



УДК 574.64 (470.61)

ДИНАМИКА КАЧЕСТВА ВОДЫ РЕКИ ТЕМЕРНИК С УЧЕТОМ СТЕПЕНЕЙ ТОКСИЧНОСТИ ПО НАБОРУ БИОТЕСТОВ

© 2020 Е. Н. Бакаева^{1,2,3}, М. Н. Тарадайко^{1,2,3}, Н. А. Игнатова³, А. Ю. Запорожцева²¹Гидрохимический институт, Ростов-на-Дону 344090, Россия²Южный федеральный университет, Институт наук о Земле, Ростов-на-Дону 344090, Россия³Институт водных проблем РАН, Гидрохимический отдел, Ростов-на-Дону 344090, Россия

E-mail: rotaria@mail.ru

Аннотация. Урбанизированный участок реки Темерник (г. Ростов-на-Дону, ЮФО) подвержен антропогенному прессингу. Практика биотестирования при изучении токсичности вод выявила очевидный минус использования одного биотеста. В последнее время стали использовать набор биотестов. Однако оценка токсичности только по одному наиболее чувствительному биотесту неправомерна. Оценка токсичности проведена согласно разработанной авторами шкале, которая учитывает результаты оценки степени токсичности по каждому биотесту, классифицирует качество воды по классам, принятым в гидрохимии. Проведена оценка качества воды реки Темерник методом биотестирования по набору методик с учетом степеней токсичности по каждому примененному биотесту. Исследования проведены в 2017–2019 гг. Использованы культуры *Chlorella vulgaris*, *Daphnia magna*, *Raphanus sativus* (фитотест). Вода р. Темерник проявляла широкий диапазон токсичности от «слабо» (2 «а» класс) до «экстремально» токсичной (5 класс). Динамика качества воды характеризовалась усилением токсичности с 2017 по 2019 г. Наиболее высокая степень токсичности воды отмечена в р. Темерник – устье и районе Ботанического сада ЮФУ в месте складирования изъятых донных отложений, в р. Дон ниже устья р. Темерник. Результаты биотестирования подтверждаются аналитическими данными по загрязнению воды.

Ключевые слова: речная вода, набор биотестов, фитотест, *Chlorella vulgaris*, *Daphnia magna*, итоговая токсичность, степень токсичности, класс качества вод

DYNAMICS OF WATER QUALITY IN THE TEMERNIK RIVER CONSIDERING THE TOXICITY LEVELS BASED ON THE DATA OF THE BIOTEST BATTERY

E. N. Bakaeva^{1,2,3}, M. N. Taradayko^{1,2,3}, N. A. Ignatova³, A. Yu. Zaporozhtseva²¹Hydrochemical Institute, Rostov-on-Don 344090, Russia²Southern Federal University, Institute of Earth Sciences, Rostov-on-Don 344090, Russia³Water Problems Institute of the RAS, Hydrochemical Department, Rostov-on-Don 344090, Russia

E-mail: rotaria@mail.ru

Abstract. The urbanized section of the Temernik River (Rostov-on-Don, Southern Federal District) is subjected to anthropogenic pressure. During the investigation of water toxicity by means of the bioassay method, an obvious disadvantage of using one biotest was revealed. Recently, a biotests battery has been used. However, assessing toxicity based on only one, most sensitive biotest, is untenable. The toxicity assessment has been carried out according to the scale developed by the authors. The scale considers the results of the assessment of toxicity level according to each biotest, and classifies water quality in concordance with the classes adopted in hydrochemistry. The water quality of the Temernik River has been assessed by means of the bioassay method according to a set of practices, taking into account the toxicity levels for each of the applied biotests. The studies were carried out in 2017–2019. The cultures of *Chlorella vulgaris*, *Raphanus sativus* (phytotest), and *Daphnia magna* were used. The water of the Temernik River showed a wide range of toxicity from “low” toxic (2 “a” class) to “extremely” toxic (5 class). The dynamics of water quality was characterized by the increase in toxicity from 2017 to 2019. The highest degree of water toxicity was recorded at the mouth of the Temernik River, in the Don River downstream from the mouth of the Temernik River, and near the Botanical Garden of the Southern Federal University at the storage site for extracted bottom sediments. Biotest data are confirmed by the analytical data on water pollution.

Keywords: river water, biotest battery, phytotest, *Chlorella vulgaris*, *Daphnia magna*, final toxicity, toxicity level, water quality class

ВВЕДЕНИЕ

Понятие «качество природных вод» основано на степени соответствия физико-химических и биологических характеристик воды рассматриваемым видам водопользования (питьевого, промышленного и др.). В водной токсикологии одним из биологических свойств воды, способным оказывать вредное, патологическое, вплоть до гибели, воздействие на организм, является токсичность. Следовательно, токсичность следует рассматривать как одну из характеристик качества воды. Изучение токсичности поверхностных вод по-прежнему является актуальным в связи с продолжающимся загрязнением гидросферы. Важная роль в решении этой проблемы принадлежит биотестированию — экспериментальной оценке токсичности среды, основанной на регистрации физиологических, этологических и биологических откликов тест-объектов. Основа токсичности — биологическая. Ее следует расценивать как интегральную характеристику качества воды, обусловленную проявлением негативных в отношении гидробиоты свойств всего комплекса химических веществ, присутствующих в тестируемой воде [1].

Практика биотестирования выявила очевидный минус использования только одного биотеста. В связи с чем возрос интерес и необходимость использования набора биотестов (biotest battery/bioassay battery) при изучении токсичности поверхностных вод, а также потребность в разработке сопровождающей их нормативно-методической документации. Экологическое обоснование набора тест-объектов при оценке токсичности компонен-

тов окружающей среды приведено в работе [1]. Надежность результатов оценки токсичности воды по набору биотестов обусловлена тем, что тест-объекты разных систематических групп и трофических уровней водных экосистем и их разные тест-показатели отличаются чувствительностью к одним и тем же загрязняющим веществам. Это позволяет выявлять воздействие более широкого круга загрязняющих веществ, присутствующих в воде. Существует отечественный и зарубежный опыт использования набора биотестов для оценки токсичности воды. Рекомендуется использовать, как правило, не менее трех биотестов [2].

Река Темерник является правым притоком Дона, впадающим в него на территории города Ростов-на-Дону. Как и все водные объекты, расположенные в пределах урбанизированных территорий бассейна Нижнего Дона, р. Темерник на протяжении многих лет испытывает антропогенный прессинг. Как правило, он обусловлен сбросом недостаточно очищенных и неочищенных сточных вод промышленных предприятий и коммунального комплекса, размещением в пределах водоохранных зон несанкционированных свалок, а также поступлением загрязняющих веществ вместе с ливневыми стоками и смывом с территории водосбора, в т. ч. в пределах городской черты, на всем своем протяжении. Указанные факторы оказывают существенное негативное воздействие на качество вод реки и экологическое благополучие водной экосистемы. Несмотря на это, Темерник активно используется местными жителями в рекреационных целях.

Изложенное ранее определило актуальность изучения такой характеристики воды поверхностных водных объектов, как токсичность, в первую очередь в пределах городской черты. В настоящее время р. Темерник и данный район являются предметом активного всестороннего комплексного изучения в соответствии с Планом мероприятий Комитета по охране окружающей среды и природных ресурсов и Администрации г. Ростов-на-Дону [3, 4]. Изучению качества воды, в частности токсичности, и компонентов водной экосистемы р. Темерник биологическими методами посвящен ряд работ [5–8].

Вышеизложенное определило цель данной работы и выбор методического подхода. Цель работы заключалась в изучении и оценке качества воды р. Темерник методом биотестирования по набору биотестов с учетом степеней токсичности по каждому примененному биотесту.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследования качества воды р. Темерник проведены в осенний период 2017–2019 гг. методом биотестирования. Биотестирование выполняли по набору методик с представителями организмов различных трофических уровней и таксономической принадлежности. В качестве тест-объектов использовали зеленую микроводоросль *Chlorella vulgaris* Beijer., 1890 с тест-показателем «оптическая плотность культуры» клеток [9], высшее растение *Raphanus sativus* var. *radicula* Persoon, 1806, тест-показателями которого были метрические характеристики: длина корней и стеблей, биологические: всхожесть и количество побегов (фитотест) [10], ветвистого рачка *Daphnia magna* Straus, 1820 с тест-показателями «гибель» [11] и «трофическая активность» [12]. Метод фитотоксичности в последние годы активно применяется при исследовании токсичности воды и донных отложений водных объектов, особенно тех, которые расположены на урбанизированных территориях [6–8]. Применение набора биотестов с общепринятыми представителями гидробиоты, дополненного фитотестом, позволяет получать информацию о качестве воды не только как среды обитания гидробиоты, но и предоставляет полезную информацию для других видов водопользования, в частности для сельскохозяйственной и рекреационной отраслей. Количество повторностей и критерии токсичности биотестового анализа соответствовали используемым методикам. В биотесте по тест-показателю оптической

плотности культуры микроводорослей критерием токсичности служили значения отклонений от контроля менее «минус» 20 % и свыше 30 %, по тест-показателю гибели дафний — 50 %, по тест-показателям в биотесте по фитотоксичности — ± 50 %. Отрицательные значения отклонений свидетельствовали об угнетающем действии, положительные — о стимулирующем действии тестируемой воды. Степень токсичности оценивали согласно использованным методикам: острое (ОТД), подострое (ПОТД) и хроническое (ХТД) токсическое действие, наличие/отсутствие токсического действия (ТД). Контролем служила дехлорированная водопроводная вода.

Итоговую оценку степени токсичности тестируемой воды и класс качества получали согласно разработанной авторами шкале [13, 14]. Способ оценки итоговой токсичности при применении набора биотестов или тест-показателей одного тест-объекта является очень важным. Дело в том, что в существующих нормативно-методических документах [2] итоговая оценка токсичности воды по набору биотестов является экспертной. В этом случае окончательную оценку токсичности предлагают проводить по «наихудшему» результату биотестирования, т. е. биотесту, проявившему большую чувствительность к воздействию тестируемой воды или донных отложений. Однако при этом остается неучтенной экологическая информация, полученная в ходе биотестирования в отношении других групп гидробионтов. В связи с этим, на наш взгляд, принятая на сегодняшний момент экспертная оценка токсического действия вод по набору тест-объектов является неполноценной и может быть использована для оценки только конкретной пробы воды. Она не может быть использована для оценки состояния всей водной экосистемы, поскольку при опоре только на наихудший показатель неучтенными остаются ответы других видов, отличающихся от использованного тест-объекта по эколого-биологическим особенностям жизнедеятельности. Более корректная оценка степени токсичности воды должна основываться на результатах применения всех использованных биотестов или тест-показателей. Этот момент учтен в разработанных шкалах оценки токсичности воды с использованием двух тест-показателей гетеротрофных [15] и автотрофных тест-объектов [16]. Авторами данной статьи разработана шкала оценки степени токсичности компонентов водных экосистем по набору биотестов,

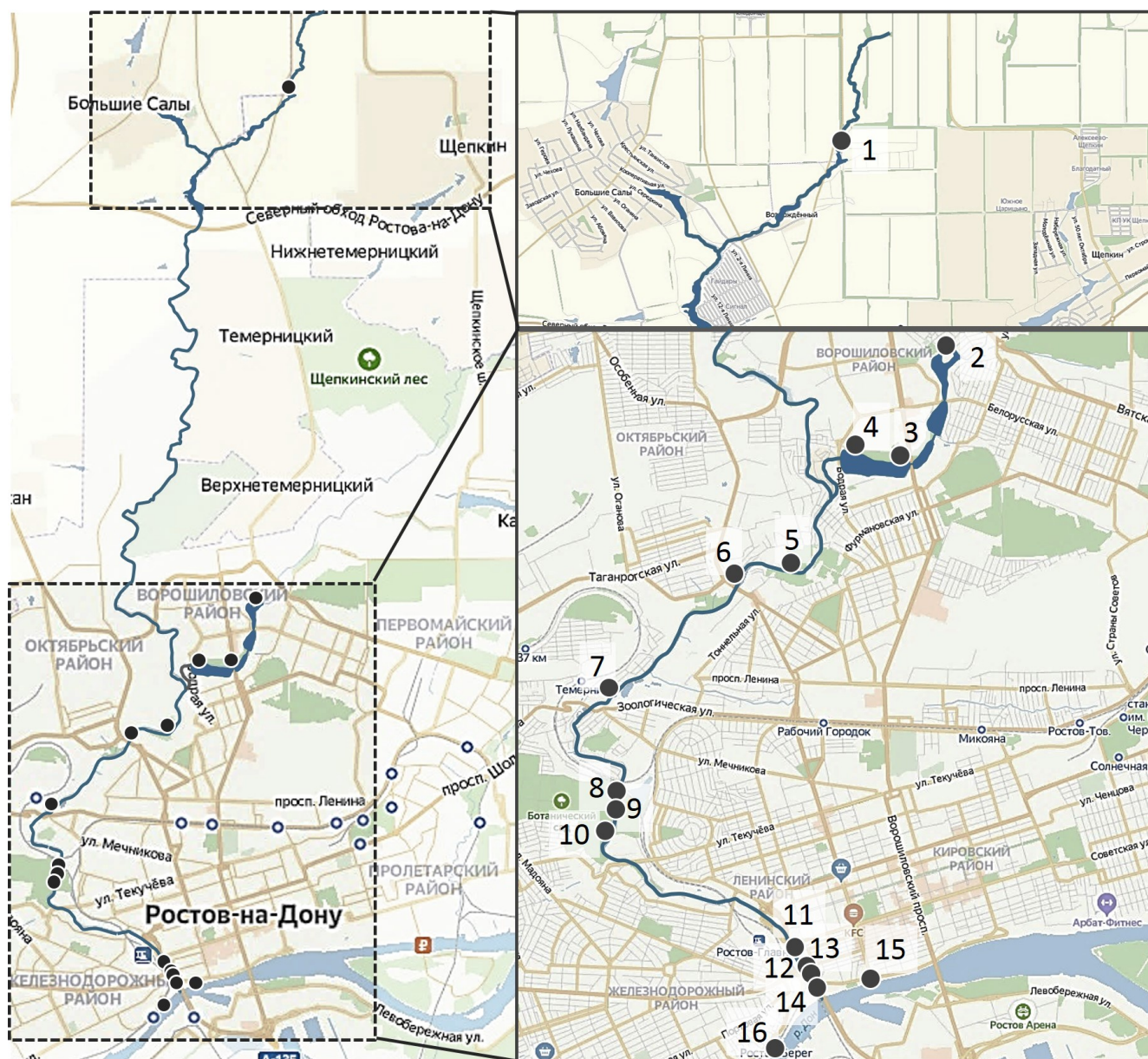
учитывающая результаты оценки степени токсичности по каждому из примененных биотестов и классифицирующая качество воды в соответствии с классами, принятыми по гидрохимическим показателям [13, 14].

Удельный комбинаторный индекс загрязненности воды (УКИЗВ) рассчитан по данным [17] согласно РД 52.24.643-2002 [18].

В разные годы точки отбора проб отличались. Общая схема отбора проб представлена на рисунке, местоположение точек указано в табл. 1.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ трехлетних результатов биотестирования по набору биотестов показал отличия в воздействии тестируемой воды на использованные тест-объекты и выявил достаточно широкий диапазон итоговой степени токсичности воды р. Темерник. Так, в 2017 г. отклик используемых тест-объектов отличался. По оптической плотности хлореллы и фитотесту вода практически всех точек оказывала высокое токсическое действие, в то время как гибель дафний не наблюдалась. Итоговая оценка степени ток-



Карта-схема отбора проб воды в р. Темерник в 2017–2019 гг.
The outline map of water sampling in the Temernik River in 2017–2019

Таблица 1. Сводная таблица местоположения точек отбора проб воды в реке Темерник в 2017–2019 гг.**Table 1.** Summary table of the location of water sampling points in the Temernik River in 2017–2019

Номер пробы Sample number	Место отбора Sampling location	Год / Year		
		2017	2018	2019
1	Р. Темерник близ истока, левый берег Headwaters of the Temernik R., left bank	–	+	+
2	Северное водохранилище (верхнее) Severnoye (Northern) Reservoir (upper)	–	–	+
3	Северное водохранилище (нижнее) близ пр. Космонавтов Severnoye (Northern) Reservoir (lower), near Kosmonavtov Av.	–	+	–
4	Северное водохранилище, выше дамбы, ул. Бодрая Severnoye (Northern) Reservoir (lower), above the dam, Bodraya St.	–	+	+
5	Р. Темерник близ санатория «Надежда», ул. Тракторная The Temernik R. near sanitarium “Nadezhda” (“Hope”), Traktornaya St.	–	+	+
6	Р. Темерник выше парка им. Октября, близ моста, ул. Шеболдаева The Temernik R. above October Park, near the bridge, Sheboldaeva St.	+	+	+
7	Р. Темерник ниже зоопарка, близ пешеходного моста The Temernik R. below the zoo, near the footbridge	+	+	+
8	Р. Темерник, Ботанический сад, близ моста The Temernik R., Botanical Garden, near the bridge	+	–	–
9	Р. Темерник, Ботанический сад, ниже моста The Temernik R., Botanical Garden, below the bridge	+	+	+
10	Р. Темерник, Ботанический сад, напротив корпуса The Temernik R., Botanical Garden, opposite the building	+	+	–
11	Р. Темерник, Пригородный ж/д вокзал, выше моста The Temernik R., Suburban railway station, above the bridge	+	–	–
12	Р. Темерник, Пригородный ж/д вокзал The Temernik R., Suburban railway station	+	–	–
13	Р. Темерник, Пригородный ж/д вокзал, ниже моста The Temernik R., Suburban railway station, below the bridge	–	+	–
14	Устье р. Темерник The Temernik R. mouth	–	+	+
15	Р. Дон, правый берег, ниже устья р. Темерник на 700 м The Don R., right bank, 700 m below the Temernik R. mouth	+	+	+
16	Р. Дон, правый берег, выше устья р. Темерник на 600 м The Don R., right bank, 600 m above the Temernik R.	–	–	+

сичности с учетом откликов всех трех тест-объектов позволила отнести воды на всем протяжении исследуемого участка реки к «токсичным», относящимся к 3 «б» классу качества (табл. 2).

В 2018 г. отклик тест-объектов был практически аналогичным предыдущему году: по оптической плотности хлореллы и фитотесту все пробы были токсичными, кроме точки 16 (р. Дон, ниже устья р. Темерник). Отсутствие токсичности по-прежнему отмечалось в биотесте с дафниями. Итоговая оценка с учетом результатов по трем биотестам позволила установить диапазон степеней токсичнос-

ти воды от «слабо токсичных» 2 «а» класса до «очень токсичных» 4 «а» класса (табл. 2).

В течение третьего года исследований отклик всех трех тест-объектов был схожим, указывающим на токсическое действие воды всего исследованного участка реки Темерник. Наиболее чувствительным оказался тест-показатель «трофическая активность дафний», использованный в 2019 г. Нетоксичной была вода р. Дон в точке 15, расположенной выше устья р. Темерник. Токсичность воды р. Темерник в 2019 г. возросла значительно. В этом году выявлены точки с самой высокой степенью токсич-

ности воды — «экстремально токсичные», относящиеся к 5 классу (табл. 2).

В динамике по данным биотестирования выявлено усиление негативных тенденций в изменении степеней токсичности и классов качества тестируемой воды р. Темерник (табл. 3). За период исследований в целом по реке степень токсичности воды возрастала. Так, в 2017 г. отмечено равномерное по руслу реки токсическое действие воды, характери-

зуемое 3 «б» классом качества «токсичные», в то время как в 2018 г. из общего количества токсичных проб 55 % относились к «очень токсичным» 4 «а» класса качества вод. В 2019 г. все пробы были токсичными, причем 60 % относились к «экстремально токсичным» 5 класса качества вод.

В 2019 г. значения рассчитанного УКИЗВ характеризовали воду реки Темерник как «очень грязную», соответствующую 4 классу разряда «в».

Таблица 2. Итоговая оценка степени токсичности и класса качества воды участка р. Темерник в пределах г. Ростова-на-Дону

Table 2. Final assessment of water toxicity level and water quality class in the part of the Temernik River located within Rostov-on-Don borders

Номер точки отбора проб Sampling point number	Год / Year					
	2017		2018		2019	
	Степень токсичности Toxicity level	Класс качества Quality class	Степень токсичности Toxicity level	Класс качества Quality class	Степень токсичности Toxicity level	Класс качества Quality class
1	2	3	4	5	6	7
1	—	—	токсичная toxic	3б	очень токсичная highly toxic	4а
2	—	—	—	—	токсичная toxic	3а
3	—	—	очень токсичная highly toxic	4а	—	—
4	—	—	очень токсичная highly toxic	4а	очень токсичная highly toxic	4а
5	—	—	очень токсичная highly toxic	4а	экстремально токсичная extremely toxic	5
6	токсичная toxic	3б	очень токсичная highly toxic	4а	экстремально токсичная extremely toxic	5
7	токсичная toxic	3б	токсичная toxic	3б	экстремально токсичная extremely toxic	5
8	токсичная toxic	3б	—	—	—	—
9	токсичная toxic	3б	токсичная toxic	3б	экстремально токсичная extremely toxic	5
10	токсичная toxic	3б	токсичная toxic	3б	—	—

Таблица 2 (окончание)

Table 2 (finished)

1	2	3	4	5	6	7
11	токсичная toxic	36	—	—	—	—
12	токсичная toxic	36	—	—	—	—
13	—	—	очень токсичная highly toxic	4a	—	—
14	—	—	очень токсичная highly toxic	4a	очень токсичная highly toxic	4a
15	токсичная toxic	36	слабо- токсичная low toxic	2a	экстремально токсичная extremely toxic	5
16	—	—	—	—	экстремально токсичная extremely toxic	5

Примечание: — в этих точках пробы не отбирались

Note: — samples have not been taken at these sampling points

Таблица 3. Диапазон изменения степеней токсичности и классов качества воды реки Темерник, доля проб с различными степенями токсичности, %

Table 3. The range of changes in the toxicity levels and quality classes of the Temernik River waters, and the share of samples with different toxicity levels, %

Степень токсичности Toxicity level	Класс качества Quality class	Год / Year		
		2017	2018	2019
Слабо токсичная Low toxic	2a	0	10	0
Токсичная Toxic	3a	0	0	10
Токсичная Toxic	3b	100	35	0
Очень токсичная Highly toxic	4a	0	55	30
Очень токсичная Highly toxic	4b	0	0	0
Экстремально токсичная Extremely toxic	5	0	0	60

Т. е. гидрохимические показатели загрязнения подтверждают биологические данные о качестве воды, полученные по набору биотестов. Критическими показателями загрязненности являлись NO_2 и Cu . Во всех пробах в высоких концентрациях содержалась медь, диоксид азота превышал ПДК в восьми пробах из десяти [17]. Согласно методике, по которой проводился расчет, основанием отнесения какого-либо компонента к критическим показателям загрязненности является значение обобщенного оценочного балла ≥ 9 . В перечисленных выше показателях это условие соблюдается. Однако стоит отметить несколько компонентов, у которых этот показатель близок к 9: Fe, Mn, Zn. Превышение железа встречается в 8 пробах, марганца — в 9, цинка — в 10.

Сравнение полученных результатов с данными биотестовых исследований за период 1992–2016 гг. [5–10] показало, что оценки степени токсичности предыдущих лет в целом согласуются с полученными в 2017–2019 гг. Согласно данным исследований по набору биотестов, вода исследованного участка р. Темерник в пределах г. Ростов-на-Дону в предыдущий период исследований также проявляла токсическое действие, степень которого изменя-

лась от хронического до острого. Наиболее высокая степень токсичности воды отмечена в р. Темерник – в устье и районе Ботанического сада ЮФУ в месте складирования изъятых донных отложений, в р. Дон ниже впадения р. Темерник. Результаты биотестирования подтверждаются аналитическими данными по загрязнению воды.

Снижение токсичности воды р. Темерник, зафиксированное в отдельных точках в различные годы, как правило, следовало за этапами реализации мероприятий по оздоровлению реки в рамках «Целевой экологической программы оздоровления водного бассейна р. Темерник» [7, 8].

В 2018 г. впервые исследовали воду истока р. Темерник, в котором была выявлена токсичность 3 «б» класса качества. В 2019 г. степень токсичности воды возросла до «очень токсичной» 4 «а» класса. Предположительно, токсичность воды в истоке обусловлена ее относительно высокой минерализацией (сухой остаток 5152 мг/дм³ по [17]), связанной с питанием реки из подземных источников.

ВЫВОДЫ

Анализ и обобщение результатов изучения качества воды р. Темерник в пределах г. Ростов-на-Дону набором биотестов за трехлетний период позволил сделать ряд выводов:

- Вода исследованного участка р. Темерник проявляла широкий диапазон степени токсичности от «слабо токсичной» до «экстремально токсичной»: от 2 «а» до 5 класса качества воды, соответственно.
- Высокотоксичные пробы воды классов 4 «а» («очень токсичная») и 5 («экстремально токсичная») встречались по всей протяженности реки.
- Однако наиболее высокой степенью токсичности по-прежнему характеризовались воды р. Темерник – в устье и районе Ботанического сада ЮФУ в месте складирования изъятых донных отложений, в р. Дон ниже впадения р. Темерник. Результаты биотестирования подтверждаются аналитическими данными по загрязнению воды.
- Высокая степень токсичности и низкое качество воды р. Темерник в 2019 г. согласовывались с гидрохимическими данными. По значениям УКИЗВ вода реки оценивалась 4 «в» классом как «очень грязная».

- Чувствительными тест-показателями были «оптическая плотность» микроводорослей, «трофическая активность» дафний и метрические показатели фитотеста. Тест-показатель «гибель» дафний при определении токсичности поверхностных вод оказался неинформативным.
- Трехлетняя динамика качества воды р. Темерник характеризовалась повышением степени токсичности с 2017 по 2019 г. Снижение токсичности воды р. Темерник, зафиксированное в отдельных точках в различные годы, как правило, следовало за этапами реализации мероприятий по оздоровлению реки.

Работа частично выполнена в рамках Госзадания по теме № 0147-2019-0002 ИВП РАН.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бакаева Е.Н., Никаноров А.М. Биологические подходы к оценке экотоксикологического состояния водных экосистем // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. 2015. № 1. С. 72–83.
2. РД 52.24.868-2017 Использование методов биотестирования воды и донных отложений водотоков и водоемов / Сост. А.М. Никаноров, Т.А. Хоружая, Е.Н. Бакаева, Л.М. Предеина, Н.А. Мартышева. Ростов-н/Д.: Изд-во Гидрохимического института, 2017. 57 с.
3. Миноранский В.А. Экологическая ситуация на реке Темерник в г. Ростове-на-Дону // Актуальные проблемы биоразнообразия и природопользования: матер. Всерос. науч.-практ. конф. (г. Керчь, 26 сентября – 1 октября 2017 г.). Симферополь: Ариал, 2017. С. 250–255.
4. Информационный бюллетень № 2 «О ходе реализации проекта «Реабилитация реки Темерник с преобразованием прибрежных территорий в общегородской экологический парк» / Под ред. Н.Н. Бритвина. Ростов-н/Д.: Изд-во Донского государственного технического университета, 2019. 101 с.
5. Игнатова Н.А. Оценка токсичности вод и донных отложений антропогенно загрязненных экосистем методом биотестирования (на примере бассейна Нижнего Дона): дис. ... канд. биол. наук. Ростов-н/Д.: Изд-во Гидрохимического университета, 2009. 161 с.
6. Бакаева Е.Н., Игнатова Н.А. Динамика токсичности вод малой реки в пределах мегаполиса (р. Темерник, ЮФО) // Живые и биокосные системы. 2014. № 7. URL: <http://www.jbks.ru/archive/issue-7/article-3> (дата обращения 30.07.2020).

7. Бакаева Е.Н., Тарадайко М.Н., Игнатова Н.А., Запорожцева А.Ю. Изменение экотоксичности компонентов экосистемы р. Темерник (г. Ростов-на-Дону) в связи с реализацией программы по оздоровлению бассейна реки // Научные проблемы оздоровления российских рек и пути их решения : сб. науч. тр. Всерос. науч. конф. с междунар. участием (г. Нижний Новгород, 8–14 сентября 2019 г.). М.: Студия Ф1, 2019. С. 286–290.
8. Бакаева Е.Н., Тарадайко М.Н., Игнатова Н.А. Динамика экотоксичности вод урбанизированного участка р. Темерник // Актуальные вопросы рыболовства, рыбоводства (аквакультуры) и экологического мониторинга водных экосистем : матер. Междунар. науч.-практ. конф., посвященной 90-летию Азовского научно-исследовательского института рыбного хозяйства (г. Ростов-на-Дону, 11–12 декабря 2018 г.). Ростов-н/Д.: Изд-во АзНИИРХ, 2018. С. 246–250.
9. ПНД Ф Т 14.1:2:3:4.10-04 Т 16.1:2:2:3:3.7-04 Токсикологические методы контроля. Методика измерений оптической плотности культуры водоросли хлорелла (*Chlorella vulgaris* Beijer) для определения токсичности питьевых, пресных природных и сточных вод, водных вытяжек из грунтов, почв, осадков сточных вод, отходов производства и потребления / Сост. Ю.С. Григорьев. М.: Изд-во Сибирского федерального университета, 2014. 36 с.
10. ГОСТ Р ИСО 22030-2009 Качество почвы. Биологические методы. Хроническая фитотоксичность в отношении высших растений. М.: Стандартинформ, 2019. 33 с.
11. ПНД Ф Т 14.1:2:3:4.12-06 Т 16.1:2:2:3:3.9-06 Токсикологические методы контроля. 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. М.: Изд-во Сибирского федерального университета, 2014. 38 с.
12. Шашкова Т.Л., Григорьев Ю.С. Сравнительная оценка чувствительности показателей выживаемости и трофической активности *Daphnia magna* при определении токсичности воды // Поволжский экологический журнал. 2013. № 4. С. 439–444.
13. Бакаева Е.Н., Тарадайко М.Н., Игнатова Н.А. Методические подходы к оценке степени токсичности водных сред по комплексу биотестов. М., 2020. 61 с.
14. Закруткин В.Е., Решетняк О.С., Бакаева Е.Н. Гидроэкологические особенности поверхностных вод углепромышленных территорий Восточного Донбасса // Известия РАН. Серия географическая. 2020. Т. 84, № 3. С. 1–10. doi: 10.31857/S2587556620030139.
15. Р 52.24.808-2014 Оценка токсичности поверхностных вод суши методом биотестирования с использованием хлорофилла *a* / Сост. Е.Н. Бакаева, Н.А. Игнатова, Г.Г. Черникова. Ростов-н/Д.: Изд-во Росгидромет, изд-во Гидрохимического института, 2014. 27 с.
16. Р 52.24.662-2004 Оценка токсического загрязнения природных вод и донных отложений пресноводных экосистем методами биотестирования с использованием коловраток / Сост. А.М. Никаноров, Е.Н. Бакаева, Н.А. Игнатова, Л.М. Ходурская. М., 2006. 60 с.
17. Князева Т.В., Тамбиева Н.С., Котова В.Е. Река Темерник: некоторые экотоксиканты и методы их количественной оценки // Экологический мониторинг опасных промышленных объектов: современные достижения, перспективы и обеспечение экологической безопасности населения : сб. науч. тр. по матер. Всерос. науч.-практ. конф. (г. Саратов, 11–13 декабря 2019 г.). Саратов: Изд-во Саратовского государственного технического университета им. Гагарина Ю.А., Амирит, 2019. Ч. 2. 224 с.
18. РД 52.24.643-2002 Метод комплексной оценки степени загрязненности поверхностных вод по гидрохимическим показателям / Сост. В.П. Емельянова, Е.Е. Лобченко. Ростов-н/Д.: Изд-во Росгидромет, изд-во Гидрохимического института, 2002. 49 с.

REFERENCES

1. Bakaeva E.N., Nikanorov A.M. Biologicheskie podkhody k otsenke ekotoksikologicheskogo sostoyaniya vodnykh ekosistem [Biological approaches to an assessment of an ecotoxicological condition of water ecosystems]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Severo-Kavkazskiy region. Estestvennye nauki* [University News. North-Caucasian Region. Natural Sciences Series], 2015, no. 1, pp. 72–83. (In Russian).
2. RD 52.24.868-2017 Ispol'zovanie metodov biotestirovaniya vody i donnykh otlozheniy vodotokov i vodoemov [Regulatory Document 52.24.868-2017 Application of bioassay methods in assessment of water and bottom sediments of water courses and water bodies]. A.M. Nikanorov, T.A. Khoruzhaya, E.N. Bakaeva, L.M. Predeina, N.A. Martysheva. (Eds.). *Rostov-on-Don: Gidrokhimicheskiy institut* [Hydrochemical Institute] Publ., 2017, 57 p. (In Russian).
3. Minoranskiy V.A. Ekologicheskaya situatsiya na reke Temernik v g. Rostove-na-Donu [Environmental situation at the Temernik River in Rostov-on-Don]. In: *Aktual'nye problemy bioraznoobraziya i prirodopol'zovaniya : materialy Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii (g. Kerch', 26 sentyabrya – 1 oktyabrya 2017 g.)* [Current issues of biodiversity and nature exploitation. Proceedings of the All-Russian Research and Practice Conference (Kerch, 26 September – 1 October 2017)]. Simferopol: Arial, 2017, pp. 250–255. (In Russian).
4. Informatsionnyy byulleten' № 2 “O khode realizatsii proekta “Reabilitatsiya reki Temernik s preobrazovaniem pribrezhnykh territoriy v obshchegorodskoy

- ekologicheskii park" [Information Bulletin No. 2. "On the course of implementation of the project "Rehabilitation of the Temernik River with refashioning of the riverside area into a public environmental park"]. N.N. Britvin. (Ed.). Rostov-on-Don: Donskoy gosudarstvennyy tekhnicheskii universitet [Don State Technical University] Publ., 2019, 101 p. (In Russian).
5. Ignatova N.A. Otsenka toksichnosti vod i donnykh otlozheniy antropogenno zagryaznennykh ekosistem metodom biotestirovaniya (na primere basseyna Nizhnego Dona) : dis. ... kand. biol. nauk [Evaluation of the toxicity of waters and bottom sediments of anthropogenically polluted ecosystems by the method of biotesting (on the example of the Lower Don Basin). Candidate's (Biology) Thesis]. Rostov-on-Don: Gidrokhimicheskii universitet [Hydrochemical University] Publ., 2009, 161 p. (In Russian).
 6. Bakaeva E.N., Ignatova N.A. Dinamika toksichnosti vod maloy reki v predelakh megapolisa (r. Temernik, YuFO) [Dynamics of toxicity waters of the small river within megapolis (r. Temernik, SFD)]. *Zhivye i biokosnye sistemy* [Living and Bioinert Systems], 2014, no. 7. Available at: <http://www.jbks.ru/archive/issue-7/article-3> (accessed 30.07.2020). (In Russian).
 7. Bakaeva E.N., Taradayko M.N., Ignatova N.A., Zaporozhtseva A.Yu. Izmenenie ekotoksichnosti komponentov ekosistemy r. Temernik (g. Rostov-na-Donu) v svyazi s realizatsiey programmy po ozdorovleniyu basseyna reki [Changes in the ecotoxicity of the Temernik River ecosystem components] In: *Nauchnye problemy ozdorovleniya rossiyskikh rek i puti ikh resheniya : sbornik nauchnykh trudov Vserossiyskoy nauchnoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem (g. Nizhny Novgorod, 8–14 sentyabrya 2019 g.)* [Scientific issues of rehabilitation of Russian rivers and the ways to address them. Collection of research papers of the All-Russian Scientific Conference with international participation (Nizhny Novgorod, 8–14 September, 2019)]. Moscow: Studiya F1 [F1 Studio], 2019, pp. 286–290. (In Russian).
 8. Bakaeva E.N., Taradayko M.N., Ignatova N.A. Dinamika ekotoksichnosti vod urbanizirovannogo uchastka r. Temernik [Water ecotoxicity dynamics of the Temernik River's urbanized part]. In: *Aktual'nye voprosy rybolovstva, rybovodstva (akvakul'tury) i ekologicheskogo monitoringa vodnykh ekosistem : materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, posvyashchennoy 90-letiyu Azovskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta rybnogo khozyaystva (g. Rostov-na-Donu, 11–12 dekabrya 2018 g.)* [Current issues of fisheries, fish breeding (aquaculture), and ecological monitoring of aquatic ecosystems. Proceedings of the International Scientific and Practical Conference, dedicated to the 90th Anniversary of the Azov Sea Research Fisheries Institute (Rostov-on-Don, 11–12 December, 2018)]. Rostov-on-Don: AzNIIRKH Publ., 2018, pp. 246–250. (In Russian).
 9. PND F T 14.1:2:3:4.10-04 T 16.1:2:2.3:3.7-04 Toksikologicheskie metody kontrolya. Metodika izmereniy opticheskoy plotnosti kul'tury vodorosli khlorella (*Chlorella vulgaris* Beijer) dlya opredeleniya toksichnosti pit'evykh, presnykh prirodnykh i stochnykh vod, vodnykh vytyazhek iz gruntov, pochv, osadkov stochnykh vod, otkhodov proizvodstva i potrebleniya [Federal Environmental Regulatory Document T 14.1:2:3:4.10-04 Toxicological control methods 16.1:2:2.3:3.7-04 Method for measuring the optical density of chlorella alga (*Chlorella vulgaris* Beijer) for determining the toxicity of drinking, fresh natural and waste water, water extracts from soils, sewage sludge, production and consumption wastes]. Yu.S. Grigor'ev. (Ed.). Moscow: Sibirskiy federal'nyy universitet [Siberian Federal University] Publ., 2014, 36 p. (In Russian).
 10. GOST R ISO 22030-2009 Kachestvo pochvy. Biologicheskie metody. Khronicheskaya fitotoksichnost' v otnoshenii vysshikh rasteniy [State Standard R ISO 22030-2009 Soil quality. Biological methods. Chronic phytotoxicity for higher plants]. Moscow: Standartinform [Russian Scientific and Technical Centre for Information on Standardization, Metrology and Conformity Assessment] Publ., 2019, 33 p. (In Russian).
 11. PND F T 14.1:2:3:4.12-06 T 16.1:2:2.3:3.9-06 Toksikologicheskie metody kontrolya. Metodika izmereniy kolichestva *Daphnia magna* Straus dlya opredeleniya toksichnosti pit'evykh, presnykh prirodnykh i stochnykh vod, vodnykh vytyazhek iz gruntov, pochv, osadkov stochnykh vod, otkhodov proizvodstva i potrebleniya metodom pryamogo scheta [Federal Environmental Regulatory Document T 14.1:2:3:4.12-06 Toxicological control methods T 16.1:2:2.3:3.9-06 Toxicological methods of analysis. Methods for measuring the abundance of *Daphnia magna* Straus to determine the toxicity of drinking, fresh natural and waste water, water extracts from soils, sewage sludge and commercial and residential wastes by means of the direct counting method]. Moscow: Sibirskiy federal'nyy universitet [Siberian Federal University] Publ., 2014, 38 p. (In Russian).
 12. Shashkova T.L., Grigor'ev Yu.S. Sravnitel'naya otsenka chuvstvitel'nosti pokazateley vyzhivaemosti i troficheskoy aktivnosti *Daphnia magna* pri opredelenii toksichnosti vody [Comparative sensitivity evaluation of the survival rate and feeding rate indices of *Daphnia magna* to determine water toxicity]. *Povolzhskiy ekologicheskii zhurnal* [Povolzhskiy Journal of Ecology], 2013, no. 4, pp. 439–444. (In Russian).
 13. Bakaeva E.N., Taradayko M.N., Ignatova N.A. Metodicheskie podkhody k otsenke stepeni toksichnosti vodnykh sred po kompleksu biotestov [Methodological approaches to the assessment of toxicity level of aquatic environment by means of bioassay battery]. Moscow, 2020, 61 p. (In Russian).
 14. Zakrutkin V.E., Reshetnyak O.S., Bakaeva E.N. Gidroekologicheskie osobennosti poverkhnostnykh vod

- uglepromyshlennykh territoriy Vostochnogo Donbassa [Surface water hydroecological peculiarities of Eastern Donbass coal-mining areas]. *Izvestiya RAN. Seriya geograficheskaya* [Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Geography], 2020, vol. 84, no. 3, pp. 1–10. doi: 10.31857/S2587556620030139. (In Russian).
15. R 52.24.808-2014 Otsenka toksichnosti poverkhnostnykh vod sushi metodom biotestirovaniya s ispol'zovaniem khlorofilla α [Recommendation 52.24.808-2014 Evaluation of the toxicity of exposed continental waters by bioassay method using chlorophyll α]. E.N. Bakaeva, N.A. Ignatova, G.G. Chernikova. (Eds.). Rostov-on-Don: Rosgidromet [Federal Service for Hydrometeorology and Environmental Monitoring] Publ., Gidrokhimicheskiy Institut [Hydrochemical Institute] Publ., 2014, 27 p. (In Russian).
16. R 52.24.662-2004 Otsenka toksicheskogo zagryazneniya prirodnikh vod i donnykh otlozheniy presnovodnykh ekosistem metodami biotestirovaniya s ispol'zovaniem kolovratok [Evaluation of the toxic pollution of natural waters and bottom sediments of freshwater ecosystems by bioassay methods using rotifers]. A.M. Nikanorov, E.N. Bakaeva, N.A. Ignatova, L.M. Khodurskaya. (Eds.). Moscow, 2006, 60 p. (In Russian).
17. Knyazeva T.V., Tambieva N.S., Kotova V.E. Reka Temernik: nekotorye ekotoksikanty i metody ikh kolichestvennoy otsenki [The Temernik River: some ecotoxic substances and the methods for their quantitative assessment]. In: *Ekologicheskiy monitoring opasnykh promyshlennykh ob"ektov: sovremennye dostizheniya, perspektivy i obespechenie ekologicheskoy bezopasnosti naseleniya : sbornik nauchnykh trudov po materialam Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii (g. Saratov, 11–13 dekabrya 2019 g.)* [Environmental monitoring of hazardous industrial facilities: present achievements, prospects and provision of ecological safety for the population. Collection of research papers based on the proceedings of the All-Russian Research and Practice Conference (Saratov, 11–13 December, 2019)]. Saratov: Saratovskiy gosudarstvennyy tekhnicheskii universitet im. Gagarina Yu.A. [Yuri Gagarin State Technical University of Saratov] Publ., Amirit, 2019, Part 2, 224 p. (In Russian).
18. RD 52.24.643-2002 Metod kompleksnoy otsenki stepeni zagryaznennosti poverkhnostnykh vod po gidrokhimicheskim pokazatelyam [Regulatory Document 52.24.643-2002 Method of comprehensive assessment of the pollution rate of exposed continental waters using hydrochemical indicators]. V.P. Emel'yanova, E.E. Lobchenko. (Eds.). Rostov-on-Don: Rosgidromet [Federal Service for Hydrometeorology and Environmental Monitoring] Publ., Gidrokhimicheskiy Institut [Hydrochemical Institute] Publ., 2002, 49 p. (In Russian).

Поступила 01.08.2020

Принята к печати 10.09.2020