

УДК 556.55.114:574

РОЛЬ БИОТИЧЕСКОЙ И АБИОТИЧЕСКОЙ КОМПОНЕНТ ВОДНОЙ ЭКОСИСТЕМЫ В ФОРМИРОВАНИИ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО НЕБЛАГОПОЛУЧИЯ ЦИМЛЯНСКОГО И МАНЫЧСКИХ ВОДОХРАНИЛИЩ¹

© 2019 г. А. М. Никаноров¹, Т. А. Хоружая^{1,*}

¹ Южный отдел ИВП РАН
Россия 344090 Ростов-на-Дону
*E-mail: Khorugajat@mail.ru

Поступила в редакцию 12.01.2016 г.

После доработки 10.10.2018 г.

Принята к публикации 18.10.2018 г.

Исследована относительная значимость показателей биотической и абиотической компонент водных экосистем Цимлянского и Манычских (Пролетарского и Весёловского) водохранилищ в процессе формирования состояний экологического неблагополучия: “экологического напряжения, чрезвычайной экологической ситуации и экологического бедствия”, предусмотренных рядом действующих нормативно-методических документов. Для этого сравнивали доли показателей в процентах от их общего числа в динамике развития негативных изменений водных экосистем на материалах многолетней информации мониторинга Росгидромета и данных собственных экспедиционных исследований на водохранилищах по гидробиологическим, токсикологическим и физико-химическим показателям. Установлено, что роль биотической компоненты по мере ухудшения состояния водной экосистемы Цимлянского водохранилища возрастает, на Манычских, напротив, снижается. Роль абиотической компоненты велика и сходна на всех водохранилищах: она увеличивается уже в состоянии чрезвычайной экологической ситуации, но при экологическом бедствии несколько снижается. Сделано заключение, что предложенный новый подход к анализу роли биотической и абиотической компонент в развитии негативных изменений в экосистеме открывает новые возможности в исследованиях формирования качества воды и состояния водных объектов.

Ключевые слова: водохранилища, водная экосистема, биотическая и абиотическая компоненты, экологическое неблагополучие.

DOI: 10.31857/S0321-0596465544-554

Среди многочисленных характеристик водохранилищ следует особо выделить такой показатель, как состояние их экологического благополучия, нарушение которого приводит к негативным последствиям. Наиболее опасными представляются крайние степени неблагополучия, которые в нормативных документах еще в 1990-х гг. были обозначены как “чрезвычайная экологическая ситуация” (ЧЭС) и “экологическое бедствие” (ЭБ) [6]. При этом зона ЧЭС характеризуется угрозой нарушений, тогда как зона ЭБ – необратимыми изменениями в водной экосистеме.

Задача выявления зон экологического неблагополучия на водных объектах и сейчас не утратила актуальности в связи с неудовлетворительным экологическим состоянием и загрязнением ряда водоемов России. Этой проблеме уделено особое внимание и в действующем законодательстве РФ [2, 18].

Объекты исследования – Цимлянское, Пролетарское и Весёловское водохранилища – входят в состав государственной наблюдательной сети Росгидромета, на которой осуществляются режимный мониторинг загрязнения и оценка качества поверхностных вод суши.

¹ Исследование выполнено по программе ОНЗ РАН по проекту “Разработка комплекса новых методов для изучения процесса формирования и восстановления качества вод, состояния водных экосистем в условиях антропогенных нагрузок на водные объекты юга России” (2015–2017 гг.).

Находясь в сходных климатических условиях, водохранилища различаются по гидрохимическому режиму, минерализации, составу загрязнения и характерным загрязняющим и биогенным веществам, особенно – по гидробиологическим показателям: развитию фитопланктона, вкладу синезеленых водорослей (цианобактерий) в фитопленку, интенсивности “цветения” воды, трофическому статусу, проявлениям эвтрофикации. К сходным негативным тенденциям их состояния относится снижение биоразнообразия и рыбопродуктивности [1, 3, 8, 11, 15, 16].

Водоохранилища используются уже более 50 лет, и анализу их состояния посвящено большое число исследований. Накопленный фактический материал – многолетняя информация мониторинга Росгидромета и данные научных исследований – позволяет выявить признаки ЧЭС и ЭБ на основе использования комплекса химико-биологических показателей, рекомендованных [12], и перейти к анализу относительной значимости биотической и абиотической составляющих экосистемы в формировании экологического неблагополучия Цимлянского, Пролетарского и Весёловского водохранилищ. Отсутствие соответствующих публикаций в доступной литературе послужило основанием для выполнения настоящего исследования.

Исследование включает в себя три этапа: разработку перечня показателей, характеризующих биотическую и абиотическую компоненты водной экосистемы с учетом современных проблем Цимлянского, Пролетарского и Весёловского водохранилищ; выявление экологического неблагополучия Цимлянского, Пролетарского и Весёловского водохранилищ по показателям биотической и абиотической компонент водных экосистем на базе информации мониторинга Росгидромета и данных научных исследований; анализ относительной значимости биотической и абиотической компонент в формировании экологического неблагополучия.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Различные состояния экологического неблагополучия Цимлянского, Пролетарского и Весёловского водохранилищ установлены в соответствии с принципами, характеристиками и количественными параметрами показателей, согласно рекомендациям [12].

Уровень экологического неблагополучия в водохранилищах выявлен авторами на основе ана-

лиза многолетней информации государственной наблюдательной сети (ГНС) Росгидромета (из базы данных наблюдений ГНС Росгидромета в Гидрохимическом институте (ГХИ)), обобщенных данных мониторинга Цимлянского водохранилища за 1984–2012 гг., Маньчских водохранилищ за 1984–2011 гг., опубликованных в [4], а также результатов экспедиционных исследований ИВП РАН на водохранилищах в период 2009–2014 гг. В ходе работ были соблюдены требования Росгидромета к организации и проведению режимных наблюдений за состоянием и загрязнением поверхностных вод суши [13], в том числе к программам наблюдений, частоте отбора проб и методикам анализа.

Количество информации мониторинга Росгидромета по биотической компоненте различается на водохранилищах: она охватывает период режимных наблюдений по гидробиологическим показателям на Цимлянском водохранилище – 1984–1991 гг. (с 1992 г. наблюдения прекращены), на Маньчских водохранилищах – 2006–2011 гг. (с 2012 г. наблюдения существенно сокращены). Информация по абиотической компоненте (физико-химическим показателям) на водохранилищах более регулярная и охватывает период с 1980–1990-х гг. до настоящего времени.

Данные экспедиционных исследований по всем показателям, а также по показателям биотестирования воды и донных отложений (ДО) получены в пунктах государственной сети наблюдений (ГНС) Росгидромета в последние десятилетия: на Цимлянском водохранилище в 2009–2012 гг., на Маньчских водохранилищах в 2012–2015 гг.

Все показатели разделены на две группы: по биотической и абиотической компонентам. Значимость каждой компоненты в ходе определения экологического неблагополучия устанавливали сравнением долей показателей обеих групп: ЧЭС и ЭБ, предшествующего им экологического напряжения (ЭН), а также относительно удовлетворительного (ОУ) состояния водохранилищ.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Перечень показателей, характеризующих биотическую и абиотическую компоненты водной экосистемы

На основе использования комплекса химико-биологических показателей, предложенного авторами статьи для оценки экологического благополучия водных объектов [12], с учетом современных проблем водохранилищ выбраны

ежегодные фактические материалы, наиболее обеспеченные информацией по гидробиологическим показателям и параметрам состояния и загрязненности водохранилищ (Цимлянское за 1984–2012 гг., Манычских за 1984–2011 гг.), а также экспедиционные исследования за 2009–2014 гг.), составлены перечни показателей, характеризующих биотическую и абиотическую компоненты их экосистем.

В биотическую компоненту вошли гидробиологические показатели загрязненности по состоянию планктонных и бентосных сообществ,

сапробности, трофности, токсичности воды и ДО при биотестировании и др. (табл. 1). Особое внимание уделено первому трофическому звену экосистемы – фитопланктону, в том числе роли синезеленых водорослей в сообществе.

В абиотическую компоненту включены традиционные показатели: классы качества воды и загрязненности по физико-химическим параметрам, по содержанию опасных ЗВ, биогенных соединений и органических веществ (ОВ), частота превышений ПДК в году и др. (табл. 2).

Таблица 1. Биотическая компонента. Основные биологические показатели, параметры и характеристики состояний экологического благополучия/неблагополучия экосистем водохранилищ (ИС – индекс сапробности по Пантле и Букку, БИ – биотический индекс Вудивисса, ИГ–У – индекс Гуднайта–Уитлея; ОТД – острое токсическое действие; ХТД – хроническое токсическое действие, по [12] с изменениями)

№	Показатели	Характеристики и параметры состояний		
		относительно удовлетворительное	ЧЭС	ЭБ
1	Класс качества воды по состоянию планктонных сообществ – загрязненность по ИС	I и II класс (вода “условно чистая” и “слабо загрязненная”; ИС до 1.5)	IV класс (вода “грязная”; ИС 3.6–4.0)	V класс (вода “экстремально грязная”; ИС более 4.0)
2	Класс качества воды по макрозообентосу	I и II класс – вода “условно чистая” и “слабо загрязненная”	IV класс – вода “грязная”	V класс – вода “экстремально грязная”
3	Макрозообентос: БИ	5–10	2	1–0
4	Макрозообентос: ИГ–У, %	<50	71–90	91–100
5	Биомасса фитопланктона, мг/дм ³	<1.0 и 1.0	10.1–50.0	>50.0
6	Доля синезеленых в общей биомассе водорослей, %	≤25	50–75 эпизодически	>75
7	Доля проб с синезелеными за многолетний период, %	≤25	50–80	75–100
8	Концентрация хлорофилла “a” (среднегодовая), мкг/ дм ³	0.1–1.0 (воды олиготрофные)	10.0 (воды эвтрофные)	Порядка 20.0 (воды гипертрофные)
9	Площадь зоны “цветения”, % общей площади водоема (превалирующие значения)	Незначительная (<25)	от 25 до 50	51–100
10	Трофность вод (по фитопланктону)	Олиготрофные воды	Эвтрофные воды	Гипертрофные воды
11	Сапробность вод	Ксеносапробные – олигосапробные воды	α-мезо-сапробные воды	Полисапробные воды
12	Токсичность вод при биотестировании на дафниях	ОТД и ХТД отсутствуют на протяжении 96 ч	ОТД на протяжении 48 ч	ОТД на протяжении 24 ч
13	Токсичность ДО при биотестировании на хирономидах за 96 ч	Смертность отсутствует	Смертность хирономид 10–50%	Смертность хирономид у ≥50%

Как видно из табл. 1 и 2, общее число анализируемых показателей составило: по биотической компоненте – 13, по абиотической – 16. В ряде случаев данные мониторинга Росгидромета не охватывали все показатели, включенные в табл. 1 и 2, из-за различий программ наблюдений в разные годы. В этой связи перечень показателей, определяющих каждое состояние, отличался по водохранилищам.

Оценки состояний по разным показателям за многолетний период и даже за год не всегда совпадали; например, по одному показателю состояние по параметрам могло определяться как ОУ, а по-другому – как ЭН или ЧЭС. Окончательное заключение о степени экологического неблагополучия делали по показателю, свидетельствующему об угрозе деградации или необратимых негативных изменениях, т.е. о наибольшей степени неблагополучия – ЧЭС или ЭБ.

Таблица 2. Абиотическая компонента. Основные физико-химические показатели, параметры и характеристики состояний экологического благополучия/неблагополучия экосистем водохранилищ (по [13] с изменениями; показатели на Маньчских водохранилищах в ряде случаев не учитывались в связи с отсутствием достаточной информации ГНС)

№	Показатели	Характеристики и параметры состояний		
		относительно удовлетворительное	ЧЭС	ЭБ
1	Класс качества воды по УКИЗВ	класс 1 – вода “условно чистая”	класс 4 – вода “очень грязная”	Класс 5 – вода “экстремально грязная”
2	Значение УКИЗВ	0.9–0.5	9.9–5.0	9.9–5.5
3	Повторяемость превышений ПДК ЗВ в году, %	<25	50–80	75–100
4	Минерализация, мг/дм ³	≤1000	-	>2000
5	Признаки ВЗ и ЭВЗ: вещества I и II классов опасности *	Отсутствуют	Концентрации на уровне ВЗ	Концентрации на уровне ЭВЗ
6	Признаки ВЗ и ЭВЗ: вещества III и IV классов опасности*	Концентрации ниже ВЗ и ЭВЗ	Концентрации на уровне ВЗ	Концентрации на уровне ЭВЗ
7	Концентрация азота аммонийного, мг/дм ³	≤0.20 Полностью	1.01–2.50	>2.50
8	Концентрация азота нитритов, мг/дм ³	≤0.005	0,051–0.100	>0.100
9	Концентрация азота нитратов, мг/дм ³	≤0.30	1.01–2.50	>2.50
10	Концентрация фосфора минерального, мг/дм ³	0.030	0.201–0.300	>0.300
11	ОВ (по БПК ₅ , мг/дм ³)	≤1.6	7.1–12.0	>12.0
12	Частота превышений ПДК ОВ (по ХПК и БПК ₅)	<25	50–80	75–100
13	Концентрация растворенного кислорода, мг/дм ³	7.6–8.0	3–2	≤2.0
14	Концентрация взвешенных веществ, мг/дм ³	≤10.0	51–100	>100
15	pH (реакция среды)	6.7–7.9	4.0–4.9 >9.5	<4.0 >9.7
16	Пленка на поверхности воды*(по результатам визуального осмотра)	Пленка отсутствует	Часто обнаруживается пленка	Сплошная темная пленка

* Классы опасности для рыбохозяйственных водоемов используются для установления уровней загрязненности: ВЗ и ЭВЗ, согласно критериям Росгидромета, по [12].

*Показатели экологического благополучия/
неблагополучия по биотической и абиотической
компонентам водных экосистем
Цимлянского водохранилища*

Цимлянское водохранилище — одно из крупных водохранилищ Российской Федерации. Оно создано в 1952 г. в нижнем течении р. Дона; расположено на территории Волгоградской и Ростовской областей и имеет большую эколого-экономическую значимость: является важнейшим звеном технической водохозяйственной системы в бассейне Дона, используется для управления водными ресурсами и качеством воды в бассейне Нижнего Дона. Оно служит важным рыбохозяйственным фондом Азово-Донского бассейна, используется для рекреации и питьевого водоснабжения. Это наиболее крупное и глубоководное водохранилище на юге России (площадь водного зеркала — 2702 км²). По морфометрическим показателям водохранилище условно делят на три части — верхнюю (русловую), центральную (глубоководную) и приплотинную (рис. 1).

Биотическая компонента

Анализ имеющейся информации ГНС Росгидромета и экспедиционных данных ИВП РАН



Рис. 1. Картограмма расположения пунктов и вертикалей наблюдений ГНС Росгидромета на Цимлянском водохранилище.

показал, что почти ежегодно на Цимлянском водохранилище наблюдается “цветение” воды вследствие интенсивного роста водорослей. Сообщество фитопланктона характеризуется доминированием синезеленых, в том числе видов, известных как образующие токсины: *Microcystis aeruginosa*, *Aphanisomenon flos-aquae*, *Anabaena flos-aquae* [15].

Причина “сильного цветения” — особенности гидрометеорологических условий Цимлянского водохранилища: прогрев толщи воды весной, продолжительные высокие значения температуры летом, сохранение их осенью в сочетании с длительными штилевыми периодами и обеспеченностью биогенными веществами. Стогно-нагонные явления и изменения направления ветра приводят к скоплению масс водорослей (порядка 10 кг/м³) в береговой зоне, на мелководье и плесах [8].

По биомассе, численности фитопланктона и концентрациям в воде хлорофилла “a” трофический статус водохранилища высок и колеблется по участкам в широком диапазоне: от мезотрофности (на верхнем участке) до эвтрофности и даже гипертрофности (на приплотинном) [1, 8, 16].

При биотестировании пробы воды, отобранные на центральном и нижнем участках Цимлянского водохранилища, оказывали острое, подострое или хроническое токсическое действие на дафний, парамеций и коловраток [1, 10, 11]. Следует отметить, что ранее (в 1990 г.) острой токсичности воды по дафниям авторами не было обнаружено [10, 15], но в последующие годы она стала выявляться периодически. Токсичность воды при биотестировании на дафниях обнаруживается также при мониторинге Управления водными ресурсами Цимлянского водохранилища [10, 11].

ДО у г. Цимлянка и ст. Жуковской (съемка 2006 г.) оказывали хроническое токсическое действие на дафний и хирономид, причем при химическом анализе оказалось, что они были загрязнены ПАУ (бензантраценом).

Показана возможная связь токсичности воды Цимлянского водохранилища с развитием “токсичных” видов синезеленых [14]. Особую тревогу у населения в связи с использованием воды Цимлянского водохранилища для питьевого водоснабжения вызывает опасность развития цианобактерий [15].

Загрязненность воды по состоянию планктона (индексы сапробности по фито- и зоопланктону) соответствует классу 3 качества (вода

“загрязненная”), а донных сообществ — классам 3–4 (“загрязненная”–“грязная” вода, по [4]).

Абиотическая компонента

Общая оценка качества воды по УКИЗВ — классы 3–4 (вода “очень загрязненная-грязная”). В состав характерных загрязняющих веществ (ЗВ) входят легко- и трудноокисляемые ОВ (по БПК₅ и ХПК), фенолы, соединения меди, азот аммония. Их среднегодовые концентрации в 2013–2014 гг. составляют 1.5–3 ПДК, а максимальные 3–4 ПДК при повторяемости случаев превышения ПДК до 83–100%. При незначительном превышении ПДК соединениями цинка нарушения регистрировали в 100% проб. Наиболее загрязнена в многолетнем аспекте вода водохранилища у х. Красноярский (класс качества 4а — “вода грязная”).

Временные изменения загрязненности незначительны. Так, в 2014 г. улучшилось качество воды (от “грязной” до “очень загрязненной”) у с. Ложки, хотя по-прежнему регистрировали превышение ПДК фенолов (в 2–3 раза). У ст. Жуковская и у г. Волгодонска наблюдался небольшой рост загрязненности нитритным азотом (соответственно до 3 и 2 ПДК) при значительном росте повторяемости случаев превышения ПДК (соответственно от 19 и 25% до 80 и 88%). Наиболее высокая концентрация азота нитритов (6.5 ПДК в 2014 г.) регистрировалась в пункте “3.5 км” севернее г. Волгодонска. В целом качество воды стабильно держится на уровне класса 3 (вода “очень загрязненная”).

Среднегодовая минерализация воды Цимлянского водохранилища невелика — в пределах 383–549, максимальная — 480–742 мг/дм³ (у г. Волгодонска и с. Ложки). Режим растворенного в воде кислорода в последние годы был удовлетворительным (минимальная концентрация в 2014 г. — 6.40 мг/дм³ в створе ниже пос. Нижний Чир). В воде не обнаруживаются особо опасные вещества (сульфиды, сероводород, хлорорганические пестициды).

Негативные тенденции состояния абиотической компоненты прослеживаются достаточно отчетливо. Чаще всего они выявляются на ряде пунктов наблюдений по классу качества воды (загрязненности) и частоте случаев нарушений ПДК ЗВ (в частности, азота нитритов и органических веществ). Последнее указывает на рост устойчивости загрязнения, т.е. на его хронический характер. При этом рост частоты нарушений норматива отмечен даже при сред-

негодовом незначительном превышении ПДК этих ЗВ.

Показатели экологического благополучия/неблагополучия по биотической и абиотической компонентам водных экосистем Пролетарского и Весёловского водохранилищ

Пролетарское и Весёловское водохранилища входят в Манычскую водохозяйственную систему, представляющую собой каскад русловых водохранилищ, построенных в период 1932–1936 гг. на р. Западный Маныч в бассейне Дона [7]. Благодаря их созданию был в той или иной степени решен ряд проблем гидроэнергетики, водоснабжения, мелиорации и рыбного хозяйства, рекреации Ставропольского и Краснодарского краев, Калмыкии и Ростовской области. В зоне водохранилищ расположены водно-болотные угодья, находящиеся под юрисдикцией Рамсарской конвенции.

Водоохранилища Манычского каскада мелководные, они уступают по морфометрии Цимлянскому: площадь водного зеркала Весёловского — 244 км², Пролетарского — 627.5 км². Пролетарское водохранилище условно делят на три участка: межплотинный (наиболее старый), средний и верхний — район оз. Маныч-Гудило, отличающийся высокой минерализацией воды. Для анализа использована информация по пункту Пролетарский г/у, нижний бьеф, где нормативы минерализации практически не превышены.

Веселовское водохранилище — вытянутый в плане с юго-востока на северо-запад водоем с наибольшей шириной (4 км) на приплотинном участке, в верхней части водоем сужается и в некоторых местах не превышает 1–1.5 км. Глубина также равномерно уменьшается от нижней к верхней части водохранилища.

На рис. 2 представлена картосхема Манычских водохранилищ с пунктами наблюдений сети Росгидромета.

Биотическая компонента

Состояние первого трофического звена экосистемы — фитопланктона — вполне благополучное по сравнению с Цимлянским водохранилищем. В последние годы видовое разнообразие возросло с 40 до 50 видов, среди них наибольшего разнообразия достигают диатомовые, динофитовые, криптофитовые и зеленые водоросли. Некоторая монодоминантность, наблюдаемая по численности и биомассе водорослей в течение 2004–2010 гг., в последние годы выявлялась не

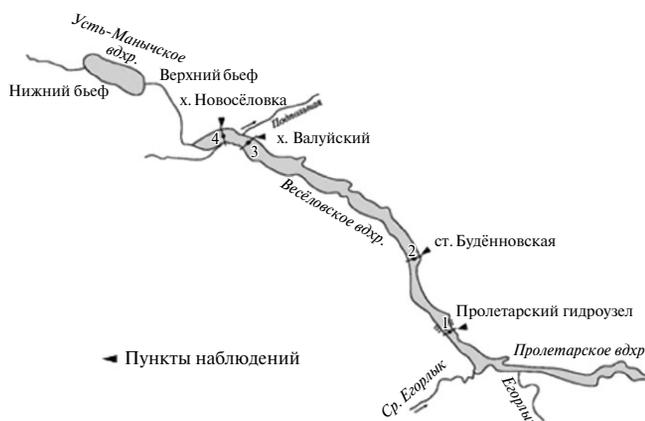


Рис. 2. Картограмма расположения точек отбора проб в экспедициях на пунктах наблюдений ГНС Росгидромета на Манычских (Пролетарском и Весёловском) водохранилищах.

всегда. Эти изменения указывают на тенденцию улучшения состояния фитопланктона, хотя есть и признаки ухудшения. К последним относится активизация развития синезеленых. Так, если до 2010 г. вклад их составлял в основном всего 10–15% общей численности, то в последнее время он увеличился до 50% (например, в 2015 г. на пунктах “х. Валууйский” и “х. Новосёловка”). В составе синезеленых встречаются виды родов *Oscillatoria* и *Microcystis*, токсичность которых пока не изучена (среди этих родов есть известные токсикогены). Причины выявленных изменений в фитоценозах водохранилищ могут быть связаны с различными экологическими факторами, в том числе с возможными гидрологическими изменениями и ежегодными погодными особенностями.

Трофность (по фитопланктону) варьировала по пунктам наблюдений от олиготрофной до мезо- и даже эвтрофной за весь период (2004–2015 гг.). Так, в пункте “ст. Будённовская” категория соответствовала эвтрофности, в пункте “х. Валууйский” преобладала мезотрофность, и только в отдельные годы — эвтрофность, в пункте “х. Новосёловка” уровень трофности в основном соответствовал мезотрофной категории. Интенсивность “цветения”, оцениваемая по биомассе водорослей, в последние годы, как и ранее, была небольшой и варьировала от “незначительной” до “умеренной”.

Значения гидробиологических индексов сапробности и олигохетного индекса Гуднайта—Уитлея соответствовали в основном воде класса “слабо загрязненная”, по [4].

Биотестирование на Пролетарском и Весёловском водохранилищах до настоящего времени не проводилось и впервые проведено авторами ста-

ти в ходе экспедиций Южного отдела ИВП РАН в 2014–2015 гг. Практически на всех обследованных пунктах Манычских водохранилищ в разные месяцы вегетационного сезона 2014 г. выявлена острая токсичность воды, характеризующаяся следующим пространственным распределением по убыванию: ст. Будённовская — г/у Пролетарский — х. Новосёловка — х. Валууйский [17]. Однако в следующем, 2015 г., подострая токсичность обнаружена только в воде х. Новосёловка (в августе и сентябре).

Пока неясно, какими причинами обусловлена токсичность воды Манычских водохранилищ и ее пространственно-временная изменчивость. Возможно, она связана с аккумуляцией в ДО стойких ядохимикатов, применявшихся длительное время на рисовых полях и сельхозугодьях и в конечном итоге попадающих в водную экосистему.

Абиотическая компонента

К наиболее загрязненным пунктам Манычских водохранилищ по УКИЗВ отнесены Пролетарское водохранилище — с. Маныч-Грузское — вода “очень грязная” (класс качества 4в); Пролетарское, п. Правый Остров и Пролетарский г/у — вода “грязная” (класс качества 4а и 4б); Весёловское водохранилище — ст. Будённовская, х. Валууйский, х. Новосёловка — вода “грязная” (класс качества 4а).

В воде Пролетарского водохранилища постоянно регистрируются наиболее высокие уровни минерализации и солевого загрязнения [5]. В 2014 г. содержание сульфатов было выше 50 ПДК, соединений магния >30 ПДК, хлоридов >20 ПДК при минерализации >20 г/дм³ (20 ПДК). Такой уровень загрязненности соответствует критериям загрязнения экстремально высокого (ЭВЗ) по сульфатам и высокого (ВЗ) по соединениям магния. Высокая минерализация воды Пролетарского водохранилища, особенно в восточной части (п. Правый Остров — с. Маныч-Грузское), обусловлена естественными причинами: водохранилище образовано затоплением ряда соленых озер, в том числе широко известного оз. Маныч-Гудило. В западной части водохранилища минерализация воды была ниже и у Пролетарского г/у в 2013–2014 гг. не превышала 1.84 г/дм³.

В последние годы качество воды на участке п. Правый Остров — с. Маныч-Грузское оставалось на уровне прошлых лет, но с некоторыми изменениями по пространству. Так, в 2014 г. в воде у п. Правый Остров зарегистрировано

снижение среднегодового содержания соединений магния (до 11 ПДК), хлоридов (до 13 ПДК) и минерализации (до 9.73 г/дм³), но одновременно увеличилось содержание сульфатов (до 22 ПДК). В воде пункта с. Маныч-Грузское, где вода была наиболее загрязненной, максимальные концентрации сульфатов, хлоридов и соединений магния в 2014 г. достигали 43 и 65 ПДК, 28 и 20 ПДК, 17 и 33 ПДК, среднегодовые – 19, 58.5 и 32 ПДК соответственно. У с. Маныч-Грузское частота превышений ПДК составляла 100% для ОВ (по БПК₅), азота аммония и нитритов, соединений железа и меди (1 ПДК), а также хлоридов (10 ПДК), соединений магния (30 ПДК), сульфатов (50 ПДК). Такая же тенденция, но при незначительном превышении ПДК фенолов наблюдается в п. Пролетарский г/у, где число проб с нарушениями норматива в году возросло с 17 до 60%.

К настоящему времени загрязненность воды водохранилища по УКИЗВ снизилась и остается на уровне класса 4 (“грязная” вода), т.е. соответствует состоянию ЧЭС. Однако по повторяемости превышения ПДК (сульфатов, хлоридов, соединений магния, железа и меди, легкоокисляемых ОВ, азота аммонийного и нитритного) выявлены признаки ЭБ. Это указывает на негативные тенденции формирования устойчивого загрязнения.

Менее минерализована вода Весёловского водохранилища [5]. Минерализация здесь мало меняется со временем; в 2014 г. среднегодовые величины варьировали по пунктам в пределах 1425–1620, максимальные – 1509–1707 мг/дм³. Более высокая минерализация отмечалась в восточной части водохранилища ниже ст. Буденновской, меньшая – в приплотинной части у х. Новосёловка. Для воды водохранилища характерной осталась загрязненность ОВ (по БПК₅ и ХПК), соединениями магния, сульфатами, в большинстве створов – нитритным азотом и соединениями железа на уровне 2–2.5 ПДК, сульфатами – 5–6 ПДК, но при высокой частоте нарушений нормативов в течение года – до 100%, что указывает на формирование хронического загрязнения.

Таким образом, признаки экологического неблагополучия по показателям абиотической компоненты, главным образом по солевому загрязнению, продолжают выявляться на Манычских водохранилищах и, возможно, даже усиливаются [5]. В то же время, как и в Цимлянском водохранилище, особо опасные вещества (в частности, хлорорганические пестици-

ды) в воде водохранилищ в последние годы не обнаружены.

Анализ относительной значимости в формировании экологического неблагополучия групп показателей, характеризующих состояние биотической и абиотической компонент водных экосистем водохранилищ

Установлено, что состояния ОУ, ЭН, ЧЭС и ЭБ определяются почти по всем показателям биотической и абиотической компонент водной экосистемы водохранилищ за многолетний период, включая последние годы (2014–2015 гг.). При этом оценки по разным показателям не совпадают и могут указывать на разные состояния. Так, для Цимлянского водохранилища из 13 показателей биотической компоненты состояние ОУ в разные годы выявлено по трем показателям, ЭН – по пяти, ЧЭС – по пяти, ЭБ – по семи (всего 20); из 16 показателей абиотической компоненты выявлено состояние ОУ по семи показателям, ЭН – по семи, ЧЭС – по десяти, ЭБ – по восьми (всего 32).

Состояние ЧЭС и ЭБ по абиотическим показателям Цимлянского водохранилища чаще наблюдалось в 1980–1990-е гг., чем в современный период, главным образом по концентрации азота нитритов и фосфора минерального. Эти отличия обусловлены существенной антропогенной нагрузкой, которая в связи с экономическим спадом начала снижаться с 1990-х гг., что и отразилось на уровне загрязненности.

В 1980–1990-е гг. по биотической компоненте состояние ЭБ выявлялось по биомассе фитопланктона, доле синезеленых водорослей в фитоценозе, доле проб фитопланктона с синезелеными за многолетний период, а также по трофности. Эти показатели, по-видимому, можно считать основными для анализа экологического благополучия Цимлянского водохранилища за многолетний период. В современный период экологическое неблагополучие четко прослеживается по частоте превышений ПДК в течение года, которое характеризует формирование устойчивого (хронического) загрязнения, а также по интегральному биологическому показателю – токсичности воды при биотестировании.

Из 14 проанализированных показателей абиотической компоненты Манычских водохранилищ выявлено состояние ОУ по шести показателям, ЭН – по девяти, ЧЭС – по девяти, ЭБ – по семи. Из 13 проанализированных показателей биотической компоненты выявлено

Таблица 3. Относительная значимость показателей биотической и абиотической компонент водной экосистемы в формировании состояний экологического благополучия/неблагополучия Цимлянское и Маньчских водохранилищ за многолетний период (Ц – Цимлянское водохранилище, М – Маньчские водохранилища)

Компонента	Доля показателей, по которым выявлены состояния, % общего числа							
	ОУ		ЭН		ЧЭС*		ЭБ*	
	Ц	М	Ц	М	Ц	М	Ц	М
Биотическая**	23	77	38	69	38	38	54	0
Абиотическая***	44	43	44	64	62	64	50	50

* Учтены наихудшие состояния ЧЭС и ЭБ за многолетний период по компонентам.

**Биотическая компонента включает в себя гидробиологические и токсикологические показатели (табл. 1); на обоих водохранилищах была достаточной информация по 13 показателям.

***Абиотическая компонента включает в себя физико-химические показатели (табл. 2); на Цимлянском водохранилище была достаточной информация по 16-ти показателям, на Маньчских – по 14.

состояние ОУ по десяти показателям, ЭН – по девяти, ЧЭС – по пяти. Случаев ЭБ не выявлено. Состояние ЭН водохранилищ выявлялось на протяжении длительного периода наблюдений (с 1960-х гг. и до настоящего времени) по показателям как биотической, так и абиотической компонент.

Относительная значимость показателей (сгруппированных как характеристики биотической и абиотической компонент экосистемы) в формировании состояний экологического благополучия/неблагополучия Цимлянское и Маньчских (Пролетарского и Весёловского) водохранилищ сравнивалась по доле показателей, определяющих перечисленные состояния (табл. 3).

Долю показателей рассчитывали в процентах от их общего числа, т.е. 13 показателей биотической компоненты для всех водохранилищ и 16 и 14 – для Цимлянское и Маньчских водохранилищ соответственно. При этом в формировании разных состояний могли быть вовлечены одни и те же показатели, но их параметры отличались (табл. 1 и 2). Как видно из табл. 3, числа рассмотренных показателей по водохранилищам различаются, так как имеющиеся перечни показателей (табл. 1 и 2) по этим водоемам не полностью совпадают.

Оценки по одному и тому же показателю в разные годы многолетнего периода иногда указывали на разные состояния – в зависимости от параметров; суммирование показателей в этой связи не имеет смысла. Например, за все годы наблюдений состояние ОУ выявлено на Цимлянском водохранилище по трем показателям биотической компоненты, что составляет $3/13 = 0.23$ (левая верхняя ячейка в табл. 3)

Установлено, что различия относительной значимости групп показателей выявляются еще

до появления признаков экологического неблагополучия – для ОУ-состояния. Последнее на Цимлянском водохранилище чаще определяется по абиотической компоненте, чем по биотической (44% против 23%), а на Маньчских водохранилищах, наоборот, чаще по биотической (77% против 43%).

При формировании ЧЭС изменения роли абиотической компоненты более выражены по сравнению с биотической на всех водохранилищах: 62% против 38% на Цимлянском и 64% против 38% на Маньчских водохранилищах. Иная ситуация складывается при ЭБ: на Цимлянском водохранилище ЭБ определяется по обеим компонентам (50 и 54% соответственно), на Маньчских водохранилищах оно выявлено только по абиотической компоненте. Состояние биотической компоненты здесь не играло роли в формировании крайне негативных тенденций, приведших к неблагополучию.

На Цимлянском водохранилище роль биотической компоненты по мере ухудшения состояния экосистемы возрастает: вклад ее в состояние ОУ составляет всего 23%, увеличивается до 38% в состоянии ЧЭС и до 54% в состоянии ЭБ. На Маньчских водохранилищах ситуация другая. Вклад биотической компоненты в формирование состояния ОУ весьма велик (77% против 23% на Цимлянском водохранилище) и снижается по мере нарастания негативных изменений. Для состояния ЧЭС на Маньчских водохранилищах это 39%, а для состояния ЭБ – ноль, т.е. проявлений ЭБ не отмечается, и биота практически не участвует в его формировании.

Следует отметить, что параметры показателей, характеризующих биотическую компоненту Маньчских водохранилищ, свидетельствуют о ее относительной стабильности.

Что касается абиотической компоненты, то ее роль велика на всех водохранилищах уже в состоянии ОУ (43–44%), в состоянии ЧЭС она растет и ее значимость примерно одинакова на Цимлянском и Маньчских водохранилищах (62 и 64%), затем к состоянию ЭБ она снижается, причем одинаково на всех водохранилищах (до 50%).

Таким образом, тенденции изменений роли биотической компоненты в процессе формирования ЭН на водохранилищах различны, а абиотической – сходны. На взгляд авторов статьи, важно, что изменения ее роли, связанные с антропогенными воздействиями, обнаруживаются уже на стадии ЧЭС, когда еще можно изменить ситуацию к лучшему. К сожалению, сравнение водохранилищ показывает, что для Цимлянского водохранилища изменения биоты несут существенную угрозу, причем состояние водной экосистемы Цимлянского водохранилища оказалось нарушенным в большей степени, чем Маньчских водохранилищ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты исследований роли биотической и абиотической компонент в формировании состояний экологического неблагополучия на крупных водохранилищах на юге России – Цимлянском, Пролетарском и Весёловском – открывают дополнительные возможности для оценок состояния водных экосистем.

Предложенный новый интегральный подход к анализу формирования качества воды и к оценке состояния водной экосистемы по комплексу химико-биологических показателей основан на рассмотрении двух важных компонент экосистемы – биотической и абиотической. Анализ вклада этих компонент экосистемы в формирование негативных событий на водных объектах (ЧЭС и ЭБ) – с использованием показателей и параметров согласно разработанным авторами ранее рекомендациям может быть использован при разработке мер по реабилитации водных объектов в условиях современных антропогенных нагрузок.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бакаева Е.Н., Никаноров А.М., Игнатова Н.А., Черникова Г.Г. Эколого-токсикологическая ситуация Цимлянского водохранилища в современный период // Вода и водные ресурсы: системообразующие функции в природе и экономике: Сборник науч. тр. Новочеркасск: ЮРГТУ (НПИ), 2012. С.151–157.
2. Водный кодекс Российской Федерации от 03.06.2006. № 74-ФЗ. Ред. 27.12.2018. Гл. 6. С. 67.
3. Жукова С.В. Оценка влияния на водные биоресурсы и среду их обитания при эксплуатации Цимлянского и Маньчских водохранилищ // Рыбохозяйственные проблемы строительства и эксплуатации плотин и пути их решения. Материалы заседания тематического сообщества по проблемам больших плотин и Научного консультативного Совета Межведомственной ихтиологической комиссии / Сост. Мартынов А.С., Книжников А.Ю. М.: WWF России, 2010. С. 47–66.
4. Качество поверхностных вод РФ по гидробиологическим показателям. Ежегодники. Обнинск: ВНИИГМИ МЦД, 2003–2015.
5. Коханистая Е.В., Хоружая Т.А. Современный уровень солевого загрязнения Пролетарского и Весёловского водохранилищ // Изв. вузов Северо-Кавказского региона. 2015. № 2. С. 88–92.
6. Критерии оценки экологической обстановки территорий для выявления зон чрезвычайной экологической ситуации и зон экологического бедствия // Газета “Зеленый Мир”. 1994. № 12. С. 8.
7. Лурье П.М., Панов В.Д., Саломатин А.М. Река Маньч: гидрография и сток. СПб.: Гидрометеоздат, 2001. 160 с.
8. Матишов Г.Г., Ковалева Г.В. “Цветение” воды в водоемах Юга России и сбои в водоснабжении (на примере г. Волгодонска) // Вестн. ЮНЦ РАН. 2010. Т. 6. № 1. С. 71–79.
9. Методика измерений количества *Daphnia magna* Straus для определения токсичности питьевых, пресных природных и сточных вод, водных вытяжек из грунтов, почв, осадков сточных вод, отходов производства и потребления методом прямого счета. ПНД Ф Т 14.1:2:3:4.12-06. 2014. 36 с.
10. Никаноров А.М., Хоружая Т.А., Мартышева Н.А. Современные характеристики и тенденции многолетних изменений эколого-токсикологического состояния Цимлянского водохранилища // Метеорология и гидрология. 2012. № 4. С. 75–85.
11. Никаноров А.М., Хоружая Т.А., Минина Л.И., Мартышева Н.А. Опасность “цветения” Цимлянского водохранилища // Водоочистка, водоподготовка, водоснабжение. 2011. № 2. С. 70–74.
12. Р 52.24-763-2012. Оценка состояния пресноводных экосистем по комплексу химико-биологических показателей. Ростов-на-Дону: ГХИ, 2012. 22 с.
13. РД 52.24.309.2016. Организация и проведение режимных наблюдений за состоянием и загрязнением поверхностных вод суши. Ростов-на-Дону: ГХИ, 2016. 107 с.
14. Хоружая Т.А., Мартышева Н.А. Связана ли токсичность воды водохранилищ с синезелеными водорослями // Вода: химия, экология. 2014. № 7. С. 98–105.

15. Хоружая Т.А., Мартышева Н.А., Юрасова Е.Б., Коханистая Е.В. Цветение водоемов и безопасность питьевой воды // Материалы за 9-а междунар. науч.-практ. конф. “Будущего вопросы от света на наукага”. Т. 31. Экология. География и геология. София: Бял ГРАД-БГ ООД, 2013. С. 3–5.
16. Хоружая Т.А., Никаноров А.М. Эвтрофирование и токсичность синезеленых водорослей как проявление глобальных экологических проблем // Вода и водные ресурсы: Системообразующие функции в природе и экономике. Сб. науч. тр. / Отв. ред. Пряжинская В.Г. Новочеркасск: ЮРГТУ (НПИ), 2012. С. 340–344.
17. Хоружая Т.А., Юрасова Е.Б. Оценка токсичности природных вод Пролетарского и Весёловского водохранилищ // Современные проблемы гидрохимии и мониторинга качества поверхностных вод. Ч. 2. Материалы науч. конф. с междунар. участием. Ростов-на-Дону: ГХИ, 2015. С. 145–148.
18. ФЗ Об охране окружающей среды (с изм. 29 июля 2018 г.). Гл. VIII. С. 57.

THE ROLE OF BIOTIC AND ABIOTIC COMPONENTS OF THE AQUATIC ECOSYSTEM IN THE FORMATION OF ECOLOGICAL TROUBLE OF TSIMLYANSK AND MANYCH RESERVOIRS

© 2019 A. M. Nikanorov¹, T. A. Khoruzhaya^{1,*}

¹*Department Hydrochemical division of IWP RAN
Russia 344090 Rostov-on-Don
e-mail: Khorugajat@mail.ru

Received: 12.01.2016

Revised version received: 10.10.2018

Accepted: 18.10.2018

The relative importance of indicators of biotic and abiotic components of aquatic ecosystems of Tsimlyansky and Manych (Proletarian and Veselovsky) reservoirs is investigated in the process of formation of States of ecological trouble: “environmental stress, environmental emergency and ecological disaster”, which are provided by a number of existing normative- methodological documents. For this purpose, the shares of indicators as a percentage of their total number in the dynamics of negative changes in aquatic ecosystems were compared on the basis of long-term monitoring information of Roshydromet and data of own expeditionary studies in reservoirs on hydrobiological, toxicological and physico-chemical indicators. It is established that the role of the biotic component increases with the deterioration of the aquatic ecosystem of the Tsimlyansk reservoir, on the contrary, decreases in Manych. The role of the abiotic component is great and similar in all reservoirs; it increases already in a state of emergency environmental situation, but in an environmental disaster is somewhat reduced.

It is concluded that the proposed new approach to the analysis of the role of biotic and abiotic components in the development of negative changes in the ecosystem opens up new opportunities in the study of the water quality formation and the state of water bodies.

Keywords: reservoirs, water ecosystem, biotic and abiotic components, ecological trouble.

DOI: 10.31857/S0321-0596465544-554