

**К МЕТОДОЛОГИИ ЭКОТОКСИКОЛОГИЧЕСКОГО  
ИЗУЧЕНИЯ ФОРМИРОВАНИЯ И ВОССТАНОВЛЕНИЯ  
КАЧЕСТВА ВОД В УСЛОВИЯХ АНТРОПОГЕННЫХ  
НАГРУЗОК В ПОВЕРХНОСТНЫХ  
ВОДНЫХ ОБЪЕКТАХ**

Бакаева Е.Н.<sup>1</sup>, Игнатова Н.А.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Институт водных проблем РАН, Гидрохимический отдел,  
г. Ростов-на-Дону

<sup>2</sup>Гидрохимический институт, г. Ростов-на-Дону  
rotaria@mail.ru

Антропогенный прессинг на гидросферу привёл в настоящее время к снижению биологической полноценности поверхностных вод. Это означает, что поверхностные воды утрачивают способность быть комфортной средой обитания для гидробионтов и безопасным продуктом их питания из-за наличия повсеместно констатируемых негативных процессов в водных экосистемах. Возможность обратимости или необратимости возникающих нарушений в состоянии водной экосистемы обеспечивается гидробионтами. Именно биологический слой является огромной «очистительной фабрикой», имеющей особое значение в формировании и обновлении качества вод [1]. Существует целый ряд программ разного уровня по охране, очистке природных поверхностных водоемов и рациональному водопользованию. Европейская экологическая система пресной воды курируется панъевропейской программой «Пресная Вода». Всемирный фонд живой природы (WWF) старается объединить мероприятия, проводимые в России и Европе, в партнерскую организацию по пяти основным направлениям: Политика, Охрана, Управление, Восстановление и Уменьшение загрязнения окружающей среды. Основная цель, сформулированная WWF – «сохранить и восстановить функции и целостность пресноводных экосистем ради всего живого», едина для всех мировых программ. В последние годы определилась концепция необходимости перехода от усложненных и перегруженных информацией исследований к более продуктивным разработкам, направленным на выявление приоритетных принципов и механизмов, контролирующих функционирование экосистем и поиск интегральных зависимостей [2].

Казалось бы, очевидная прямая зависимость «концентрация загрязняющих веществ – комфортность состояния гидробиоты», не

подтверждается. Об этом свидетельствуют многочисленные попытки в последнее время классифицировать качество среды по химическому составу, к сожалению оказавшиеся несостоятельными. Этот «парадокс» объясняет утверждение В.И. Вернадского [3], что «вся химия водоема больше всего меняется жизнью». Расширение сферы анализируемых ингредиентов, не проясняет картину, скорее, наоборот, усугубляет загруженность информацией. Попытки выявления корреляционных зависимостей и каких-либо репрезентативных взаимодействий пока не эффективны, особенно в тех случаях, когда анализируется объединенная информация по гидрохимическим, гидробиологическим и санитарно-гигиеническим параметрам.

Каждая экосистема находится в динамическом равновесии и, согласно принципу Ле Шателье-Брауна, старается сохранить гомеостаз, выдвигая одно из необходимых в данный момент звеньев на борьбу с воздействием, поступающим извне, в том числе загрязняющих веществ. И это даёт основание разработки одного из направлений исследований по изучению формирования и восстановления качества водных экосистем, которому в настоящее время соответствует экотоксикологический подход. Поскольку отличительное положительное свойство поверхностных вод – относительно быстрое самообновление их качества обеспечивается биотой, то и возможность осуществления этого процесса (самоочищение) можно определить только по наличию и отклику гидробионтов.

Экотоксикологический подход к анализу антропогенного воздействия занимает важнейшее место в стратегии мониторинга окружающей природной среды и, в частности, водных объектов. На этих принципах базируются как национальные системы и программы мониторинга окружающей среды, так и международные исследовательские программы, реализуемые в рамках деятельности крупных международных организаций и проектов (программы Европейской Экономической Комиссии ООН, Международной академии безопасности окружающей среды (IAES), Научного комитета НАТО и др.) [4].

Предмет исследований экотоксикологии – экосистема, а соответствующие показатели являются индикаторами её общего состояния, «экологического благополучия». Экотоксикология отличается от классической токсикологии, изучающей эффекты отдельных химических веществ [4]. В настоящее время разработаны принципиальные схемы использования биологических методов для оценки

качества вод и донных отложений [5]. Каждый из указанных методов имеет свои особенности, плюсы и минусы, которые подробно изложены в монографии [5]. Там же обсуждены особенности методов биотестирования поверхностных вод (в отличие от сточных вод) и донных отложений.

В связи с тем, что в настоящее время оценка токсичности пресноводных экосистем включена в число обязательных характеристик экологического состояния водных объектов многих европейских государств и США, актуальным становится получение объективной информации о токсичности вод водных объектов, подверженных разнообразному по характеру антропогенному воздействию [6]. В числе приоритетных направлений при исследовании водных экосистем следует особо выделить следующие: во-первых, подбор и использование биологических методов, адекватно отражающих ситуацию в экосистеме, поскольку токсичность проявляется в отношении только живых объектов; во-вторых, поиск интегральных показателей отклика гидробионтов, характеризующих состояние водной экосистемы.

К первому направлению относится разработка комплекса биологических методов, включающего биоиндикацию и биотестирование. При оценивании качества поверхностных вод важно знать, в первую очередь, потенциал возможностей самовосстановления водных экосистем. Только структурно-видовой состав ценозов водных экосистем, получаемый соответствующим гидробиологическим методом, может дать максимально достоверную информацию о качестве водной среды. В целом это методическое направление по изучению сообществ экосистем (ценозов) носит название «биоиндикация». Получить адекватную оценку изменений состояния поверхностных водных объектов в части их качественных показателей вод и донных отложений можно с помощью биотестирования [7]. К настоящему времени разработано несколько десятков методик биотестирования; поэтому для получения объективной гарантированной биологической информации перед исследователем-экологом стоит экспертная задача, которая, по-сути, заключается в грамотном составлении комплекса экотоксикологических методов, соответствующих особенностям изучаемого водного объекта.

Второе направление – это выделение из существующей триады методов определения качества вод (биоиндикация, биотестирование, аналитические) тех, которые основаны на общих интегральных

показателях, а также подключение к определению выбранных интегральных показателей других методов, например физических.

В настоящее время в поверхностных водных объектах наиболее острыми процессами, приводящими к ухудшению качества вод, являются эвтрофирование и токсификация (экзогенная и эндогенная); характеристики этих процессов приведены в табл.1. Степень эвтрофирования биологическими методами оценивают по общим интегральным показателям: концентрация хлорофилла *a* и биомасса фитопланктона.

Таблица 1 – Биологические характеристики эвтрофирования [8]

Показатель	Последствия
Увеличение биомассы микроводорослей в целом	Блокировка солнечного света
	Уменьшение содержание кислорода
	Повышение содержания органических веществ за счет большого количества отмерших клеток – эвтрофирование
Последовательная смена видов планктоценозов	Замена реопланктона на потамопланктон
	Преобладание в фитопланктоне <i>Cyanophyta</i> и <i>Chlorophyta</i>
Изменение характера сезонной динамики и структуры фитопланктона	В фитоценозах снижается роль <i>Bacillariophyta</i> и <i>Chrisophyta</i> , увеличивается – <i>Cyanophyta</i> , <i>Dinophyta</i> , а также роль <i>Chlorophyta</i> и <i>Euglenophyta</i>
Увеличение содержания хлорофилла <i>a</i>	Важный показатель величины нагрузки питательными органическими веществами
	Важный показатель потенциальной гипоксии
Токсификация эндогенная (токсичность по биотестированию)	Угроза токсического отравления людей и животных гепато- и нейротоксинами, выделяемыми <i>Cyanophyta</i>
	Ухудшение органолептических качеств воды за счет большого отмершего фитопланктона
Токсификация экзогенная (токсичность по биотестированию)	Ухудшение органолептических свойств воды за счет промышленных, бытовых и сельскохозяйственных стоков

Для определения концентрации хлорофилла *a* используют контактные аналитические методы и широко применяемые для морских и океанических вод – дистанционные. По их данным рассчитывают биомассу фитопланктона, однако полученные результаты не всегда точны и адекватны, поскольку существует понятие «фи-

зиологическое состояние живых организмов». Для фитопланктона – это состояние пигментного комплекса, которое может различаться при его одинаковой биомассе. Кроме того, неизвестен видовой состав, в частности, потенциально токсичные сине-зелёные микроводоросли (цианобактерии, Cyanophyta). В связи с этим, дистанционное определение хлорофилла *a* (при наличии соответствующих приборов, оборудования и экономического преимущества) – это скрининг для ориентировочной оценки с последующим обязательным подключением экотоксикологических (биоиндикация и биотестирование) и аналитических исследований.

Определение интегральных показателей фитоценозов отражает только автотрофный уровень функциональной структуры экосистемы. Жесткость этой структуры обязывает обратить внимание на остальные её компоненты, в частности консументы первого порядка. В связи с этим в водной экосистеме большое значение имеет определение присутствия и состояния гетеротрофов, причём именно консументов первого порядка, особенно тех, которые по способам питания являются фильтраторами, способными очищать воды, концентрируя в себе загрязняющие вещества.

Знание видового состава автотрофов и гетеротрофов позволяет, например, предположить усиление токсичности вод по наличию потенциально токсичных видов сине-зеленых микроводорослей (цианобактерий). Появление гетеротрофов второго порядка на аналогичной кормовой базе приводит либо к недостатку корма для «аборигенных» гидробионтов, либо к уменьшению количества организмов-фильтраторов, составляющих их кормовую базу. Этот процесс наблюдается с конца 90-х годов в Азовском море после инвазии гребневика *Mnemiopsis leidyi* (т. *Stenophora*), являющегося конкурентом в питании личинкам рыб.

Поступательная динамика структуры экосистемы происходит под однонаправленным действием силы экологического фактора, в частности антропогенного (его усиления или ослабления). Количественные и качественные изменения гидробионтов свидетельствуют о положительном или негативном состоянии экосистемы. Интегральные биологические характеристики при экотоксикологическом изучении поверхностных водных объектов дают адекватную информацию о происходящих процессах (табл. 2).

Таблица 2 – Интегральные биологические характеристики для оценки экотоксичности водных экосистем [9 с дополнениями]

Метод	Характеристика	Показатель	Метод	Оценка
Биоиндикация	Сапробность водной толщи	Виды-индикаторы органического загрязнения (от олиго до полисапробных)	Гидробиологический и сапробиологический анализ биоценозов водной толщи	Значение индекса сапробности, или процентный состав
	Сапробность донных отложений		Гидробиологический и сапробиологический анализ биоценозов донных отложений	видов разных степеней сапробности
	Трофность вод	Биомасса первого трофического звена (автотрофов)	Гидробиологические структурно-видовые показатели фито-планктона	Уровень трофности по биомассе фитопланктона
		Концентрация хлорофилла <i>a</i>	Аналитический/дистанционный	Уровень трофности по концентрации хлорофилла <i>a</i>
Функциональная структура экосистемы	Соотношение трофических уровней	Гидробиологический	Нарушение соотношения трофических уровней	
Биотестирование	Токсичность водной толщи	Регистрируемые в соответствии с биотестом тест-показатели	Биотестирование по набору биотестов (минимум трём)	ОТД, ПО/ТД, ХТД
	Токсичность донных отложений (ДО)	Регистрируемые в соответствии с биотестом тест-показатели	Биотестирование неизменённых ДО по набору биотестов (минимум трём) Биотестирование водных экстрактов ДО по набору биотестов (минимум трём)	ОТД, ТД, ХТД
ОТД – острое токсическое действие, ПО/ТД – подострое токсическое действие, ХТД – хроническое токсическое действие				

Таким образом, методология экотоксикологического изучения формирования и восстановления качества вод в условиях антропогенных нагрузок в поверхностных водных объектах складывается из методик определения интегральных показателей состояния гидробионтов (биоиндикация) и отклика представительных тест-объектов из числа основных ценозов водных экосистем (биотестирование). Синхронное изучение интегральных биологических характеристик водной и донной составляющих экосистем позволяет получить наиболее объективную информацию о формировании и восстановлении качества вод, поскольку «вся химия водоёма меняется жизнью» [3].

### Литература

1. Винберг Г.Г. Пути количественного исследования роли водных организмов как агентов самоочищения загрязненных вод // Ра-

диоактивные изотопы в гидробиологии и методы санитарной гидробиологии.– М.: Наука, 1964. С. 21-36.

2. *Hauhs M., Neal C., Hooper R., Christophersen N.* 1996. Summary of a workshop on ecosystem modeling: The end of an era? *Sci. Total Environ.* 183: 1–5.

3. *Вернадский В.И.* Живое вещество.– М.: Наука, 1978. 358 с.

4. *Никаноров А.М., Бакаева Е.Н., Хоружая Т.А.* Результаты и перспективы использования экотоксикологических методов контроля в системах мониторинга поверхностных вод //Десять лет сотрудничества России и Беларуси в области гидрометеорологии и мониторинга загрязнения природной среды и перспективы его дальнейшего развития: Материалы науч.-практич. конф. 12-14 декабря 2006. М. С.33-35

5. *Бакаева Е.Н., Никаноров А.М.* Гидробионты в оценке качества вод суши.– М.: Наука, 2006. 236 с.

6. *Бакаева Е.Н., Никаноров А.М., Игнатова Н.А.* Динамика токсичности поверхностных вод бассейна реки Дон в пределах мегаполиса по многолетним данным биотестирования // Водные ресурсы. 2015.Т.42. №1. С.63-70.

7. Положение об осуществлении государственного мониторинга водных объектов. Постановление Правительства РФ № 219 от 10.04.07.

8. *Бакаева Е.Н., Игнатова Н.А.* Экотоксичность вод Цимлянского водохранилища в период цветения сине-зеленых микроводорослей // Глобальная ядерная безопасность. 2012. № 4. С.14-20.

9. *Бакаева Е.Н., Никаноров А.М.* Биологические подходы к оценке экотоксикологического состояния водных экосистем //Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. 2015. №1.