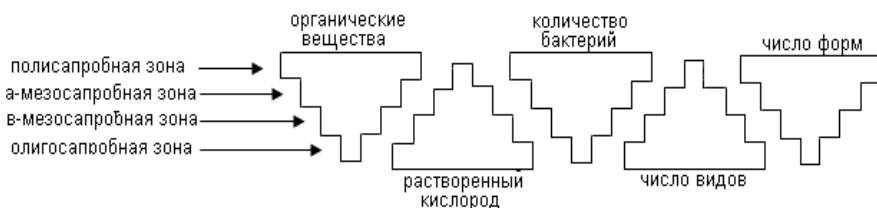


Рис. 1. Графическое изображение характеристики сапробных зон

Из графического изображения характеристики зон судят, чем грязнее водоисточник, тем больше в нем органических веществ, меньше растворенного кислорода, больше обсемененность бактериями одного вида при интенсивном развитии отдельных форм.

В зависимости от степени загрязнения водоемы относятся к одному из трех видов сапробности: лимносапробности, эвсапробности или транссапробности.

Лимносапробность характеризует степень загрязнения водоемов, в которые сбрасываются преимущественно хозяйственно-бытовые сточные воды.

Эвсапробность определяет уровень загрязнения водоемов, принимающих большое количество промышленных вод.

Наличие в сточных водах токсических и радиоактивных компонентов приводит к катастрофическому подавлению жизни водоемов или глубоким изменениям гидробиологических процессов. Такие водоемы характеризуются транссапробностью.

Таким образом, все типы вод можно представить в виде круга, который делится на секторы см. рис. 2.

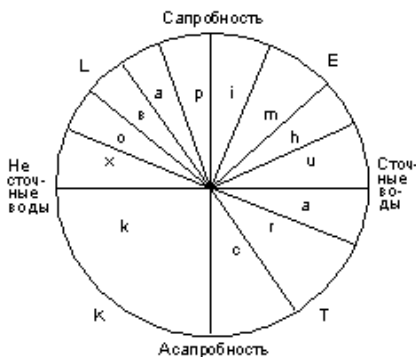


Рис. 2. Общая биологическая схема качества воды

Левая половина круга представляет не сточные воды, правая – сточные. Большие буквы обозначают главные группы качества воды, маленькие буквы обозначают степени сапробности. Стрелка показывает направление биологической оценки и самоочищения.

Сектора представляют четыре главные группы качества воды:

- 1) катаробность (К) – наиболее чистые грунтовые воды или вода, которая была искусственно подготовлена в качестве питьевой воды;
- 2) лимносапробность (L) – более или менее загрязненные поверхност-

ные или грунтовые воды, в которых различают пять степеней сапробности;

3) эвсапробность (Е) – сточные воды, содержащие органические вещества, которые подвергаются биохимическим процессам разложения (различают 4 степени сапробности);

4) транссапробность (Т) – сточные или поверхностные воды, загрязняющие вещества не подвергаются биохимическому разложению; здесь присутствуют принципиально при степени качества воды: а – антисапробность с токсическими веществами, г – радиосапробность с радиоактивными веществами и с – кринсапробность, где влияют физические факторы, присутствие некоторых минеральных суспензий. Стрелка в кругу показывает направление биологической очистки и самоочищение [11]. Таким образом, наиболее опасными источниками водоснабжения являются те, которые соответствуют группам качества воды: транссапробность и эвсапробность.

Авторами Оксиюком и др. [11] была предложена шкала оценки качества вод по содержанию хлорофилло-биотической составляющей – фитопланктона (табл. 2) [12].

Таблица 2

Шкала оценки качества вод по содержанию хлорофилла

Класс	Трофность	Категория	Трофность	Хлорофилл "а" мкг/дм ³
I	Олиготрофные	1	Олиготрофные	< 3
II	Мезотрофные	2	Мезотрофные	3 – 12
		3	Мезоевтрофные	13 – 20
III	Евтрофные	4	Евтрофные	21 – 40
		5	Евполитрофные	41 – 75
IV	Политрофные	6	Политрофные	76 – 250
V	Гипертрофные	7	Гипертрофные	> 250

Сапробность (трофность) соответствует гидрохимическому индексу загрязнения воды Е (см. табл. 3):

$$E = \sum_{j=1}^n \left(\frac{C_j}{ПДК_j} \right) \cdot j_n,$$

где C_j – концентрация компонентов; $ПДК_j$ – установленная величина предельно-допустимой концентрации для соответствующего типа водного объекта [10].

Обычно индекс загрязнения воды рассчитывают по 6 – 7 гидрохимическим показателям, таким как концентрация кислорода (O_2); биологическое потребление кислорода (БПК); концентрация аммонийного азота (NH_4); нитритов (NO_2); нитратов (NO_3); железа (Fe); меди (Cu);

нефтепродуктов; фенолов; синтетических поверхностно-активных веществ (СПАВ).

Таблица 3

Классы качества вод в зависимости от значения гидрохимического индекса загрязнения [10]

Воды	Индекс гидрохимического загрязнения [Е]	Классы вод
Очень чистые	До 0,2	1
Чистые	0,2 – 1,0	2
Умеренно загрязненные	1, 0 – 2,0	3
Загрязненные	2,0 – 4,0	4
Грязные	4, 0 – 6,0	5
Очень грязные	6,0 – 10,0	6
Чрезвычайно грязные	Более 10,0	7

Наиболее информативным в отношении оценки качества воды, учитывая влияние процессов "цветения", является блок трофо-сапробиологических показателей. Например, если содержание сухих взвешенных частиц в водном источнике составляет более 80 мкг/дм³, то соответственно табл. 2 и табл. 3, такую воду относят к IV классу, 6 категории качества. Такие воды с массовым развитием сине-зеленых водорослей характеризуются как высокотоксичные и очень грязные, при употреблении действуют на центральную нервную систему, нарушают углеводный и белковый обмены. Среди продуктов распада водорослей обнаруживаются спирты, кетоны, кислоты, углеводороды, фенолы [7], а также d-элементы (тяжелые металлы) [ЭР21], которые характеризуют тропность водных источников.

С целью определения степени загрязнения водных источников Яниным Е.П. [14] был предложен новый способ, основанный на исследовании химического состава эпифито-взвеси, осаждаемой на макрофитах (водорослях). К таким растениям, в большинстве водоемов, являющихся эдификаторами, относятся например, водная экологическая форма (*f. aquaticus* Leyss), рдест гребенчатый (*Potamogeton pectinatus* L.), уруть колосистая (*Mynophyllum specatum* L.).

Для оценки общего загрязнения водоисточников (табл. 4) используют суммарный показатель загрязнения Z_c [11] который рассчитывается по формуле

$$Z_c = \sum_{i=1}^n K_c - (n-1),$$

где $K_c = \frac{C_i}{C_\phi}$; K_c – коэффициент концентрации j-го химического элемен-

та; C_j – реальная концентрация j -го химического элемента в эпифитовзвеси в конкретной точке наблюдения в зоне техногенного источника загрязнения; C_{ϕ} – фоновое содержание j -го химического элемента; n – число, равное количеству химических элементов, входящих в геохимическую ассоциацию.

Таблица 4

Шкала оценки загрязнения водных источников по интенсивности накопления химических элементов в эпифитовзвеси (значения суммарного показателя загрязнения Z_c)

Z_c	Уровень техногенного загрязнения	Содержание токсических химических элементов в растворе водных источников
< 20	Слабый	Большинство в пределах фоновых уровней
20 – 60	Средний	Многие повышены относительно фоновых уровней, некоторые эпизодически достигают ПДК
60 – 200	Высокий	Многие заметно выше фоновых уровней, некоторые превышают ПДК
200 – 600	Очень высокий	Многие во много раз выше фоновых уровней, некоторые стабильно превышают ПДК
> 600	Чрезвычайно высокий	Большинство во много раз выше фоновых уровней, многие стабильно превышают ПДК

Таким образом, среди показателей качества водных источников можно выделить специфические химические элементы, как отдельные так и общие, а также бактерии патогенные и индикаторные [17].

Отмечается, что загрязнение нефтепродуктами сопровождается уменьшением видового разнообразия гидробионтов, при этом одновременно возрастает количество биологических групп, идентифицирующих нефтяное загрязнение (хематод и олигохет) [15].

Накопление d -элементов (тяжелые металлы), которые относятся к токсичным веществам, приводит в водных источниках к массовому развитию сине-зеленых водорослей, а видовое разнообразие сводится к доминированию небольшого числа в основном низкоорганизованных видов [13, 16].

Существенной характеристикой природных вод, связанной с формой нахождения и миграции в них тяжелых металлов, является комплексообразующая способность вод. Эту характеристику можно использовать для сопоставительной оценки качества вод по тяжелым металлам. Значение комплексообразующей способности зависит от химического состава воды и определяется суммарным содержанием в ней органических и неорганических лигандов и антропогенного происхождения.

Санитарно-показательные микроорганизмы, как известно, являются индикаторами на присутствие в воде патогенной микрофлоры [11], а та в свою очередь может служить фактором передачи возбудителей многих бактериальных и вирусных инфекций [6] см. табл. 5.

Таблица 5

Виды заболеваний, вызываемые биологическими агентами различного типа

Типы биологического агента	Вызывают болезнь	Инкубационный период, дни	Смертность без лечения, %
Бактерии	Сибирская язва	1 – 4	5 – 20
	Легочная чума	2 – 4	80 – 90
	Бубонная чума	2 – 6	
	Сап	1 – 5	90
	Бруцеллез	Дни, месяцы	5
	Туляремия, брюшной тиф, дизентерия, холера	3 – 4	8
Вирусы	Энцефаломиелит	5 – 10	60
	Лихорадка Денге (красная лихорадка)	5 – 8	5
	Пситтакоз, желтая лихорадка	7 – 15	10
Риккетсии	Квинследская лихорадка	18 – 21	
	Сыпной тиф	2 – 10	20
Грибковые (споровые)	Кокцидиомикоз	8 – 21	
	Бластомироз		
Токсины	Ботулизм	2 – 14	до 95
	Стафилококкоз, микотоксикоз, сакситоксикоз		
Протозои	Бильгарциоз, токсоплазмоз		

При загрязнении водоемов органическими загрязнителями фактор заражения может увеличиваться за счет изменения микробных ценозов и генетических свойств возбудителей. Так, например, СПАВ бероль-виско 31, полиэтиленгликоль и др. стимулируют размножение холерных вибрионов в воде. При этом сроки выживаемости возбудителей удлиняются с сохранением биологических свойств. Установлено также, что алкилсульфаты способствуют размножению сальмонелл и шигелл в воде [6].

В табл. 6, 7 показано выживание бактерий и вирусов в воде.

Как видно из таблиц, выживание бактерий и вирусов зависит от типа водоисточника, степени загрязнения, температуры и видовой принадлежности [9].

Для выявления основных патогенных бактерий и вирусов в воде используют методы косвенного, прямого, ускоренного количественного их

обнаружения. В тоже время получение отрицательных результатов определений патогенной микрофлоры еще не гарантирует доброкачественной воды. Это зависит от более высокой чувствительности организма человека по сравнению с чувствительностью используемых методов, от неравномерного распределения в воде патогенной микрофлоры, ее быстрого отмирания и других факторов.

Таблица 6

Выживаемость бактерий в воде (дни)

Вид бактерий	Вода			
	водопроводная	речная	морская	колодезная, прудовая
Эшерихии непатогенные	2 – 262	21 – 183	4 – 70	50 – 75
патогенные	4 – 87	60 – 192	12 – 70	48 – 90
Сальмонеллы	2 – 91	4 – 183	16 – 40	5 – 107
Шигеллы	15 – 27	12 – 22	8 – 16	12 – 45
Холерный вибрион классический	4 – 40	17 – 19	7 – 47	3 – 30
Вибрион Эль-Тор	2 – 62	10	10 – 60	13 – 70
Лептоспиры	3 – 50	9 – 150	3 – 7	40 – 117
Бруцеллы	8 – 85	15 – 92	–	4 – 122
Тулярийные бактерии	31 – 92	7 – 31	–	12 – 60
Сибиреязвенные споры	–	10 лет	8 – 12 лет	> 10 лет

Для человека небезразлично органическое загрязнение воды, а также наличие условно патогенной и сапрофитной микрофлоры. Отрицательное влияние на него могут оказывать продукты жизнедеятельности микрофлоры. Кроме того, практически невозможно регулярное определение в воде всех известных патогенных и условно патогенных микроорганизмов, тем самым иметь гарантию качества воды.

Из представленных выше данных следует, что в настоящее время для оценки качества водных источников сравнивают показатели загрязнения воды с предельно-допустимыми концентрациями [ПДК]. В случае присутствия нескольких загрязняющих веществ, применяются различные индексы для сравнительной оценки загрязнения водной среды. Обычно для расчета индексов необходимо иметь обязательно контролируемые параметры воды, а именно: количество взвешенных веществ (КВВ), содержание растворенного кислорода (O_2), концентрацию аммонийного азота (NH_4); концентрацию нитритов (NO_2); нитратов (NO_3), железа (Fe), меди (Cu), нефтепродуктов; фенолов; синтетических поверхностно-активных веществ (СПАВ). Одним из существенных недостатков этих методов является невозможность достоверно оценить каче-

ство водных источников в период их "цветения" и спрогнозировать изменение этих показателей.

Таблица 7

Выживаемость вирусов в воде

Характеристика воды	Вирусы	Выживаемость в днях при температуре	
		4 – 10 °С	18 – 25 °С
Речная Сильно загрязненная Умеренно загрязненная Автоклавированная	Коксаки А-2	188	–
	Полиомиелит	27 – 130	11 – 75
	Е	14	5
	Коксаки А-2	113	40
	А-5	10	8
	А-9	20	–
	В-3	90 – 115	75 – 88
	ЕСНО 7	11	–
	9	96	–
	Полиомиелит Е	160	–
Коксаки А-2	716	121	
А-5			
Сточная необработанная	Фаги Т1Т2	200	–
	Полиомиелит 1	60 – 180	75 – 88
	Коксаки А-2	61	41
	А-5	200 – 300	30 – 69
	А-7	115 – 124	75 – 90
	А-9	12	6
	ЕСНО 1	130	28 – 41
	6	60	20 – 32
Водопроводная, колодезная	Полиомиелит	65 – 100	40 – 54
	Е	100	72
	Коксаки А-2	50 – 811	27 – 234
	А-5	25	–
	А-6	62 – 420	25 – 223
	А-7	57 – 400	22 – 162
	А-14	75 – 80	48 – 54
	ЕСНО 7	68 – 124	54 – 75
	Аденовирусы 5	>156	–
	Вирус гепатита А		

Выводы. Наиболее информативным и перспективным в отношении оценки качества водных источников является блок трофо-сапробиологических показателей. Трофо-сапробиологические показатели могут быть представлены в виде диаграмм, которые позволяют оценить загрязнения от всех групп с 1 по 4, а также осуществить мониторинг качества водных источников, выявить тенденции возрастания или уменьшения (самоочищение) во времени загрязнителей химического и биологического происхождения.

Это дает возможность реально оценить санитарную ситуацию и спрогнозировать уровень загрязнения водных источников в пространственно-временных координатах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Изжеурова В.В., Павленко Н.И. Биотехнологические аспекты очистки нефтесодержащих сточных вод // *Химия и технология воды*. – 1995. – 17, № 2. – С. 181-185.
2. Кульский Л.А. Теоретические основы кондиционирования воды. – К.: *Наука. думка*, 1983. – 528 с.
3. Гоготов И.Н. Аккумуляция ионов металлов и деградация поллютантов микроорганизмами и их консорциумами с водными растениями // *Экология промышленного производства*. – 2005. – №2. – С. 33-37.
4. Гирин В.Н., Григорьева Л.В., Ерусалимская Л.Ф. Санитарно-бактериологическое и вирусологическое исследование воды. – К.: *Здоров'я*, 1981. – 176 с.
5. Сладечек В. Общая биологическая схема качества воды // *Мат. 1-го съезда гидробиологического общества. Санитарная и техническая гидробиология*. – М.: *Наука*, 1967. – С. 26-31.
6. Григорьева Л.В., Касьяненко А.М., Корчак Г.И. и др. Санитарная микробиология автотрофных водоемов. – К.: *Здоров'я*, 1985. – 224 с.
7. Новиков Ю.В., Кедрин Л.В., Ноаров Ю.А. Современные гигиенические проблемы зарегулированных водоемов // *Гигиена и санитария*. – 1987. – № 3. – С. 54-58.
8. Карпенко О.А., Сирено Л.А., Орловский В.М. Влияние сине-зеленых водорослей на санитарное состояние водоемов // *Вод. Ресурсы*. – 1975. – № 6. – С. 106-114
9. Кульский Л.А. Теоретические основы технологии очистки воды. – К.: *Наука. думка*, 1968. – 527 с.
10. Сенотрусова С.В. Мониторинг загрязнения поверхностных вод рек приморского края // *Экологические системы и приборы*. – 2005. – № 10. – С. 13-16.
11. Оксюк О.П., Жданова Г.А., Гусынская С.Л., Головки Т.В. Оценка состояния водных объектов Украины по гидробиологическим показателям. 1. Планктон // *Гидробиологический журнал*. – 1994. – № 3. – С. 26-31.
12. Дмитриева Е.А., Шевченко Т.В., Верниченко-Цветов Д.Ю. Оценка влияния фитопланктона на экологическое состояние верховья Днепродзержинского водохранилища // *Экотехнология и ресурсосбережение*. – 2006. – № 1. – С. 57-65.
13. Маляревская А.Я. Биохимические механизмы адаптации гидробиотов к токсическим веществам // *Гидробиологический журнал*. – 1985. – № 3. – С. 70-82.
14. Янин Е.П. Использование эпифитов-взвеси для выявления и оценки техногенного загрязнения рек химическими элементами // *Экологические системы и приборы*. – 2005. – № 1. – С. 15-22.
15. Московченко Д.В., Шарапова Т.А. Биоиндикация техногенными загрязнениями водоемов города Тюмени с использованием зооперифитов // *Вестник Тюменского государственного университета*. – 2001. – № 3. – С. 71-79.
16. Эльпинер Л.И. Изменение гидробиологической обстановки и проблемы здоровья населения // *Гигиена и санитария*. – 2003. – № 6. – С. 40-43.
17. Красовский Г.Н., Плитман С.И., Роговец А. Тенденции изменения показателей качества воды как сигнал опасности для здоровья населения // *Санитария и гигиена*. – 2003. – № 6. – С. 26-27.

Поступила 15.06.2006

Рецензент: доктор технических наук, профессор Э.Е. Прохач,
Харьковский научный центр военной экологии.
