

## ДИНАМИКА ТОКСИЧНОСТИ ВОД И ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ВОДНОГО ОБЪЕКТА РЕКРЕАЦИИ

**Бакаева Е.Н., Игнатова Н.А.**

*Южный отдел Института водных проблем РАН, Гидрохимический институт, Ростов-на-Дону  
Россия (344090, г. Ростов-на-Дону, пр. Стачки, 198), e-mail: [rotaria@mail.ru](mailto:rotaria@mail.ru)*

---

**Методом биотестирования с использованием четырех тест-объектов различной систематической принадлежности и трофического уровня проведены исследования токсичности вод и донных отложений озера Голубое (бассейн Нижнего Дона), расположенного в пределах мегаполиса. С 1997 года по настоящее время озеро интенсивно используется в качестве места отдыха рекреантами, из числа приезжих и местных жителей. Динамика токсичности вод и донных отложений за 14-летний период рекреационного воздействия характеризовалась усилением токсического действия от его отсутствия до подострого и острого. По комплексу результатов токсичности вод и донных отложений дана оценка изменений состояния экосистемы озера с 1997 по 2010 год.**

---

Ключевые слова: биотестирование, воды, донные отложения, исследуемые пробы, токсичность, тест-объект, состояние экосистемы.

### DYNAMICS TOXICITY OF WATER AND SEDIMENTS WATER RECREATION THE OBJECT

Bakaeva E.N., Ignatova N.A.

*Southern Division of the Institute of Water Problems of RAS, Hydrochemical Institute, Rostov-on-Don  
Rostov-on-Don, Russia (344090, Rostov-on-Don, etc. Stachki, 198), e-mail: [rotaria@mail.ru](mailto:rotaria@mail.ru)*

**Bioassay method using four test objects of various systematic affiliation and trophic level toxicity studies conducted water and sediment of Lake Blue (Lower Don basin), located within the city. From 1997 to the present lake is heavily used as a recreational recreants of the number of visitors and local residents. The dynamics of the toxicity of water and sediment for 14 period was characterized by increased recreational exposure to the toxic effect of his absence to acute and subacute. On a set of results of toxicity of water and sediment evaluated changes in the ecosystem of the lake from 1997 to 2010.**

Key words: biological testing, water, sediments, studied samples, toxicity, the test object, the state of the ecosystem.

**Актуальность исследований.** В современном градостроительстве рекреационные зоны — это обязательная составная часть планировочной структуры крупного города. Рекреационная зона представляет собой традиционно используемую природную или специально организованную территорию, где жители населенного пункта проводят часы досуга [8].

В активно развивающемся процессе туристско-рекреационной деятельности водные объекты — водоемы и водотоки — эксплуатируются обычно наиболее интенсивно, причем основное воздействие приходится на прибрежные территории и водную составляющую. Эта ситуация характерна для интенсивно используемых рекреантами побережий морей, рек, озер, прудов и водохранилищ [4].

В связи с этим состояние водных объектов требует особого внимания ввиду исключительной роли воды, как в целом в круговороте воды в природе, так и в народном хозяйстве.

Экологическое состояние озера Голубое, используемого в качестве объекта рекреации, интересовало нас с точки зрения токсикологии. Исследование вод и донных отложений экосистем водных объектов важно с точки зрения изучения их токсического действия, так как известна общая тенденция последнего времени — активное распределение токсикантов в водной среде и аккумуляция их в донных отложениях.

Токсичность — характеристика биологическая, и может быть определена только с использованием живых организмов [2]. В основу исследований был положен метод биотестирования, ввиду того, что токсическое влияние загрязняющих веществ на гидробиоту гораздо показательней сравнения измеренных концентраций элементов и соединений с их предельно допустимыми концентрациями (ПДК). Экологический контроль прогрессирующего возрастания количества новых химических веществ невозможен, к тому же он осложнен аддитивностью и синергетическим действием большинства соединений. Только сама биота может дать оценку суммарного токсического действия загрязняющих веществ, которое является одной из главных причин негативных последствий антропогенного загрязнения природных вод [2].

Биологическое тестирование (биотестирование) представляет собой применяемый в водной токсикологии методический прием получения информации о токсичности пробы испытуемого материала — воды, донных отложений или отдельного вещества. В ходе токсикологического эксперимента регистрируют отклик тест-объектов на воздействие испытываемого материала.

Таким образом, данный вид исследований наиболее показателен с экологической точки зрения. Биотестирование более целесообразно и в экономическом плане, поэтому часто превосходит ресурсоемкие гидрохимические исследования.

Из существующей триады методов оценки состояния водных экосистем: химический (система ПДК) и двух биологических (биоиндикация и биотестирование) большое внимание уделяется именно последнему. В мировой практике методу биотестирования (из числа биологических методов) все больше отводится роль скрининга загрязнения, результатом которого является сигнальная информация о местах и степени токсичности водного объекта.

Все это делает необходимым и актуальным проведение исследований по данной теме в выбранном ключе.

**Объект исследования.** Для установления динамики токсичности вод и донных отложений водного объекта рекреации исследовали экосистему водоема озера Голубое.

Озеро Голубое расположено в рекреационной зоне левобережья реки Дон в пределах мегаполиса — г. Ростова-на-Дону. Рельеф в черте города Ростова-на-Дону,

располагающегося на юге Восточно-Европейской (Русской) равнины, представляет собой пологоволнистую местность с абсолютными высотами 0–60 м. Для озер этой территории характерна удлиненная подковообразная форма, вытянутая вдоль реки. И является старицей по происхождению.

Воды озера имеют характерный серо-голубой цвет, который объясняется достаточно большой глубиной и наличием значительного количества взвешенных твердых частиц, так как берега озера слагают осадочные суглинистые породы. Прозрачность воды меняется от 80 см и более, поскольку она в сильной степени зависит от освещенности воды солнцем, наличия взвесей и планктона. Изменения происходят не только в течение года, но и в течение дня. Наибольшая прозрачность водной толщи утром — минимальная вечером, когда в результате активного рекреационного использования происходит взмучивание осадков. Активная реакция воды (рН) и режим растворенных в ней газов зависят от интенсивности их поступления и потребления в воде. Измеренная активная реакция воды в озере колеблется около 7,4. Распределение содержания растворенного кислорода по территории водоема не равномерно, среднее его содержание в водной толще составляет 5–7 мг О<sub>2</sub>/л.

Наличие лесных насаждений в сочетании с удобной пляжной зоной делают озеро очень привлекательным для рекреантов. Близость к населенным пунктам, связь с мегаполисом через мост делают его доступным местом отдыха, как для местных жителей, так и для приезжих. Время нахождения на пляже не регулируется, поэтому временной период, в течение которого территория подвержена рекреационному воздействию, неограничен.

**Методы исследования.** Исследования токсичности проб воды и донных отложений озера Голубое были проведены с использованием четырех методик биотестирования, установленных документами, действующими в системе мониторинга поверхностных вод Росгидромета. В том числе использованы рекомендации по оценке токсикологического состояния водных объектов [5-7], разработанные нами с учетом требований международных и европейских стандартов и утвержденные Росгидрометом. Исследования проведены в 1997, 2006 и 2010 годах.

Для оценки токсичности вод и донных отложений использовали четыре тест-объекта различных трофических уровней и систематической принадлежности: общепринятый ветвистоусый рачок *Daphnia magna*, коловратку *Brachionus calyciflorus*, зеленые микроводоросли *Scenedesmus obliquus*, личинки комаров *Chironomus plumosus*.

Токсичность донных отложений оценивали, изучая нативные (не измененные) донные отложения и их водную вытяжку. Водную вытяжку готовили из следующего

расчета: 1 часть очищенных от посторонних включений донных отложений и 4 части дехлорированной водопроводной воды с последующим встряхиванием на шейкере в течение 1 часа. Для анализа использовали отстоянную надосадочную жидкость.

Проведены «острые» (96 ч) опыты на *Daphnia magna* для установления острого и подострого токсического действия (ОТД; П/ОТД) и непрерывные на *Brachionus calyciflorus* для установления, помимо указанных, хронического токсического действия (ХТД). В ходе биотестовых анализов использовали тест-показатели: выживаемость и прирост молоди беспозвоночных, коэффициент прироста микроводорослей, плодовитость коловраток, наличие и количество их покоящихся яиц, выживаемость и активность хирономид.

Пробы воды и донных отложений для анализа отбирали у берега и в центре озера.

### Результаты и обсуждение

*Токсичность вод.* Данные результатов биотестирования проб воды озера Голубое по четырем тест-объектам свидетельствуют об отсутствии токсического действия в 1997 году (табл.1). В 2006 году, спустя десять лет, выявлено хроническое токсическое действие вод по наиболее чувствительному тест-объекту — коловратке *B.calyciflorus*. Причем значения отклонений тест-показателей от контроля свидетельствуют о более выраженной токсичности вод у берега (табл.1).

Таблица 1. Токсическое действие проб воды озера Голубое по данным биотестирования

Год	Точка отбора	<i>D. magna</i> , выживаемость, отклонение от контроля, %	<i>S.obliquus</i> , прирост численности, отклонение от контроля, %	<i>B.calyciflorus</i>		Итоговая оценка ТД
				выживаемость, отклонение от контроля, %	плодовитость, отклонение от контроля, %	
1997	у берега	-15 (нет ОТД)	+1,8 (нет ТД)	-22 (нет ТД)	+20 (нет ТД)	Нет ТД
	центр озера	0 (нет ОТД)	+1,0 (нет ТД)	-20 (нет ТД)	+15 (нет ТД)	Нет ТД
2006	у берега	-30(нет ОТД)	+20,4 (нет ТД)	-35(ХТД)	+36 (ХТД)	ХТД
	центр озера	-20(нет ОТД)	+16,5 (нет ТД)	-25 (ХТД)	+25 (ХТД)	ХТД
2010	у берега	-35 (П/ОТД)	+42,6 (ХТД)	-40 (П/ОТД)	+60 (П/ОТД)	П/ОТД
	центр озера	-25 (нет ОТД)	+25,4 (ХТД)	-25 (ХТД)	+45(П/ОТД)	П/ОТД

ХТД — хроническое токсическое действие, П/ОТД — подострое токсическое действие,  
ОТД — острое токсическое действие, ТД — токсическое действие.

Результаты биотестирования вод в 2010 году показали, что практически все пробы воды характеризуются как токсичные, но в различной степени. Так, из анализа данных «острого» опыта на дафниях *D. magna* следует, что вода у берега не оказывала ОТД, поскольку не зарегистрирована 50 %-я выживаемость дафний за 96 часов эксперимента. Однако отклонение выживаемости дафний *D. magna* от контроля было достаточно высоко и составило (-)35 %, что превышает принятый критерий отличий, равный (-)25

%. Поэтому воду у берега следует характеризовать как оказывающую подострое токсическое действие.

Анализ результатов непрерывного биотеста на коловратках *B.calyciflorus* выявил П/ОТД в обеих пробах воды 2010 года.

Отклонение выживаемости коловраток *B.calyciflorus* от контроля составило (-)40 % в пробе у берега, что характеризует воду как оказывающую подострое токсическое действие (П/ОТД) и в центре озера — (-) 25 %, что характеризует воду как оказывающую ХТД. Однако, следует обратить внимание на показатель плодовитости. Отклонение значений плодовитости от контроля было очень высоко (+60 и +45 %). Высокая плодовитость коловраток *B.calyciflorus* при отсутствии кормления в опыте свидетельствует о наличии кормового ресурса в исследуемой воде. Наличие не только молоди, но и наличие покоящихся яиц, полученных в ходе опыта от оставшихся в живых коловраток *B.calyciflorus*, подтверждает наличие хорошего корма для коловраток *B.calyciflorus*, поскольку формирование энергоемких покоящихся яиц требует достаточно большого количества трофического ресурса [1; 2]. Для коловраток *B.calyciflorus* — это микроводоросли, бактериопланктон, органическое вещество. Увеличение прироста численности микроводорослей в опыте также характеризует присутствие органических веществ. Стимулирование размножения — увеличение плодовитости, т.е. отклонение значений от контроля более чем на 25 % свидетельствует о повышении токсичности. В связи с этим обе пробы воды характеризуют как оказывающие П/ОТД на основании наиболее чувствительного показателя — плодовитости коловраток *B.calyciflorus*.

В данном случае стимуляция размножения коловраток *B.calyciflorus* и прироста микроводорослей *S.obliquus* является негативным проявлением, что, вероятно, связано с увеличением поступления органических веществ в ходе рекреационного воздействия на водный объект. Появление покоящихся яиц коловраток *B.calyciflorus* также может привести к негативным последствиям в экосистеме озера — популяция может полностью перейти в стадию покоя и таким образом выпасть из структуры зооценоза.

Оценка токсичности исследуемых проб с использованием набора тест-объектов является экспертной. Общую оценку токсичности выводят по наиболее чувствительному тест-объекту и тест-показателю. Таким образом, результаты биотестирования воды озера Голубое по трем тест-показателям с учетом значений показателей выживаемости, плодовитости, наличия покоящихся яиц, приросту численности, свидетельствует о подостром действии вод озера в 2010 году.

Четко выражена динамика изменения токсичности вод с 1997 по 2010 год. Появление токсичности (ХТД) произошло в сжатые сроки — за десять лет. Спустя еще 4

года токсичность вод повысилась до подострой (П/ОТД). Ввиду отсутствия каких-либо стоков предприятий в районе озера, появление и усиление токсичности вод озера, вероятно, обусловлено присутствием органических веществ, поступающих именно в ходе рекреационного воздействия.

*Токсичность донных отложений.* Данные результатов биотестирования необработанных («нативных») донных отложений озера Голубое и их водных вытяжек на четырех тест-объектах показали неоднозначность оценки токсичности (табл.2).

Таблица 2. Токсическое действие проб донных отложений озера Голубое

Год	Точка отбора	<i>D. magna</i> , выживаемость, отклонение от контроля, %	<i>S. obliquus</i> , прирост числен., отклонение от контроля, %	<i>B. calyciflorus</i>		<i>C. plumosus</i> , выживаемость, отклонение от контроля, %	Итог оценка ТД
				выживаемость, отклонение от контроля, %	плодовитость, отклонение от контроля, %		
2006	у берега	-30 (ХТД)	+25,5 (ХТД)	-35 (ХТД)	+30 (ХТД)	-20 (нет ТД)	ХТД
	центр озера	-18 (нет ОТД)	+30,5 (ХТД)	-25 (ХТД)	+25 (ХТД)	-10 (нет ТД)	ХТД
2010	у берега	-35(П/ОТД)	+60,4 (ОТД)	-40 (П/ОТД)	+45 (П/ОТД)	-30 (ХТД)	ОТД
	центр озера	-25 (нет ОТД)	+35 (ХТД)	-25 (ХТД)	+25 (ХТД)	-20 (нет ТД)	ХТД

ХТД — хроническое токсическое действие, П/ОТД — подострое токсическое действие,  
ОТД — острое токсическое действие, ТД — токсическое действие.

Пробы донных отложений характеризовались от полного отсутствия токсичности на хирономидах *C.plumosus* до хронического токсического действия на коловратках и до острого токсического действия на микроводорослях *S.obliquus*.

Наиболее экологически соответствующий исследованиям донных отложений тест-объект хирономидах *C.plumosus* не показал высокой токсичности исследуемых проб в 2006 году. В 2010 году по значениям показателя выживаемости хирономид *C.plumosus* проба в центре озера не оказывала токсического действия, пробу у берега можно оценить как оказывающую хроническое токсическое действие.

Как и в пробах воды и в водных вытяжках донных отложений отмечена стимуляция роста микроводорослей *S.obliquus* и плодовитости коловраток *D. magna* (табл.2). Следует отметить, что наибольший отклик был получен по показателю прироста микроводорослей *S.obliquus*. Что позволило оценить донные отложения у берега как оказывающие ХТД в 2006 году [3] и ОТД в 2010 году, в центре озера — как оказывающие ХТД.

Следует отметить, что эти данные свидетельствуют о процессах начавшегося загрязнения, поскольку токсическое действие было более ярко выражено у берега. Усиление загрязнения, вероятно, связано с тем, что озеро Голубое в последнее время активно используется в качестве места отдыха населения.

В целом качество вод и донных отложений озера в 2006 и 2010 годах на основе результатов биотестирования не соответствует установленным нормам по токсикологическим показателям.

Важно, чтобы критерий выживаемости во всех биотестах отвечал нормативам по всем тест-объектам, что свидетельствовало бы об отсутствии токсичных загрязняющих веществ в среде. Однако такие показатели, как плодовитость, наличие молодежи и покоящихся яиц коловраток, свидетельствуют о наличии хорошего трофического ресурса. Эти тест-показатели, а также прирост численности микроводорослей проявили наибольшую чувствительность. Значительная их стимуляция характеризует токсичность среды, поскольку в эксперименте («остром» опыте) кормления тест-объектов не проводится. Таким образом, значительная стимуляция размножения коловраток (особенно появление покоящихся яиц) и прироста численности микроводорослей свидетельствует о наличии в исследуемых пробах хорошего трофического ресурса, т.е. органических веществ, поступающих в озеро в результате рекреационной деятельности человека.

*Состояние экосистемы.* Анализ комплекса данных о токсичности воды и донных отложений озера Голубое с использованием четырех тест-объектов позволяет оценить состояние исследуемого участка согласно шкале «Оценка состояния экосистемы водного объекта или его участка по результатам биотестирования» [3], как благополучное в 1997 году и крайне неблагополучное в 2006 и 2010 годах. Так в 1997 году не было обнаружено токсическое действие ни в одном из биотестов, в 2006 году хроническое токсическое действие воды обнаружено более, чем в двух биотестах, а в донных отложениях хроническое токсическое действие выявлено на двух участках, в 2010 году выявлено уже подострое токсическое действие вод и донных отложений.

Следует отметить, что появление токсического действия вод озера произошло в сжатые сроки — за 10 лет. Такой высокий темп появления токсичности озера связан с интенсивным его использованием в последние годы в качестве места отдыха горожан. Результаты, полученные методом биотестирования, указывают на сокращение сроков появления токсического действия, не только вод, но и донных отложений водоемов, используемых в рекреационных целях.

## **Выводы**

1. Использование озера Голубое в качестве объекта рекреации за 14-летний период привело к ряду негативных изменений:

- динамика токсичности вод озера характеризовалась от полного отсутствия токсичности в 1997 году, появлением хронического токсического действия в 2006 году и усилением токсического действия до подострого в 2010 году;

- динамика токсичности донных отложений озера характеризовалась наличием хронического токсического действия в 2006 году и усилением до острого токсического действия в 2010 году;

- отмечены отличия в токсичности воды и донных отложений у берега и в центре озера. У берега токсичность как вод, так и донных отложений, была выше;

- появление токсичности произошло в сжатые сроки – за 10 лет.

2. Состояние экосистемы озера, оцененное по комплексу данных биотестирования вод и донных отложений, изменилось от благополучного в 1997 году, до крайне неблагоприятного в 2006 и 2010 годах.

3. Синхронное изучение токсичности вод и донных отложений методом биотестирования с использованием набора тест-объектов позволяет дать адекватную оценку состояния водной экосистемы.

#### Список литературы

1. Бакаева Е.Н., Макаров Э.В. Эколого-биологические основы жизнедеятельности коловраток в норме и в условиях антропогенной нагрузки. — Ростов-на-Дону: СКНЦ ВШ, 1999. — 206 с.
2. Бакаева Е.Н., Никаноров А.М. Гидробионты в оценке токсичности вод суши. — М.: Наука, 2006. — 257 с.
3. Бакаева Е.Н., Никаноров А.М., Игнатова Н.А. Место биотестирования донных отложений в мониторинге поверхностных вод суши // Вестник Южного научного центра. — 2009. — Т. 5, № 2. — С. 86-92.
4. Клюкин М.А., Ротанова И.Н. Проблемы рекреационных нагрузок береговых территорий озер Ая, Колыванское и Новосибирского водохранилища. <http://www.sun.tsu.ru/mminfo/000063105/347/image/347-185.pdf> (дата обращения 10.11.2011).
5. РД 52.24.566-94. Методы токсикологической оценки загрязнения пресноводных экосистем. — М.: ФСР Госкомгидромета, 1994. — 130 с.
6. РД 52.24.662-2004. Оценка токсического загрязнения природных вод и донных отложений пресноводных экосистем методом биотестирования с использованием коловраток.— СПб.: Гидрометеиздат, 2006. — 56 с.
7. РД 52.24.669-2005. Унифицированные методы биотестирования для обнаружения токсического загрязнения поверхностных вод суши с использованием микрозоопланктона.— СПб.: Гидрометеиздат, 2006. — 57 с.
8. Словари и энциклопедии на Академике: Экологический словарь, 2001. <http://www.dic.academic.ru/dic.nsf/ecolog/924/%D0%A0%D0%95%D0%9A%D0%A0%D0%95%D0%90%D0%A6%D0%98%D0%9E%D0%9D%D0%9D%D0%90%D0%AF> (дата обращения 10.11.2011).

#### Рецензенты:

Ивлиева Ольга Васильевна, д.г.н., доцент, зав. кафедрой общей географии, краеведения и туризма Южного Федерального университета, г. Ростов-на-Дону.

Безуглова Ольга Степановна, д.б.н., профессор, профессор кафедры почвоведения и оценки земельных ресурсов Южного Федерального университета, г. Ростов-на-Дону.