



УДК 574.64(470.61)

ТОКСИЧНОСТЬ ВОДЫ УСТЬЕВОГО УЧАСТКА РЕКИ ДОН ПО НАБОРУ БИОТЕСТОВ

©2019 Е. Н. Бакаева^{1,2,3}, М. Н. Тарадайко^{1,2,3}, Н. А. Игнатова³, Н. С. Давыдова¹

¹Гидрохимический институт, Ростов-на-Дону 344090, Россия

²Южный федеральный университет, Институт наук о Земле, Ростов-на-Дону 344090, Россия

³Институт водных проблем РАН, Гидрохимический отдел, Ростов-на-Дону 344090, Россия

E-mail: rotaria@mail.ru

Аннотация. В настоящее время токсичность является важнейшей характеристикой качества поверхностных вод. Устьевому участку р. Дон свойственно изменение качества воды, формируемого под воздействием поступающих растворенных веществ антропогенного и природного происхождения с водами притоков Нижнего Дона и диффузным стоком с водосбора. Целью исследований явилось оценить токсичность воды устьевого участка р. Дон в пределах городов Аксай – Ростов-на-Дону – Азов в летние месяцы набором биотестов. Пробы воды были отобраны с судна по створам Росгидромета. Биотестирование проведено согласно ПНДФ Р и нормативным документам Росгидромета. Использованы автотрофные (микроводоросли *Chlorella vulgaris*, *Tetradesmus obliquus*, высшее растение *Raphanus sativus*) и гетеротрофные (*Daphnia magna*) тест-объекты. Количество токсичных проб в июле и августе было практически одинаковым. Области обнаружения токсичности воды в оба месяца были приурочены к местам водозабора и водосброса г. Ростов-на-Дону. Наиболее токсичными, не снижающими угнетающего действия даже после разбавления, оказались пробы воды ниже второго водосброса г. Ростов-на-Дону. Также в июле токсичность была выявлена выше впадения протоки Аксай и ниже водосброса г. Азов. Направленность действия неразбавленных тестируемых проб речной воды в августе сменилась на противоположное — стимулирующее, в сравнении с июльскими данными биотестирования. Отмечено усиление угнетающего, но не токсического действия воды по течению реки и с глубиной. Вода глубоких горизонтов характеризовалась острым токсическим действием. Вода отдельных точек оказывала разнонаправленное (угнетающее или стимулирующее) действие на разные тест-объекты. Наиболее чувствительным тест-объектом оказалась микроводоросль *Chlorella vulgaris* по тест-показателю оптической плотности, наименее — рачки *Daphnia magna* по показателю гибели. Изучение токсичности воды устьевого участка р. Дон необходимо проводить набором биотестов с тест-показателями более чувствительными, чем гибель. Токсичность воды на устьевом участке р. Дон в 2016 г., в сравнении с предшествующими двадцатилетними данными биотестовых исследований, снизилась.

Ключевые слова: токсичность, фитотоксичность, поверхностные воды, река Дон, набор биотестов

**WATER TOXICITY OF THE DON RIVER MOUTH AREA
BY BIOASSAY BATTERY DATA****E. N. Bakaeva^{1,2,3}, M. N. Taradayko^{1,2,3}, N. A. Ignatova³, N. S. Davydova¹**¹*Hydrochemical Institute, Rostov-on-Don 344090, Russia*²*Southern Federal University, Institute of Earth Sciences, Rostov-on-Don 344090, Russia*³*Water Problems Institute of the RAS, Hydrochemical Department, Rostov-on-Don 344090, Russia**E-mail: rotaria@mail.ru*

Abstract. At present, toxicity is one of the most important characteristics of surface water quality. The Don River mouth area is characterized by the change in surface water quality due to influence of the dissolved substances of anthropogenic and natural origin, incoming with the waters of the Lower Don River tributaries and diffused runoff from the water catchment basin. The research is aimed to assess water toxicity in the Don River mouth area from Aksay to Azov in the summer months by means of a bioassay battery. Water samples were collected using a vessel at the Roshydromet (Federal Service for Hydrometeorology and Environmental Monitoring of Russia) section line. Bioassay was carried out in accordance with the Federal Environmental Instruments of Russia and Roshydromet Regulations. Autotrophic (microalgae *Chlorella vulgaris*, *Tetrademus obliquus*, higher plant *Raphanus sativus*) and heterotrophic (*Daphnia magna*) test organisms were used. The number of toxic samples in July and August was almost the same. For both months, the areas, where water toxicity was detected, coincided with the places of water intake and sewage discharge of Rostov-on-Don city. Water samples, taken below the second discharge outlet of Rostov-on-Don, were most toxic and retained their inhibiting effect even after dilution. In July, toxicity was also detected above the confluence of the Aksay River branch with the Don River and below the discharge outlet of the city of Azov. In August, the effect of undiluted water samples changed to the inverse and became stimulating, as opposed to the July bioassay data. An increase in the inhibiting but non-toxic effect of water downstream and with depth was noted. Deep water layers were characterized by acute toxic effects. The water at individual sampling sites had diverse (inhibiting or stimulating) effects on different test subjects. By optical density endpoint, the most sensitive test subject was *Chlorella vulgaris*; by mortality endpoint, the least sensitive ones were *Daphnia magna* crustaceans. The study of water toxicity in the mouth area of the Don River is necessary to carry out using bioassay battery with endpoints more sensitive than mortality. Water toxicity at the mouth area of the Don River in 2016 decreased compared with the water toxicity data based on bioassay from the previous twenty-year period.

Keywords: toxicity, phytotoxicity, surface water, Don River, bioassay battery

ВВЕДЕНИЕ

Одной из важных характеристик качества воды поверхностных водных объектов является токсичность, которая как свойство компонентов природной среды была выявлена и начала рассматриваться в прошлом веке. К сожалению, в настоящее время токсичность компонентов окружающей среды не только сохраняется, но и усиливается.

Нижний Дон по мере продвижения вниз по течению от плотины Цимлянской ГЭС до устья характеризуется изменением качества воды, которое обуславливается, прежде всего, процессами поступления растворенных веществ антропогенного и природного происхождения с водами притоков Нижнего Дона и диффузным стоком с водосбора. Важными источниками загрязнения устьевого участка р. Дон в пределах городов Аксай – Ростов-на-Дону – Азов являются сточные воды предприя-

тий жилищно-коммунального комплекса, автомобильной, химической промышленности, рыбного и сельского хозяйства. Значительное влияние на качество воды оказывают также интенсивное судоходство и маломерный флот [1].

На протяжении последних лет качество воды на участке р. Дон от г. Аксай до водосбора г. Азов по гидрохимическим показателям относилось к 3–4 классам, характеризуясь в отдельные годы разрядами 3б и 4а, и вода оценивалась как «очень загрязненная» и «грязная», соответственно. По аналитическим данным на участке наблюдений значение удельного комбинаторного индекса загрязнения воды (УКИЗВ) в среднем составляло 4,05 [2].

Независимо от природы загрязняющих веществ, токсичность проявляется только в отношении живых существ, в связи с чем требует использования биологических методов для ее выявления и ис-

следования: в первую очередь, метода биотестирования. Биотестовые исследования воды на устьевом участке р. Дон в 80–90-е гг. прошлого века выявляли токсичность воды эпизодически [3]. Тем не менее в десяти из одиннадцати створов вода проявляла токсическое действие. Токсичность и ее степень (острое, хроническое токсическое действие), а также направленность (угнетение, стимуляция) проявлялась по-разному в отношении разных тест-объектов. Проводимые нами позднее — с 1995 по 2007 г. — регулярные биотестовые исследования токсичности участка р. Дон в пределах г. Ростов-на-Дону в целом выявили снижение токсичности речной воды [4–6]. В 1995 г. вода была наиболее токсичной в сравнении с последующими годами. Во всех створах тестируемая вода тогда проявляла наиболее высокую степень токсического действия — острое. В последующие 12 лет наблюдалось улучшение ситуации в пунктах Александровка (водозабор, № 2), после впадения р. Темерник (№ 3), Кумженская роща (ниже водосброса, № 5). Тенденция к снижению токсичности речной воды за двенадцатилетний период (1995–2007 гг.) подтверждалась гидрохимическими данными, также имевшими положительную тенден-

цию. Качество вод согласно классификации по аналитическим методам изменилось от «грязного» (4а) в 1998 г. до «загрязненного» (3а) в 2006 г. [4–6].

Как правило, при изучении токсичности поверхностных вод применяли только один биотест, т. е. токсичность оценивали по отклику только одного представителя биоты. Такой подход, несомненно, не обеспечивает в достаточной мере адекватность получаемой информации, поэтому требуется использование набора биотестов (bioassay battery) [7–9]. В связи с этим цель наших исследований заключалась в оценке токсичности воды устьевого участка р. Дон в пределах городов Аксай – Ростов-на-Дону – Азов в летние месяцы набором биотестов.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В основу работы положены собственные данные о токсичности воды устьевого участка р. Дон от г. Аксай до г. Азов в июле и августе 2016 г., полученные методом биотестирования, и гидрохимическая информация, предоставленная Донской устьевой гидрометеорологической станцией г. Азов. Отбор проб воды проведен в соответствии с наблюдательной сетью Росгидромета (табл. 1).

Таблица 1. Нумерация проб воды и расположение точек отбора на устьевом участке р. Дон

Table 1. Number assignment for water samples and the locations of sampling points in the Don River mouth area

№ пробы Sample No	Расположение точек отбора проб Location of sampling points	Горизонт, м Sampling depth, m	Июль July	Август August
1	2	3	4	5
1	Р. Дон, г. Ростов-на-Дону, выше протоки Аксай The Don River, Rostov-on-Don, upstream of the Aksay River branch	0,3	+	+
2	Р. Дон, г. Ростов-на-Дону, выше нового водозабора The Don River, Rostov-on-Don, upstream of the new water intake	0,3	+	+
3	Р. Дон, г. Ростов-на-Дону, ниже впадения р. Темерник The Don River, Rostov-on-Don, downstream of the confluence with the Temernik River	0,3	+	+
4		9,0	–	+
5	Р. Дон, г. Ростов-на-Дону, 100 м ниже 2-го водосброса The Don River, Rostov-on-Don, 100 m downstream of the 2 nd discharge outlet	0,3	+	+
6	Р. Дон, г. Ростов-на-Дону, 500 м ниже 2-го водосброса The Don River, Rostov-on-Don, 500 m downstream of the 2 nd discharge outlet	0,3	–	+
7		4,5	–	+
8	Р. Дон, г. Ростов-на-Дону, 900 м ниже 2-го водосброса The Don River, Rostov-on-Don, 900 m downstream of the 2 nd discharge outlet	0,3	+	+

Таблица 1 (окончание)

Table 1 (finished)

1	2	3	4	5
9	Р. Дон, хутор Колузаево The Don River, Kholuzaevo farm	0,3	+	–
11	Рукав Старый Дон, г. Азов, водозабор The Old Don River branch, Azov, water intake	0,3	+	–
12	Рукав Старый Дон, г. Азов, на 100 м ниже водосброса The Stary Don River Arm, Azov, 100 m downstream of a discharge outlet	0,3	+	–
13	Рукав Старый Дон, г. Азов, на 500 м ниже водосброса The Stary Don River Arm, Azov, 500 m downstream of a discharge outlet	0,3	+	–
15	Рукав Старый Дон, г. Азов, на 900 м ниже водосброса The Stary Don River Arm, Azov, 900 m downstream of a discharge outlet	0,3	+	–
16	Рукав Большая Каланча, хутор Дугино The Bolshaya Kalancha River Arm, Dugino farm	0,3	+	–

Биотестирование выполняли по набору методик с представителями организмов различных трофических уровней и таксономической принадлежности. Тест-объектами служили следующие организмы: зеленая микроводоросль *Chlorella vulgaris* Beijerinck, 1890 с тест-показателем «оптическая плотность культуры» клеток [10], зеленая микроводоросль *Tetrademus obliquus* (Turpin) M.J. Wynne, 2016 (*Scenedesmus obliquus* (Turpin) Kützing, 1833) [11] с тест-показателем «коэффициент прироста численности клеток», высшее растение *Raphanus sativus* var. *radicula* Persoon, 1806, тест-показателями которого были метрические характеристики (длина корней и стеблей) и биологические (всхожесть и количество побегов) — биотест по фитотоксичности [8], ветвистоусый рачок *Daphnia magna* Straus, 1820 с тест-показателем «гибель» [12].

Количество повторностей и критерии токсичности биотестового анализа соответствовали используемым методикам. Тестировали неразбавленные и разбавленные в два раза пробы воды.

В контрольной серии использовали дехлорированную водопроводную воду. Отклонения значений тест-показателей в сериях с тестируемой водой от контрольной серии могут иметь знаки «минус» и «плюс». Отрицательные значения отклонений свидетельствуют об угнетающем действии, положительные — о стимулирующем.

Критерием токсичности в биотесте по тест-показателю оптической плотности микроводоросли служили значения отклонений менее «минус» 20 % и свыше 30 %, по тест-показателю гибели

дафний — 50 %, по тест-показателям в биотесте по фитотоксичности — ± 50 %. Критерием токсичности по коэффициенту прироста численности клеток микроводоросли служило отклонение ± 50 %. Токсическое действие спустя одни сутки характеризовалось как острое, спустя трое суток — подострое, в течение более семи суток — хроническое. Итоговую оценку токсичности проводили по биотесту с тест-объектом, проявившим наибольшую чувствительность.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Токсичность речной воды в июле. Проведенное в июле предварительное исследование токсичности воды в одиннадцати точках участка р. Дон в пределах городов Ростов-на-Дону и Азов с использованием двух биотестов выявило ингибирующее действие всех неразбавленных тестируемых проб воды на микроводоросль *Chlorella vulgaris* (рис. 1). Однако угнетение было выражено в разной степени. Отклонение значений тест-показателя оптической плотности культуры микроводоросли в исследуемых пробах от контрольной серии варьировало в пределах «минус» 10–48 %. Токсичной оказалась вода из точек, расположенных выше впадения протоки Аксай (№ 1), нового водозабора г. Ростов-на-Дону (№ 2), ниже водосбросов г. Ростов-на-Дону (№ 5, 8) и г. Азов (№ 12, 15). Наиболее выраженное токсическое действие воды отмечалось в точке на 900 м ниже второго водосброса г. Ростов-на-Дону (№ 8).

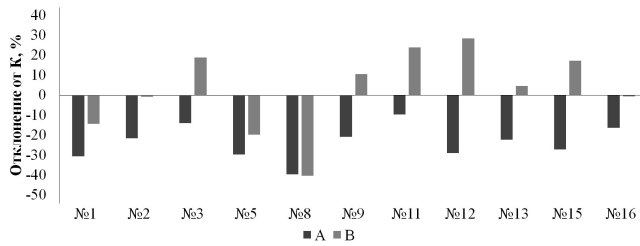


Рис. 1. Результаты биотестирования неразбавленных (А) и разбавленных в два раза (В) проб воды устьевого участка р. Дон по оптической плотности *Chlorella vulgaris*, июль 2016 г.

Fig. 1. Bioassay results for undiluted (A) and two-fold diluted (B) water samples from the Don River mouth area by optical density endpoint of *Chlorella vulgaris*, July 2016

Разбавленные в два раза пробы воды из различных точек отбора оказывали разнонаправленное действие. Наблюдалась тенденция к их стимулирующему действию на развитие микроводоросли *Chlorella vulgaris* в точке после впадения р. Темерник (№ 3) и далее по течению в пяти точках, расположенных ниже второго водосброса г. Ростов-на-Дону, от хутора Колузаево до водосброса г. Азов. Однако значения отклонений от контрольной серии не превышали критериев токсичности.

Разбавленные пробы воды оказывали также и угнетающее действие на развитие микроводорослей *Chlorella vulgaris* в точках выше протоки Аксай (№ 1), в 100 и 500 м ниже второго водосброса г. Ростов-на-Дону (№ 5, 8). Однако в точках № 5 и 8 токсичность сохранилась.

Данные биотестирования с *Daphnia magna* свидетельствовали об отсутствии токсического действия воды во всех неразбавленных и разбавленных пробах.

Таким образом, вода, отобранная в июле, оказывала токсическое действие в 55 % тестируемых проб по показателю оптической плотности культуры микроводоросли *Chlorella vulgaris*.

Токсичность речной воды в августе. Учитывая результаты проведенного в июле биотестового изучения токсичности речной воды, выявившего токсическое действие ряда проб, следующие наблюдения были проведены в августе с использованием набора биотестов на более коротком участке р. Дон в пределах г. Ростов-на-Дону.

В августе все неразбавленные тестируемые пробы речной воды оказывали противоположное, в сравнении с июльскими данными биотестирования, действие на развитие микроводорослей по показателю

оптической плотности (рис. 2) — стимулирующее, а не токсическое. При разбавлении в два раза стимулирующее действие воды сохранялось. Токсичной оказалась только вода пробы № 3 ниже впадения р. Темерник.

Стимулирующее действие проб воды, отобранных в августе, на развитие микроводорослей по показателю оптической плотности может быть связано с высоким содержанием органических веществ, определенных по ХПК и БПК₅. Значения гидрохимических показателей на изучаемом участке, свидетельствующие о наличии органического загрязнения, возрастали от верхнего створа № 1 близ г. Аксай к створу № 3, расположенному в р. Дон после впадения р. Темерник. Так, значения показателя БПК₅ превышали ПДК и изменялись в пределах от 2,69 до 3,5 мг О₂/дм³ (ПДК=2,1 мг О₂/дм³). Значения показателя ХПК варьировали от 33,7 до 44,3 мг О₂/дм³. Норматив ПДК для ХПК в водах водных объектов рыбохозяйственного значения утвержден на уровне 30 мг О₂/дм³ [13]. Кроме того, увеличивалось количество взвешенных веществ с 14 до 26 мг/дм³, в то время как концентрация растворенного кислорода снижалась с 7,25 до 6,59 мг О₂/дм³ при нормативе 6,0 мг О₂/дм³. Значения рН отличались незначительно и находились в пределах 7,79–7,91. Температура была на уровне 27 °С.

В биотесте со вторым микроводорослевым тест-объектом *Tetradesmus obliquus* по показателю коэффициента прироста численности выявлено, напро-

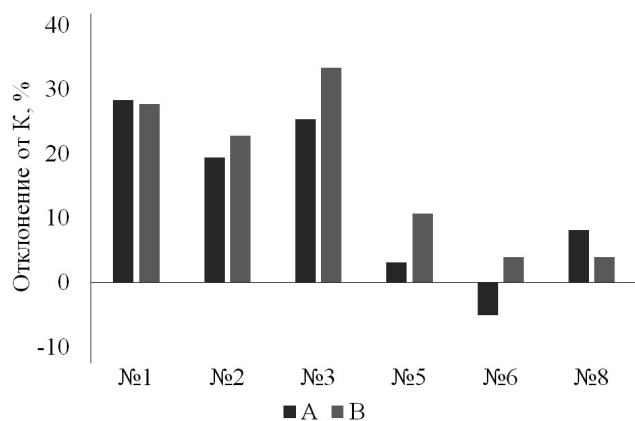


Рис. 2. Результаты биотестирования неразбавленных (А) и разбавленных в два раза (В) проб воды устьевого участка р. Дон по оптической плотности *Chlorella vulgaris*, август 2016 г.

Fig. 2. Bioassay results for undiluted (A) and two-fold diluted (B) water samples from the Don River mouth area by optical density endpoint of *Chlorella vulgaris*, August 2016

тив, в основном угнетающее действие воды, отобранной в августе (рис. 3). Стимулирующий токсический эффект на развитие микроводоросли был отмечен только в пробе № 2 выше нового водозабора г. Ростов-на-Дону.

В отношении другого автотрофного тест-объекта — представителя высших растений (*Raphanus sativus*) — тестируемые пробы воды оказывали угнетающее действие как на биологические, так и на метрические показатели. Тем не менее отклонения от контроля значений тест-показателей не превышали критических, вследствие чего пробы воды в исследуемых точках характеризовались отсутствием фитотоксичности.

На тест-объект из представителей зоопланктона (*Daphnia magna*) тестируемые воды не оказывали угнетающее токсическое действие.

Таким образом, тестируемая в августе неразбавленная речная вода оказывала разнонаправленное действие на использованные тест-объекты: в разной степени угнетающее действие на метрические и биологические показатели *Raphanus sativus*, выживаемость *Daphnia magna*, коэффициент прироста микроводорослей *Tetradismus obliquus* и стимулирующее действие на *Chlorella vulgaris* по показателю оптической плотности. По результатам набора биотестов вода из точек выше нового водо-

забора г. Ростов-на-Дону (№ 2), ниже впадения р. Темерник (№ 3, 4) и ниже 500 м второго водосброса г. Ростов-на-Дону (№ 7) может быть отнесена к токсичной.

Разбавленная в два раза вода оказывала стимулирующее действие только на микроводорослевый тест-объект *Chlorella vulgaris*. Токсичность разбавленной воды выявлена в точке ниже впадения р. Темерник (№ 3) (рис. 2).

Токсичность речной воды разных горизонтов в августе. Токсичность воды поверхностного горизонта (0,3 м) и глубоких горизонтов (4,5 и 9 м) в августе была изучена в двух точках отбора с использованием трех тест-объектов. В воде всех горизонтов (№ 3, 4) в точке ниже впадения р. Темерник и в точке на 500 м ниже второго водосброса г. Ростов-на-Дону (№ 6, 7) фитотоксичность воды не была обнаружена. Тем не менее по метрическим тест-показателям (длина стеблей, длина корней) прослеживалась тенденция к большему угнетению растений в пробах воды как из точек, расположенных ниже по течению, так и с увеличением глубины (рис. 4). Однако отклонения от контроля не превышали установленных критериев токсичности.

По коэффициенту прироста микроводоросли *Tetradismus obliquus* токсичность проб воды горизонтов отличалась. В первые сутки биотестирова-

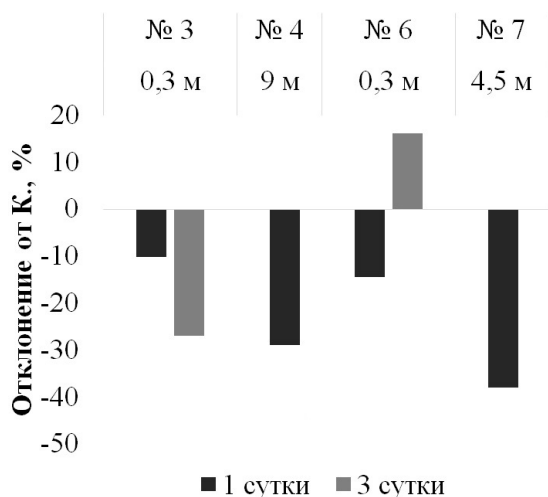


Рис. 3. Результаты биотестирования проб воды р. Дон разных горизонтов в пределах г. Ростов-на-Дону по показателю коэффициента прироста численности клеток *Tetradismus obliquus*, август 2016 г.

Fig. 3. Bioassay results for the water samples from the Don River mouth area, taken at different depths, by *Tetradismus obliquus* cell growth rate endpoint, August 2016

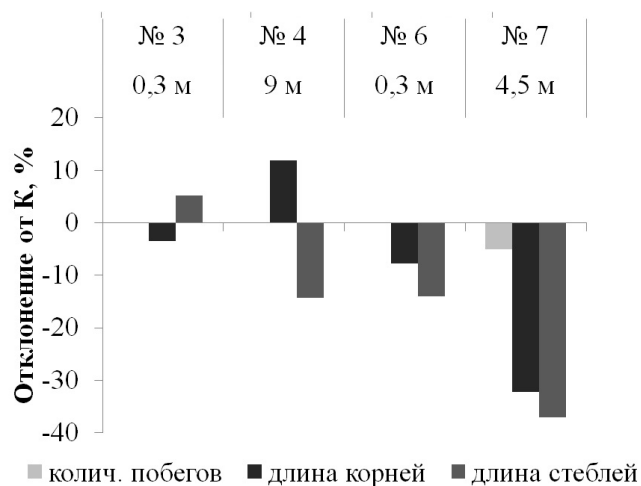


Рис. 4. Результаты биотестирования проб воды р. Дон разных горизонтов в пределах г. Ростов-на-Дону по метрическим и биологическим показателям *Raphanus sativus* (редис), август 2016 г.

Fig. 4. Bioassay results for the water samples from the Don River mouth area, taken at different depths, by *Raphanus sativus* (radish) metric and biological endpoints, August 2016

ния обнаружено острое токсическое действие воды в пробах глубоких горизонтов № 4 и 7 (см. рис. 3). Согласно методике, биотестирование этих проб было прекращено, но продолжено в пробах № 3 и 6, что позволило выявить подострое токсическое действие воды поверхностного горизонта (№ 3) в точке ниже впадения р. Темерник (см. рис. 3). При разбавлении токсичность воды устранялась в пробах № 4 и 7.

По биотесту с *Daphnia magna*, представителем рачков-фильтраторов, токсическое действие не было обнаружено ни в одной из тестируемых проб воды всех горизонтов.

Таким образом, по результатам биотестирования воды разных горизонтов р. Дон набором биотестов, выявлена токсичность воды только по одному биотесту с микроводорослью *Tetrademus obliquus*. Однако отмечена тенденция к усилению угнетающего действия речной воды с глубиной и по тече-

нию реки согласно данным биотеста по фитотоксичности.

Сравнительный анализ результатов биотестовых исследований, проведенных в 2016 г., с данными предшествующих двадцати лет [3, 4] свидетельствует о некотором улучшении токсикологической ситуации на устьевом участке р. Дон.

Анализ результатов исследования токсичности воды устьевого участка р. Дон в пределах городов Аксай – Ростов-на-Дону – Азов набором биотестов позволил выявить отличия токсичности в июле и августе по степени и направленности действия (табл. 2). Наиболее чувствительным тест-показателем оказалась оптическая плотность культуры микроводоросли, поэтому итоговая оценка дана по биотесту с *Chlorella vulgaris*.

Количество токсичных проб в течение обоих месяцев исследований было практически одинаковым: 55 % — в июле, 50 % — в августе, однако

Таблица 2. Итоговая оценка токсичности проб воды на устьевом участке р. Дон по результатам набора биотестов

Table 2. The final assessment of the water samples toxicity from the mouth area of the Don River based on the results of a bioassay battery

№ пробы Sample number	Горизонт, м Sampling depth, m	Июль / July		Август / August	
		Неразбавленные пробы Undiluted samples	Пробы, разбавленные в два раза Two-fold diluted samples	Неразбавленные пробы Undiluted samples	Пробы, разбавленные в два раза Two-fold diluted samples
1	0,3	ТД ↓	↓ нет ТД	↑ нет ТД	↑ нет ТД
2	0,3	ТД ↓	нет ТД	↑ ТД	↑ нет ТД
3	0,3	нет ТД	↑ нет ТД	↑ П/ОТД	↑ ТД
4	9,0	–	–	↑ ОТД	нет ТД
5	0,3	ТД ↓	↓ ТД	↑ нет ТД	↑ нет ТД
6	0,3	–	–	↑ нет ТД	↑ нет ТД
7	4,5	–	–	↑ ОТД	нет ТД
8	0,3	ТД ↓	↓ ТД	↑ нет ТД	↑ нет ТД
9	0,3	нет ТД ↓	↑ нет ТД	–	–
11	0,3	нет ТД ↓	↑ нет ТД	–	–
12	0,3	ТД ↓	↑ нет ТД	–	–
13	0,3	нет ТД	↑ нет ТД	–	–
15	0,3	ТД ↓	↑ нет ТД	–	–
16	0,3	нет ТД ↓	нет ТД	–	–

ТД — токсическое действие, нет ТД — токсическое действие отсутствует, ОТД — острое токсическое действие, П/ОТД — подострое токсическое действие

Расположение точек отбора проб указано в табл. 1

↑ — стимулирующее действие, ↓ — угнетающее действие

ТД — toxic effect, нет ТД — no toxic effect, ОТД — acute toxic effect, П/ОТД — subacute toxic effect

Sample locations are listed in table 1

↑ — stimulating effect, ↓ — inhibiting effect

направленность токсического действия отличалась. Неразбавленная вода тестируемых проб в июле оказывала на показатель оптической плотности *Chlorella vulgaris* угнетающее токсическое действие, а в августе — стимулирующее. При разбавлении в два раза проб воды, отобранных в июле, направленность действия сменялась на стимулирующее; в августе стимулирующее действие сохранялось.

ВЫВОДЫ

Обобщение и анализ результатов исследования токсичности воды устьевого участка р. Дон набором биотестов позволили сделать ряд выводов.

- 1) Количество токсичных проб в июле и августе было практически одинаковым. Области обнаружения токсичности воды в течение обоих месяцев были приурочены к местам водозабора (№ 2) и сброса сточных вод водоканала г. Ростов-на-Дону (№ 5, 7, 8). Наиболее токсичными, не снижающими угнетающего действия даже после разбавления, оказались пробы воды в 100 м (№ 5) и в 500 м (№ 8) ниже второго водосброса г. Ростов-на-Дону. Кроме того, в июле токсичность была выявлена выше впадения протоки Аксай (№ 1) и ниже водосброса г. Азов (№ 12, 15).
- 2) В сравнении с июльскими данными биотестирования, направленность действия неразбавленных тестируемых проб речной воды в августе сменилась с токсической на стимулирующую. Токсичными оказались пробы воды ниже впадения р. Темерник (№ 3, 4), в 500 м ниже второго водосброса г. Ростов-на-Дону (№ 7). Стимулирующее действие воды по результатам биотестирования, вероятно, связано с органическим загрязнением, которое подтверждается значениями показателей БПК₅ и ХПК, превышавших ПДК до 1,5 раз в период исследований.
- 3) Вода вниз по течению реки, а также с увеличением глубины в биотесте по фитотоксичности с *Raphanus sativus* усиливала угнетающее, но не токсическое действие. Вода глубоких горизонтов характеризовалась острым токсическим действием в биотесте с микроводорослью *Tetradesmus obliquus*.
- 4) Вода отдельных точек оказывала разнонаправленное (как угнетающее, так и стимулирующее) действие на разные тест-объекты. Наиболее чувствительным тест-объектом

оказалась микроводоросль *Chlorella vulgaris* по тест-показателю оптической плотности, наименее — рачки *Daphnia magna* по показателю гибели. Следовательно, изучение токсичности воды устьевого участка р. Дон необходимо проводить набором биотестов с тест-показателями более чувствительными, чем гибель *Daphnia magna*.

- 5) Вода ряда точек оказывала разнонаправленное действие на использованные автотрофные тест-объекты. Выявлена тенденция к стимулирующему действию на микроводоросль *Chlorella vulgaris* по тест-показателю оптической плотности и к угнетающему действию по метрическим тест-показателям высшего растения *Raphanus sativus*.
- 6) Токсичность воды на устьевом участке р. Дон в 2016 г., в сравнении с предшествующими двадцатилетними данными биотестовых исследований, снизилась.

В связи с тем, что токсичность воды поверхностных водных объектов — характеристика очень изменчивая, формируемая множеством факторов и неодинаково действующая на разных представителей гидробиоты, необходимо проводить не однократные, а регулярные наблюдения с использованием набора биотестов. Дальнейшие исследования авторов будут направлены на изучение сезонной токсичности воды устьевого участка р. Дон.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Экологический вестник Дона 2014. О состоянии окружающей среды и природных ресурсов Ростовской области в 2013 году / Под ред. В.Н. Василенко, Г.А. Урбан, А.Г. Куренкова, С.В. Толчеевой, С.Ю. Покуля. Ростов-н/Д.: Синтез технологий, 2014. 378 с.
2. Экологический вестник Дона 2017. О состоянии окружающей среды и природных ресурсов Ростовской области в 2016 году / Под ред. В.Г. Гончарова, Г.А. Урбан. Ростов-н/Д.: МС, 2017. 369 с.
3. Хоружая Т.А., Миронова Т.В., Бакаева Е.Н. Экосистема Нижнего Дона: многолетние изменения качества воды. Раздел 7. Анализ токсического загрязнения водных объектов бассейна Нижнего Дона. СПб: Гидрометеоздат, 2006. С. 168–194.
4. Игнатова Н.А. Оценка токсичности вод и донных отложений антропогенно загрязненных экосистем методом биотестирования (на примере бассейна Нижнего Дона) : автореф. дис. канд. биол. наук. Ростов-н/Д.: Изд-во Южного федерального университета, 2009. 24 с.
5. Бакаева Е.Н., Игнатова Н.А. Эколого-токсикологическое состояние нижнего течения р. Дон // Антропо-

- погенное влияние на водные организмы и экосистемы : матер. III Всерос. конф. по водной токсикологии (г. Борок. 11–16 ноября, 2008). Ярославль: Ярославский двор, 2008. С. 193–197.
6. Бакаева Е.Н., Игнатова Н.А. Оценка токсичности вод методом биотестирования: вопросы методического обеспечения // Экология. Экономика. Информатика : матер. конф. (п. Дюрсо, 8–13 сентября 2008 г.). Ростов-н/Д.: Изд-во Центров валеологии вузов России, 2008. С. 93–95.
 7. Бакаева Е.Н., Никаноров А.М., Игнатова Н.А. Анализ токсичности поверхностных вод бассейна Нижнего Дона в черте г. Ростова-на-Дону по многолетним данным биотестирования // Водные ресурсы. 2015. Т. 42, № 1. С. 63–70. doi: 10.7868/S0321059615010022.
 8. Бакаева Е.Н., Тарадайко М.Н. Экоотоксичность поверхностных вод бассейна р. Северский Донец (Ростовская область) по результатам набора биотестов // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Естественные науки. 2016. № 4. С. 57–61.
 9. РД 52.24.868-2017 Использование методов биотестирования воды и донных отложений водотоков и водоемов. Ростов-н/Д., 2017. 57 с.
 10. ПНД Ф Т 14.1:2:3:4.10-04 Т 16.1:2:2.3:3.7-04 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. М., 2014. 36 с.
 11. Р 52.24.690-2006 Оценка токсического загрязнения вод водотоков и водоемов различной солености и зон смешения речных и морских вод методами биотестирования. Ростов-н/Д.: Изд-во Росгидромета, изд-во ГХИ, 2006. 36 с.
 12. ПНД Ф Т 14.1:2:4.12-06 Т 16.1:2.3:3.9-06. Токсикологические методы анализа. Методика определения острой токсичности питьевых, пресных природных и сточных вод, водных вытяжек из почв, осадков сточных вод и отходов по смертности дафний (*Daphnia magna* Straus). М., 2011. 46 с.
 13. Приказ Министерства сельского хозяйства Российской Федерации от 13 декабря 2016 года № 552 «Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения» (с изменениями на 12 октября 2018 года). URL: <http://docs.cntd.ru/document/420389120> (дата обращения 03.10.2019).
- ## REFERENCES
1. *Ekologicheskiy vestnik Dona* 2014. O sostoyanii okruzhayushchey sredy i prirodnykh resursov Rostovskoy oblasti v 2013 godu [Ecological Bulletin of the Don for 2014. The state of the environment and natural resources in the Rostov Region in 2013]. V.N. Vasilenko, G.A. Urban, A.G. Kurenkov, S.V. Tolcheeva, S.Yu. Pokul'. (Eds.). Rostov-on-Don: Sintez tekhnologiy [Synthesis of Technology], 2014, 378 p. (In Russian).
 2. *Ekologicheskiy vestnik Dona* 2017. O sostoyanii okruzhayushchey sredy i prirodnykh resursov Rostovskoy oblasti v 2016 godu [Ecological Bulletin of the Don for 2017. The state of the environment and natural resources in the Rostov Region in 2016]. V.G. Goncharov, G.A. Urban. (Eds.). Rostov-on-Don: MS, 2017, 369 p. (In Russian).
 3. Khoruzhaya T.A., Mironova T.V., Bakaeva E.N. Ekosistema Nizhnego Dona: mnogoletnie izmeneniya kachestva vody. Razdel 7. Analiz toksicheskogo zagryazneniya vodnykh ob'ektov basseyna Nizhnego Dona [Ecosystem of the Lower Don: long-term changes in water quality. Section 7. Analysis of the toxic pollution of the water bodies in the Lower Don Basin]. Saint-Petersburg: Gidrometeoizdat [Hydrometeorological Publishing House], 2006, pp. 168–194. (In Russian).
 4. Ignatova N.A. Otsenka toksichnosti vod i donnykh otlozheniy antropogенно zagryaznennykh ekosistem metodom biotestirovaniya (na primere basseyna Nizhnego Dona) : avtoref. 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). Extended abstract of Candidate's (Biology) Thesis]. Rostov-on-Don: Yuzhnyy federal'nyy universitet [Southern Federal University] Publ., 2009, 24 p. (In Russian).
 5. Bakaeva E.N., Ignatova N.A. Ekologo-toksikologicheskoe sostoyanie nizhnego techeniya r. Don [Ecological and toxicological state of the Lower Don reaches]. In: *Antropogенное vliyanie na vodnye organizmy i ekosistemy : materialy III Vserossiyskoy konferentsii po vodnoy toksikologii (g. Borok. 11–16 noyabrya, 2008)* [Anthropogenic pressure on aquatic organisms and ecosystems. Proceedings of the 3rd All-Russian Conference on water toxicology (Borok, 11–16 November, 2008)]. Yaroslavl: Yaroslavskiy dvor [Yaroslavl Printing Yard], 2008, pp. 193–197. (In Russian).
 6. Bakaeva E.N., Ignatova N.A. Otsenka toksichnosti vod metodom biotestirovaniya: voprosy metodicheskogo obespecheniya [Assessment of water toxicity using bioassay battery: issues of methodological substantiation]. In: *Ekologiya. Ekonomika. Informatika : materialy konferentsii (p. Dyurso, 8–13 sentyabrya 2008 g.)* [Ecology. Economy. Informatics. Proceedings of the Conference (Dyurso, 8–13 September, 2008)]. Rostov-on-Don: Tsentry vалеologii vuzov Rossii [Centers of Higher Valeological Education in Russia] Publ., 2008, pp. 93–95. (In Russian).

7. Bakaeva E.N., Nikanorov A.M., Ignatova N.A. Analiz toksichnosti poverkhnostnykh vod basseyna Nizhnego Dona v cherte g. Rostova-na-Donu po mnogoletnim dannym biotestirovaniya [Toxicity analysis of surface water in the Lower Don Basin in Rostov-on-Don City by long-term bioassay data]. *Vodnye resursy [Water Resources]*, 2015, vol. 42, no. 1, pp. 63–70. doi: 10.7868/S0321059615010022. (In Russian).
8. Bakaeva E.N., Taradayko M.N. Ekotoksichnost' poverkhnostnykh vod basseyna r. Severskiy Donets (Rostovskaya oblast') po rezul'tatam nabora biotestov [Ecotoxicity of surface waters of the Seversky Donets River Basin (Rostov Region) by bioassays kit results]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Severo-Kavkazskiy region. Seriya: Estestvennye nauki [University News. North-Caucasian Region. Natural Sciences Series]*, 2016, no. 4, pp. 57–61. (In Russian).
9. 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]. Rostov-on-Don, 2017, 57 p. (In Russian).
10. PND F T 14.1:2:3:4.10-04 T 16.1:2:2.3:3.7-04 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]. Moscow, 2014, 36 p. (In Russian).
11. R 52.24.690-2006 Otsenka toksicheskogo zagryazneniya vod vodotokov i vodoemov razlichnoy solenosti i zon smeshcheniya rechnykh i morskikh vod metodami biotestirovaniya [Recommendation 52.24.690-2006 Assessment of toxic pollution of water courses and water bodies of various salinity and of mixing zones of river and sea waters using bioassay methods]. Rostov-on-Don: Rosgidromet [Federal Service for Hydrometeorology and Environmental Monitoring] Publ., Gidrokhimicheskiy Institut [Hydrochemical Institute] Publ., 2006, 36 p. (In Russian).
12. PND F T 14.1:2:4.12-06 T 16.1:2.3:3.9-06 Toksikologicheskie metody analiza. Metodika opredeleniya ostroy toksichnosti pit'evykh, presnykh prirodnykh i stochnykh vod, vodnykh vytyazhek iz pochv, osadkov stochnykh vod i otkhodov po smertnosti dafniy (*Daphnia magna* Straus) [Federal Environmental Regulatory Document T 14.1:2:4.12-06 Toxicological control methods T 16.1:2.3:3.9-06 Toxicological methods of analysis. Methods for determining the acute toxicity of drinking, fresh natural and waste water, water extracts from soils, sewage sludge and waste by daphnia mortality (*Daphnia magna* Straus)]. Moscow, 2011, 46 p. (In Russian).
13. Prikaz Ministerstva selskogo khozyaystva Rossiyskoy Federatsii ot 13 dekabrya 2016 goda No. 552 "Ob utverzhdenii normativov kachestva vody vodnykh ob'ektov rybokhozyaystvennogo znacheniya, v tom chisle normativov predel'no dopustimykh kontsentratsiy vrednykh veshchestv v vodakh vodnykh ob'ektov rybokhozyaystvennogo znacheniya" [Order of the Ministry of Agriculture of the Russian Federation dated December 13, 2016 No. 552 "On approval of water quality standards for water bodies used for fishery, including standards on maximal allowable concentrations of hazardous substances in water of water bodies used for fishery"]. Available at: <http://docs.cntd.ru/document/420389120> (accessed 03.10.2019). (In Russian).

Поступила 08.10.2019

Принята к печати 29.10.2019