

Водные биоресурсы и среда обитания

2021, том 4, номер 1, с. 7–18

<http://journal.azniirkh.ru>, www.azniirkh.ru

doi: 10.47921/2619-1024_2021_4_1_7

ISSN 2618-8147 print, ISSN 2619-1024 online



Aquatic Bioresources & Environment

2021, vol. 4, no. 1, pp. 7–18

<http://journal.azniirkh.ru>, www.azniirkh.ru

doi: 10.47921/2619-1024_2021_4_1_7

ISSN 2618-8147 print, ISSN 2619-1024 online

Экологические проблемы и состояние водной среды

УДК 574:504.453:4.054 (470.61)

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ВОД МАЛЫХ РЕК БАСЕЙНОВ СЕВЕРСКОГО ДОНЦА И ТУЗЛОВА ПО БИОТИЧЕСКИМ ИНДЕКСАМ

© 2021 Е. Н. Бакаева, М. Н. Тарадайко

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

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

Гидрохимический институт, Ростов-на-Дону 344090, Россия

E-mail: rotaria@mail.ru

Аннотация. Реструктуризация угледобывающей отрасли, начавшаяся в 90-е гг. прошлого века, имела скорее негативные последствия для экологической обстановки на территории Восточного Донбасса в пределах Ростовской области. Водные экосистемы рек с малой водностью и низкой разбавляющей способностью характеризуются слабой устойчивостью перед антропогенным воздействием. Отобраны пробы макрозообентоса на участках с разной антропогенной нагрузкой в 18 створах малых рек бассейнов Северского Донца и Тузлова: верховья, места ниже выхода шахтных вод, устья. На основе сопоставления значений биотических индексов Вудивисса, Пареле, Гуднайта–Уитли, Майера на этих трех участках выявлены створы с разной степенью загрязнения вод. «Чистыми» характеризовались воды 47 % створов по значениям индекса Гуднайта–Уитли и 27 % створов — по индексу Пареле. Наибольшее совпадение в оценке загрязнения вод по индексам было по степени «грязные». К этой степени загрязнения отнесены воды 62 % устьев рек, 50 % створов, расположенных ниже выхода шахтных вод, и 17 % верховьев. По всем индексам воды большей части створов отнесены к степени «грязные». Однако имеется разница. Так, по индексам Майера «грязными» были воды 94 % створов, по индексу Вудивисса — 89 %, по индексу Пареле — 47 % и всего 33 % створов — по индексу Гуднайта–Уитли. Неоднозначность в оценке загрязнения вод по биотическим индексам наблюдалась в отношении пяти из 18 исследованных створов. Итоговую оценку давали по индексу с наиболее негативным результатом. Для территории Восточного Донбасса с учетом категории малых рек, зоогеографических особенностей, последствий реструктуризации угледобывающей отрасли и сельскохозяйственной направленности региона индикаторными показателями органического загрязнения вод наряду с численностью, биомассой и количеством таксонов макрозообентоса являются биотические индексы.

Ключевые слова: загрязнение, биотические индексы, макрозообентос, малые реки, углепромышленная территория, Восточный Донбасс

ASSESSMENT OF WATER QUALITY IN SMALL RIVERS OF THE SEVERSKY DONETS AND THE TUZLOV RIVER BASINS USING BIOTIC INDICES**E. N. Bakaeva, M. N. Taradayko**

*Southern Federal University, Institute of Earth Sciences, Rostov-on-Don, 344090, Russia
Water Problems Institute of RAS, Hydrochemical Department, Rostov-on-Don, 344090, Russia
Hydrochemical Institute, Rostov-on-Don, 344090, Russia
E-mail: rotaria@mail.ru*

Abstract. The restructuring of the coal mining industry, which began in the 1990s, has impacted the environmental situation in Eastern Donbass within Rostov Region rather adversely. Aquatic ecosystems of rivers with low water content and, consequently, low dilution capacity are characterized by high susceptibility to anthropogenic impact. Samples of macrozoobenthos were taken in the areas with different anthropogenic load in 18 sections of small rivers of the Seversky Donets and Tuzlov River Basins: the upper reaches, the places downstream of mine drainage water outlets, and mouths. Based on a comparison of the values of the Woodiwiss, Parele, Goodnight–Whitley, and Mayer biotic indices, sections with different levels of water pollution have been identified in these three areas. Water was characterized as “clean” in 47 % of the sections according to the Goodnight–Whitley index, and in 27 % according to the Parele index. The greatest overlap in the estimation of water pollution level according to these indices was in the “polluted” category. Altogether 62 % of the river mouth waters, 50 % of the sections located downstream of mine drainage water outlets, and 17 % of the upper reaches are attributed to this level of pollution. According to all water indices, most of the sections are classified as “polluted”, although there is a difference. Thus, 94 % of the sections were “polluted” according to the Mayer index, 89 % of them according to the Woodiwiss index, 47 % according to the Parele index, and only 33 % of the sections were identified as “polluted” according to the Goodnight–Whitley index. The discrepancy in estimation of water pollution by biotic indices has been found in five cases out of eighteen investigated stations. The final score has been assigned according to the index with the most negative result. For Eastern Donbass area, taking into consideration the class of small rivers, their zoological and geographical characteristics, the consequences of restructuring the coal mining industry, and agricultural nature of this region, biotic indices should be considered as indicators of organic water pollution along with the abundance, biomass, and number of the macrozoobenthos taxa.

Keywords: freshwater pollution, biotic indices, macrozoobenthos, small rivers, coal-mining area, Eastern Donbass

ВВЕДЕНИЕ

Проблема деградации малых рек России в настоящее время является одной из ключевых комплексных проблем, которой занимаются гидрологи, экологи, специалисты водного хозяйства и других отраслей, связанных с использованием и охраной водных ресурсов. Состояние малых рек, особенно в Европейской части страны, оценивается как катастрофическое в связи с возрастающей антропогенной нагрузкой. Но именно малые реки формируют средние и большие реки, обуславливая их экологическую полноценность. Водосборные площади рек Тузлов и Северский Донец расположены на угледобывающей территории Восточного Донбасса в пределах Ростовской области. Восточный Донбасс относится к одним из особенно напряженных в экологическом отношении горнопромышленных регионов России. Существенный вклад в ослож-

нение экологической ситуации здесь вносят предприятия угольной промышленности.

В конце 1990-х гг. в России была разработана Концепция реформирования угольной промышленности, оформленная в виде «Основных направлений реструктуризации угольной промышленности России». Угледобывающие предприятия, находясь в разных областях России, имеют как общепромышленные, так и региональные проблемы. Ростовская область относится к числу регионов, в которых в процессе реструктуризации угольной промышленности было осуществлено широкомащтабное закрытие горнодобывающих предприятий. Ликвидация нерентабельных шахт преимущественно «мокрым» способом, т. е. затоплением, привела к ряду негативных экологических последствий для региона, в первую очередь, к ухудшению гидроэкологической ситуации [1]. Произошел резкий рост

минерализации шахтных вод, повышение кислотности, концентраций Fe, Mn, Pb, Cu и других тяжелых металлов. Поступающая из затопленных шахт в гидросферу вода химически агрессивна, меняет состав поверхностных вод, оказывает негативное влияние на гидробиоту [1].

Формирование качества вод малых рек бассейнов Тузлова и Северского Донца в районе Восточного Донбасса происходит под влиянием природных и антропогенных факторов. Экосистемы маловодных рек с низкой разбавляющей способностью характеризуются слабой устойчивостью перед антропогенным воздействием [2]. В связи с этим экосистемы таких рек способны испытывать значительную трансформацию под влиянием различных видов антропогенного загрязнения, в частности, под воздействием агрессивных техногенных шахтных вод. К последствиям реструктуризации угольной промышленности для малых рек относят нарушение пространственной, функциональной структуры и естественной динамики экосистем, нарушение соотношения процессов продукция/деструкция, появление токсичности вод и донных отложений, исчезновение «ключевых» видов гидробионтов с последующей деградацией трофических цепей и структуры биотических связей [3].

Оценка и контроль состояния качества вод основаны на триаде методов: химическом анализе и двух биологических (биоиндикация и биотестирование) [3]. В последние годы наметился переход от исключительно химического контроля к биологическому. Биоиндикация — это оценка состояния водных объектов, качества воды и донных отложений с использованием биологических свойств и прямых измерений резистентной биоты. Переключение внимания на преимущественное использование биологических методов обусловлено тем, что сообщества гидробионтов отражают совокупное воздействие факторов среды на качество поверхностных вод. Характеристики сообществ гидробионтов являются ключевыми для оценки состояния экосистемы и качества вод. В роли носителя информации о долговременном антропогенном воздействии на экосистему водного объекта выступают донные отложения. Среди множества жизненных форм, характерных для водных объектов, именно представители зообентоса, обитающие в донных отложениях и контактирующие с водной толщей, служат надежными

индикаторами качества вод. Макрозообентос, являясь «консервативным» показателем, отражает долгосрочные тенденции, основанные на длительном антропогенном воздействии, существенные биологические характеристики и специфику донной составляющей водной экосистемы [3]. Изменения в гидробиоте в виде интегральных биологических характеристик (индексов) помогают оценить тенденции положительного или негативного состояния экосистемы и качества вод.

В настоящее время в мировой практике различные характеристики зообентоса используются более чем в 60 методах мониторинга поверхностных вод. Методы оценки загрязнения пресных вод с помощью биоиндикации по макрозообентосу основаны, как правило, на учете разных видов и более высоких таксономических групп донных беспозвоночных. Индикаторами состояния бентоса служат количественные переменные — биотические индексы, рассчитываемые по относительно легко определяемым крупным группам донных организмов. Индексы являются интегральной оценкой экологического состояния бентоса. Они надежны, так как качественно и количественно измеряемы. Согласно значениям индексов, качество вод оценивают классами (от 1 до 6, от I до VII), и каждый соответствующий класс словесно характеризует степень загрязнения вод (от «очень чистых» до «очень грязных») [4–7]. По разным индексам количество классов и степеней загрязнения вод различается. Биотические индексы макрозообентоса являются основными в программах мониторинга Европейского союза и США. Нормативно-методическими документами Росгидромета для наблюдательной сети, осуществляющей проведение наблюдений за состоянием поверхностных вод суши, рекомендовано проведение биоиндикационных работ по макрозообентосу с использованием индексов Вудивиса и Гуднайта–Уитли (ОИ — олигохетный индекс). Следует отметить и прагматический подход использования данных индексов: наблюдения и подсчет проводят не для всех видов донной фауны, а только для необходимых организмов-индикаторов. Каждый из индексов имеет свои особенности, основанные на составе различных групп бентоса.

Цель работы заключалась в изучении качества вод малых рек бассейнов Тузлова и Северского Донца, находящихся под влиянием техногенных шахтных вод, посредством набора биотических индексов макрозообентоса.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В пределах территории Восточного Донбасса были исследованы малые реки бассейнов Тузлова (Большой Несветай, Аюта, Грушевка, Кадамовка) и Северского Донца (Малая Каменка, Калитва, Быстрая, Кундрючья). Наименования створов представлены в табл. 1, схема отбора проб донных отложений — на рис. 1.

При выборе места для отбора проб в наших исследованиях учитывались следующие факторы: составляющая часть реки (исток, устье), наличие/отсутствие выхода шахтных вод. Все исследуемые реки были условно разделены на три участка, подверженных различным видам антропогенной

нагрузки. Первый участок — верховья малых рек (контроль), испытывающие в основном последствия сельскохозяйственной и хозяйственно-бытовой деятельности населенных пунктов, второй — створы ниже выхода техногенных шахтных вод (в. ш. в.) и третий — устья рек, аккумулирующие загрязняющие вещества всех стоков.

Конкретные створы участков малых рек, выделенные для исследования загрязнения вод по индикаторным показателям макрозообентоса, были выбраны на основе данных о токсичности вод и донных отложений по результатам ранее проведенного биотестирования, включавшего комплекс биотестов [8, 9]. Пробы макрозообентоса исследовали

Таблица 1. Расположение створов отбора проб макрозообентоса на малых реках

Table 1. Location of sampling stations of macrozoobenthos in small rivers

Река River	Номер створа River station number	Расположение створа River station location
1	2	3
Бассейн р. Тузлов / Tuzlov River Basin		
Большой Несветай Bolshoy Nesvetay	2,2	Выше по течению выхода шахтных вод шахты «Соколовская» (северная окраина хут. Черников) Upstream of the mine drainage water outlet of Sokolovskaya mine (the northern outskirts of khutor Chernikov)
Аюта Ayuta	5,1	Устье River mouth
	6,2	Выше по течению сброса шахтных вод шахты «Аютинская» (северо-западная окраина пос. Аютинский) Upstream of the discharge of mine drainage waters from Ayutinskaya mine (the north-western outskirts of Ayutinskiy Settlement)
Грушевка Grushevka	8,1	Устье River mouth
	9,1	Ниже по течению устья р. Аюта (северная окраина станицы Красюковская) Downstream of the Ayuta River mouth (the northern outskirts of stanitsa Krasnyukovskaya)
Кадамовка Kadamovka	10,1	Устье (у моста автодороги на станицу Багаевская) River mouth (at the bridge on the road leading to stanitsa Bagaevskaya)
	11,1	Ниже по течению сброса очистных сооружений шахты «Глубокая» Downstream of the discharge of the wastewater treatment facilities of Glubokaya mine
	11,2	Верховье реки (хут. Киреевка) Upper reaches of the river (khutor Kireevka)

Таблица 1 (окончание)

Table 1 (finished)

1	2	3
Бассейн р. Северский Донец / Seversky Donets River Basin		
Малая Каменка Malaya Kamenka	16,1	Устье River mouth
	17,1	Ниже по течению выхода шахтных вод шахты «Центральная-Восточная» (пос. Волченский) Downstream of the mine drainage water outlet of Tsentralnaya-Vostochnaya mine (Volchenskiy Settlement)
	17,2	Выше по течению выхода шахтных вод шахты «Центральная-Восточная» (южнее пос. Волченский) Upstream of the mine drainage water outlet of Tsentralnaya-Vostochnaya mine (to the south of Volchenskiy Settlement)
Калитва Kalitva	20,1	Устье River mouth
	21,1	Ниже по течению места выхода шахтных вод шахты № 4 «Калитва» (севернее хут. Погорелов) Downstream of the drainage water outlet from mine No. 4 "Kalitva" (to the north of khutor Pogorelov)
	21,2	Выше по течению устья балки Обливинской (хут. Рудаков) Upstream of the mouth of Oblivinskaya ravine (khutor Rudakov)
Быстрая Vystraya	23,1	Севернее хут. Карпово-Обрывский To the north of khutor Karpovo-Obryvskiy
Кундрючья Kundryuchya	26,1	Устье River mouth
	27,1	Ниже по течению места выхода шахтных вод шахты № 62 (хут. Прохоровка) Downstream of the drainage water outlet from the No. 62 (khutor Prokhorovka)
Северский Донец Seversky Donets	28,2	Ниже по течению устья р. Кундрючья (у моста автодороги на г. Константиновск) Downstream of the mouth of the Kundryuchya River (at the bridge on the road leading to Konstantinovsk)

в створах, вода и донные отложения которых оказывали острое токсическое действие в отношении набора использованных тест-объектов различного трофического уровня и систематической принадлежности.

Пробы макрозообентоса отобраны дночерпателем Петерсена с площадью захвата 1/40 м² и зафиксированы 4%-ным нейтрализованным формалином [10]. Проведена камеральная обработка 18 проб бентоса, отобранных в наиболее экологически напряженных участках рек территории

Восточного Донбасса (створах после выхода техногенных шахтных вод и в устьях) и створах в верховьях рек (фоновых), не подверженных техногенному воздействию угольной промышленности. Определение групп и видов представителей бентосных сообществ проводили согласно определителям В.И. Жадина [11, 12] и «Определителю пресноводных беспозвоночных...» [13]. Подсчитаны численность, биомасса и количество основных групп зообентоса. Рассчитаны биотический индекс Ф.С. Вудивисса [4, 5], модифицированный олигохет-

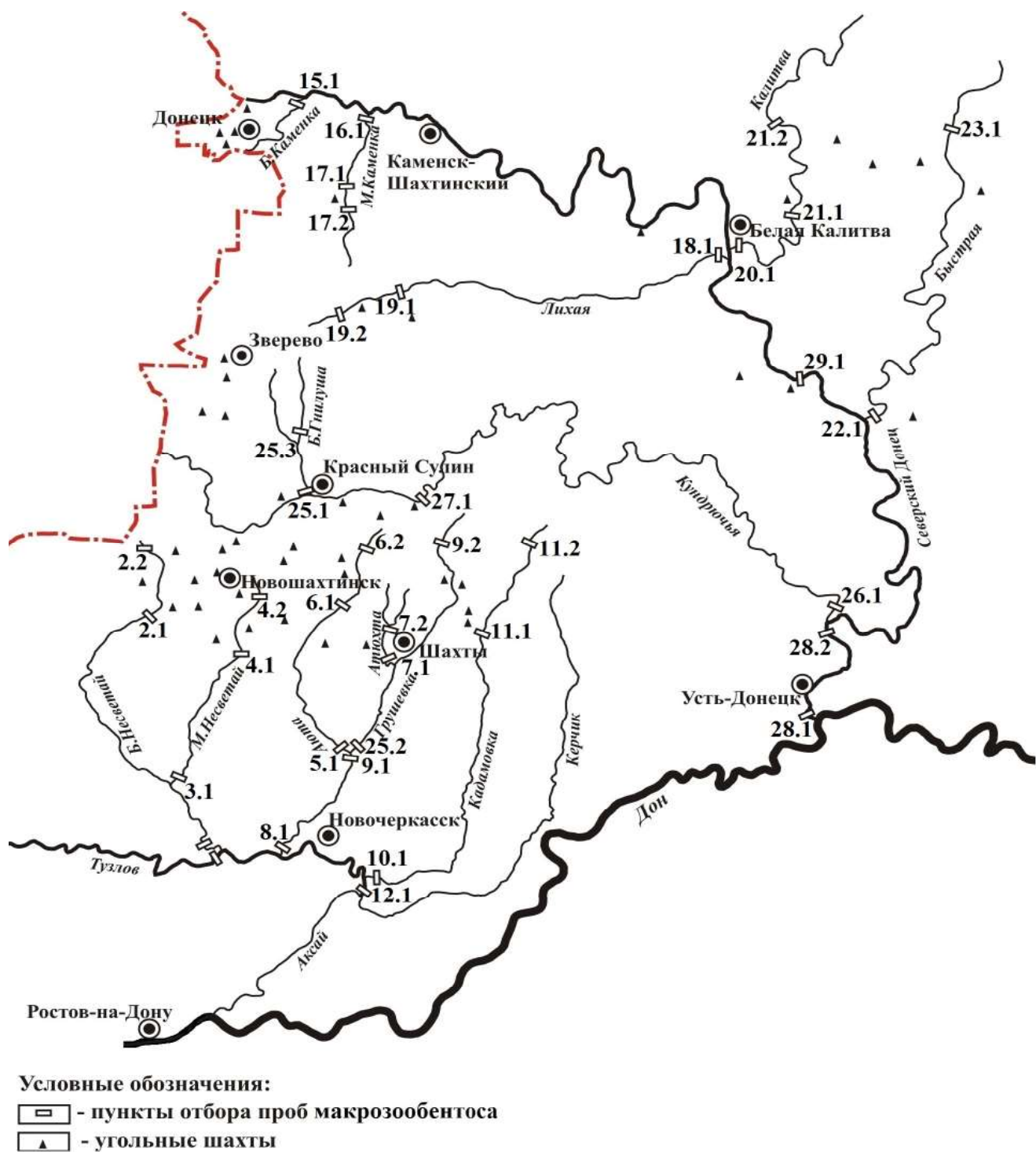


Рис. 1. Схема отбора проб макрозообентоса
Fig. 1. Outline map of macrozoobenthos sampling stations

ный индекс Э.А. Пареле [6], индексы С. Гуднайта–Л. Уитли [7] и Майера [14, 15] с целью оценки бентоса как индикатора состояния вод малых рек углепромышленных территорий Восточного Донбасса.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Проведенный сравнительный анализ результатов обработки проб макрозообентоса малых рек в пределах углепромышленной территории по трем выделенным участкам и рассчитанных на их основе индексов позволил выявить створы с разной степенью загрязнения вод.

Значения численности (40–3760 экз./м²) на исследуемых участках различались практически на 2 порядка, биомассы (0,04–306,92 г/м²) — на 4. В верховьях рек выявлена высокая численность макрозообентоса, в полтора раза превышающая среднюю численность в створах двух других участков: ниже выхода шахтных вод и в устьях (рис. 2). Однако наибольшие средние значения биомассы оказались в створах ниже выхода шахтных вод, что объясняется присутствием крупных видов моллюсков. Средние значения количества групп макрозообентоса на всех участках были невысоки и близки 2,83 в верховьях рек, 3,25 — ниже выхода шахтных вод, 2,0 (наименьшее значение) — в устьях рек (рис. 2).

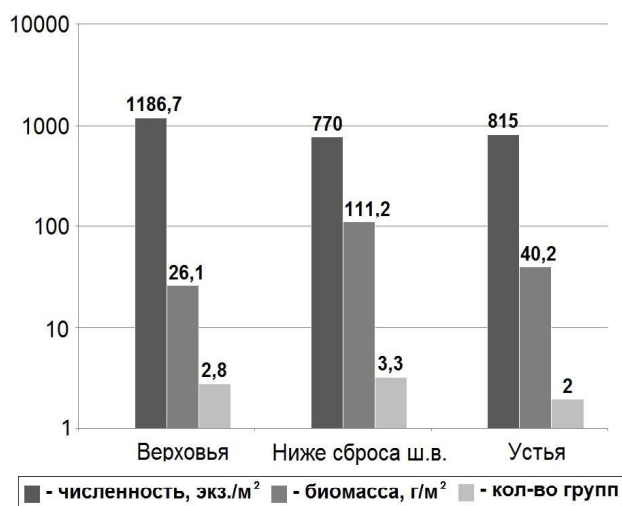


Рис. 2. Средние значения численности, биомассы и количества групп макрозообентоса на трех исследуемых участках малых рек

Fig. 2. Average values of macrozoobenthos abundance, biomass, and number of groups in three investigated areas of small rivers

Таким образом, на трех исследованных участках прослеживались существенные различия по средним значениям численности и биомассы, количеству групп макрозообентоса.

В пробах макрозообентоса преобладали группы и организмы, являющиеся обитателями загрязненных водоемов (альфамезосапробных и полисапробных вод).

Значения индекса Майера были менее 11 во всех исследованных створах, что позволило охарактеризовать воды как «грязные», относящиеся к 4–6 классу качества. Исключение составил створ выше выхода шахтных вод (2,2) реки Большой Несветай, в котором было отмечено умеренное загрязнение.

Согласно значениям олигохетного индекса Гуднайта–Уитли, отсутствием органического загрязнения характеризовались воды створов верховьев рек Аюта, Быстрая и ниже выхода шахтных вод реки Калитва и были отнесены к 1–2 классам качества вод (рис. 3). Значительное и сильное органическое загрязнение испытывали воды створов устьев рек Малая Каменка, Кадамовка, Калитва, Кундрючья с классами качества вод 4–5, 5–6. В створах ниже выхода шахтных вод отмечено незначительное и умеренное загрязнение, относящееся к 2–3, 3–4 классам качества вод.

Модифицированный индекс Э.А. Пареле (D_1) для малых рек с ранжированием классификаций качества вод С.М. Драчева и более узкими диапазонами значений индекса позволил выделить один створ с очень чистыми водами — верховье реки Аюта (рис. 4). К чистым водам, по индексу

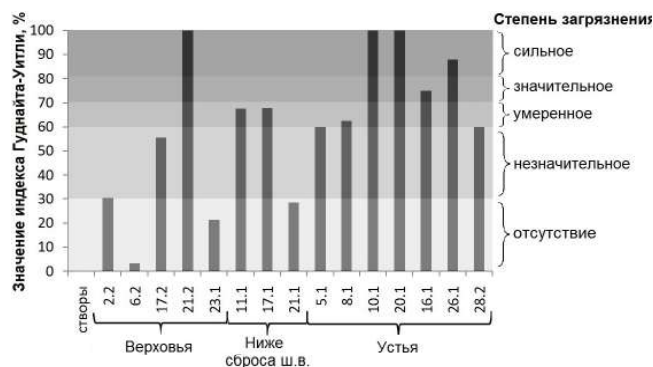


Рис. 3. Загрязнение вод трех участков малых рек бассейнов Северского Донца и Тузлова по индексу Гуднайта–Уитли

Fig. 3. Water pollution in three areas of small rivers in the Seversky Donets and Tuzlov River Basins according to the Goodnight–Whitley index

Э.А. Пареле (D_1), отнесены воды створов верховьев рек Большой Несветай, Быстрая (севернее х. Карпово-Обрывский) и ниже выхода шахтных вод реки Калитва. Воды створов ниже выхода шахтных вод рек Кундрючья, Кадамовка и Малая Каменка по органическому загрязнению характеризовались как «грязные» и «очень грязные». Исключение составил створ реки Калитва, воды которого были отнесены к «очень чистым».

Согласно значениям биотического индекса Вудивисса, воды только двух створов рек — верховье реки Большой Несветай и ниже выхода шахтных вод реки Малая Каменка — отнесены к IV классу средней степени загрязнения (рис. 5). Воды всех остальных створов принадлежат к V и VII классам качества, что соответствует «сильно загрязненным» водам.

Как показал анализ полученных значений индексов, основанных на видах-индикаторах органического загрязнения, воды всех трех исследованных участков рек в той или иной мере характеризовались органическим загрязнением. Наибольшее органическое загрязнение испытывали воды створов устьев рек.

Бентосные сообщества могут служить индикаторами качества вод малых рек, расположенных на территории Восточного Донбасса, с учетом зоогеографических особенностей региона, сельскохозяйственной направленности и категории малых рек. Спецификой малых рек региона является присутствие группы *Bivalvia*. Поэтому индикаторными показателями бентосных сообществ для террито-

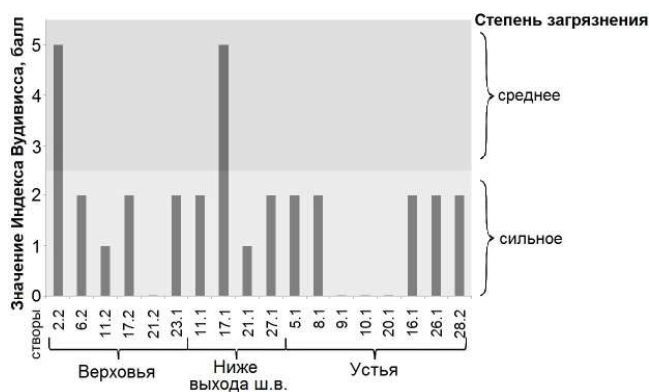


Рис. 5. Загрязнение вод трех участков малых рек бассейнов Северского Донца и Тузлова по индексу Вудивисса

Fig. 5. Water pollution in three areas of small rivers in the Seversky Donets and Tuzlov River Basins according to the Woodiwiss index

рии Восточного Донбасса являются индекс Майера и модифицированный олигохетный индекс Пареле. Общепринятый «классический» индекс Вудивисса применим только для очень грязных вод, где присутствует минимум групп зообентоса.

Одинаковую оценку все использованные методы дают в редких случаях, но, если это происходит, то велика вероятность, что оценка правильная [16]. Чаще всего наблюдаются некоторые различия, причиной которых может быть чувствительность отдельных методов к факторам, не связанным с загрязнением.

Для получения итоговой оценки загрязнения вод было проведено сравнение результатов рассчитанных индексов Пареле, Майера, Гуднайта–Уитли, Вудивисса. Для этого указанные в методиках критерии оценки загрязнения каждого из индексов были сгруппированы по трем степеням загрязнения вод (чистые, загрязненные, грязные) (табл. 2). Далее оценка загрязнения вод была дана на основе сравнения результатов всех использованных методов. Итоговую оценку загрязнения давали по индексу, показывающему наиболее негативный («наихудший») результат.

Анализ значений всех индексов, распределенных в соответствии с табл. 2, позволил выделить разные степени загрязнения вод как на разных участках одной и той же реки, так и на трех исследованных участках разных рек. Так, по индексу Гуднайта–Уитли к «чистым» водам отнесены воды верховьев рек Б. Несветай (2,2), Аюта (6,2), Быстрая (23,1), створа ниже выхода шахтных вод

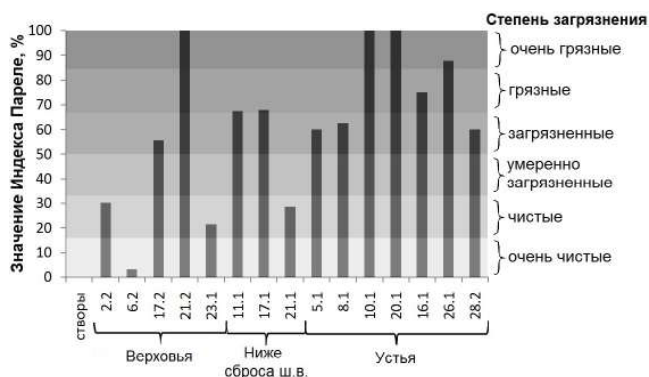


Рис. 4. Загрязнение вод трех участков малых рек бассейнов Северского Донца и Тузлова по индексу Пареле (D_1) с классификацией Драчева

Fig. 4. Water pollution in three areas of small rivers in the Seversky Donets and Tuzlov River Basins according to the Parele index (D_1) with the Drachev classification

Таблица 2. Соответствие биотических индексов степеням загрязнения вод**Table 2.** Correspondence of biotic indices to the levels of water pollution

Степень загрязнения вод Level of water pollution	Индексы / Indices			
	Пареле Parele	Майера Mayer	Гуднайта–Уитли Goodnight–Whitley	Вудивисса Woodiwiss
Чистые Clean	1–33	17 и более 17 and more	1–3	6 и более 6 and more
Загрязненные Polluted	34–67	11–16	3–4	3–5
Грязные Heavily polluted	68 и более 68 and more	менее 11 less than 11	4–6	0–2

р. Калитва (21,1) и даже устья рек Аюта (5,1) и Северского Донца (28,2). Воды верховьев остальных рек принадлежали к «загрязненным» и «грязным» (по Майеру и Вудивиссу). Воды створов ниже выхода шахтных вод оценивались в основном как «загрязненные» (11,1 — р. Кадамовка и 17,1 — р. М. Каменка) и «грязные». Воды устьев также в подавляющем большинстве были отнесены к «грязным».

По всем индексам воды большей части створов отнесены к степени «грязные». Однако имеется разница. Так, по индексам Майера «грязными» были воды 94 % створов, по индексу Вудивисса — 89 %, по индексу Пареле — 47 % и всего 33 % створов — по индексу Гуднайта–Уитли.

Тем не менее были обнаружены диаметрально противоположные характеристики загрязнения вод в одних и тех же створах (табл. 3). Неоднозначность в оценке загрязнения вод наблюдалась в отношении пяти из 18 исследованных створов.

Из всех примененных индексов макрозообентоса наиболее высокие требования к степени загрязнения вод оказались по индексам Майера и Вудивисса. Согласно этим индексам чистых вод не выявлено. «Чистыми» характеризовались воды 47 % створов, в основном по значениям индекса Гуднайта–Уитли, и 27 % створов — по индексу Пареле. Наибольшее совпадение в оценке загрязнения вод по индексам было по степени «грязные». К этой степени отнесены воды 62 % створов в устьях рек, 50 % створов, расположенных ниже выхода шахтных вод, а также 17 % верховьев.

Экологически целесообразным является использование модифицированного индекса Пареле, включающего более широкий набор основных

групп бентосных организмов, что позволяет получать наиболее адекватную информацию о степени органического загрязнения донных отложений.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ данных дночерпательных проб макрозообентоса малых рек двух бассейнов (реки Тузлов и Северский Донец), расположенных на угледобывающей территории Восточного Донбасса в пределах Ростовской области, и рассчитанных значений биотических индексов позволил выявить различия в качестве вод трех участков, подверженных различным видам антропогенной нагрузки: верховья, испытывающие в основном влияние сельскохозяйственной и бытовой деятельности населенных пунктов, створы ниже выхода техногенных шахтных вод и устья рек, где аккумулируются загрязняющие вещества всех стоков.

По сравнительному анализу численности, биомассы и количеству основных групп бентосных сообществ исследованных участков рек обнаружено отсутствие четко выраженного негативного влияния техногенных шахтных вод.

По значениям всех четырех биотических индексов показано различие в степени загрязнения трех участков малых рек. Так, выявлено, что наибольшее загрязнение испытывают воды устьев рек, характеризующиеся как «грязные» и «очень грязные» воды, соответственно, 4–5 и 5–6 классов качества вод. К водам со степенью «чистые» отнесены створы верховьев рек Аюта (6,2) и Быстрая (23,1), а также створ ниже выхода шахтных вод р. Калитва (21,1). К водам со степенью «загрязненные» и «грязные» отнесено подавляющее большинство створов. Однако имеется разброс по результатам индексов.

Таблица 3. Отличия в степени загрязнения вод одних и тех же створов**Table 3.** Differences in the level of water pollution of the same sections

Номер створа, река Station number, river	Индекс / Indices				Итоговая степень загрязнения вод Final estimation of water pollution
	Пареле Parele	Майера Mayer	Гуднайта–Уитли Goodnight–Whitley	Вудивисса Woodiwiss	
8,1 (устье) Грушевка 8.1 (mouth) Grushevka River	загряз- ненные polluted	грязные heavily polluted	загрязненные polluted	грязные heavily polluted	грязные heavily polluted
23,1 (верховье) Быстрая 23.1 (upper reaches) Bystraya River	чистые clean	грязные heavily polluted	чистые clean	грязные heavily polluted	грязные heavily polluted
17,1 (ниже выхода шахтных вод) Каменка 17.1 (downstream of the mine drainage water outlet) Kamenka River	грязные heavily polluted	грязные heavily polluted	загрязненные polluted	загрязнен- ные polluted	грязные heavily polluted
21,1 (ниже выхода шахтных вод) Калитва 21.1 (downstream of the mine drainage water outlet) Kalitva River	чистые clean	грязные heavily polluted	чистые clean	грязные heavily polluted	грязные heavily polluted
28,2 (устье) Кундрючья 28.2 (mouth) Kundryuchya River	загряз- ненные polluted	грязные heavily polluted	чистые clean	грязные heavily polluted	грязные heavily polluted

Так, по индексу Майера «грязными» были воды 94 % створов, по индексу Вудивисса — 89 %, по индексу Пареле — 47 % и всего 33 % створов — по индексу Гуднайта–Уитли.

На участках верховьев рек выявлены три степени загрязнения вод: чистые в 50 % створов, загрязненные — в 33 % и грязные в 17 % створов. Наиболее грязным в верховье оказался створ 21,2 — р. Калитва.

На участках ниже выхода шахтных вод также выявлено 50 % створов с загрязненными водами, по 25 % — с чистыми и грязными. Наиболее грязными оказались воды створа 27,1 р. Кундрючья.

На участках устьев створов с чистыми водами не выявлено. В 62 % устьев створы были с грязными водами, в 38 % — с загрязненными.

Разброс значений индексов и неоднозначность в оценке загрязнения вод по разным индексам проявилась в отношении пяти из 18 исследованных створов рек.

Индикаторными показателями органического загрязнения донных отложений по показателям бентосных сообществ для территории Восточного Донбасса являются численность, биомасса и модифицированный индекс Пареле, включающий более широкий набор основных групп бентосных организмов. Это позволяет получать наиболее адекватную информацию о степени органического загрязнения донных отложений. Общепринятый индекс Вудивисса применим только для очень грязных вод, где присутствует минимум групп зообентоса. По оценкам качества вод близки индексы Майера и Вудивисса, Пареле и Гуднайта–Уитли.

С учетом специфики исследуемого региона (зоогеографических особенностей юга, маловодности и слабого течения малых рек, преимущественно сельскохозяйственной направленности деятельности населения в связи с ликвидацией шахт) и на основе сравнительного анализа значений ряда рассчитанных индексов (Майера, Гуднайта–Уитли,

Пареле, Вудивисса) применение бентосных сообществ как индикатора загрязнения вод правомерно.

Все используемые в практике оценки качества вод индексы по макрозообентосу позволяют оценить наличие и степень органического загрязнения, поскольку основаны на учете видов и групп, являющихся индикаторами сапробности. Поэтому объективная оценка качества вод должна обязательно включать эколого-токсикологические исследования на основе биотестирования с тест-объектами, экологически соответствующими исследуемому водотоку или водоему.

Исследование выполнено при поддержке гранта РНФ (проект № 14-17-00376).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Закруткин В.Е., Скляренко Г.Ю., Бакаева Е.Н., Решетняк О.С., Гибков Е.В., Фоменко Н.Е. Поверхностные и подземные воды в пределах техногенно нарушенных геосистем Восточного Донбасса: формирование химического состава и оценка качества. Ростов-н/Д.: Изд-во Южного федерального университета, 2016. 172 с.
2. Бакаева Е.Н., Никаноров А.М., Игнатова Н.А. Аспекты методологии оценки экотоксичности малых рек // Современные проблемы гидрохимии и мониторинга качества поверхностных вод : матер. науч. конф. с междунар. участием (г. Ростов-на-Дону, 8–10 сентября 2015 г.). Ростов-н/Д.: Изд-во Гидрохимического института, 2015. Т. 2. С. 70–74.
3. Бакаева Е.Н., Никаноров А.М. Биологические подходы к оценке экотоксикологического состояния водных экосистем // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Естественные науки. 2015. Т. 41, № 1. С. 63–79.
4. Woodiwiss F.S. Comparative study of biological-ecological water quality assessment methods // Commission of the European Communities. Summary Report. Birmingham: Severn Trent Water Authority Publ., 1978. 45 p.
5. Вудивисс Ф.С. Биотический индекс р. Трент. Макробеспозвоночные и биологическое обследование // Научные основы контроля качества поверхностных вод по гидробиологическим показателям : тр. совет.-англ. семинара. Л.: Гидрометеоздат, 1977. С. 132–161.
6. Пареле Э.А. Олигохетофауна как показатель сапробности малых рек // Гидробиологический режим малых рек в условиях антропогенного воздействия. Рига: Зинанте, 1981. С. 127–135.
7. Goodnight C.J., Whitley L.S. Oligochaetes as indicators of pollution // Proceedings of the 15th Industrial Waste Conference (West Lafayette, May, 1960). West Lafayette: Purdue University Publ., 1961. Series 106, no. 15. Pp. 139–142.
8. Бакаева Е.Н., Тарадайко М.Н. Токсичность донных отложений малых рек бассейна реки Тузлов по набору биотестов // Успехи современного естествознания. 2019. № 4. С. 31–36.
9. Бакаева Е.Н., Тарадайко М.Н. Экотоксикологические исследования вод малых рек бассейна р. Тузлов в районе ликвидации шахт «мокрым» способом // Геоэкологические проблемы углепромышленных территорий : сб. тр. науч. конф. с междунар. участием (г. Ростов-на-Дону, 21–23 октября 2015 г.). Ростов-н/Д.: Изд-во Южного федерального университета, 2015. С. 57–65.
10. Руководство по методам гидробиологического анализа поверхностных вод и донных отложений / Под ред. В.А. Абакумова. Л.: Гидрометеоздат, 1983. 240 с.
11. Жадин В.И. Моллюски пресных и солоноватых вод СССР. М.–Л.: Изд-во Академии наук СССР, 1952. 376 с.
12. Жизнь пресных вод СССР. Т. 2 / Под ред. В.И. Жадина. М.–Л.: Изд-во Академии наук СССР, 1949. 540 с.
13. Определитель пресноводных беспозвоночных Европейской части СССР (планктон и бентос) / Под ред. Л.А. Кутиковой, Я.И. Старобогатова. Л.: Гидрометеоздат, 1977. 511 с.
14. Данилова Ю.А., Новикова Е.А., Ляндзберг А.Р. Биологические методы оценки экологического состояния водоемов. СПб, 2002. 20 с.
15. Шитиков В.К., Розенберг Г.С., Зинченко Т.Д. Количественная гидроэкология: методы системной идентификации. Тольятти: Изд-во Института экологии Волжского бассейна Российской академии наук, 2003. 463 с.
16. Баканов А.И. Использование зообентоса для мониторинга пресноводных водоемов (обзор) // Биология внутренних вод. 2000. № 1. С. 68–82.

REFERENCES

1. Zakrutkin V.E., Sklyarenko G.Yu., Bakaeva E.N., Reshetnyak O.S., Gibkov E.V., Fomenko N.E. Poverkhnostnye i podzemnye vody v predelakh tekhnogenno narushennykh geosistem Vostochnogo Donbassa: formirovanie khimicheskogo sostava i otsenka kachestva [Surface water and groundwater within the disturbed anthropogenic geosystems of East Donbass: the formation of the chemical composition and quality assessment]. Rostov-on-Don: Yuzhnyy federal'nyy universitet [Southern Federal University] Publ., 2016, 172 p. (In Russian).
2. Bakaeva E.N., Nikanorov A.M., Ignatova N.A. Aspekty metodologii otsenki ekotoksichnosti malykh rek [Aspects of the methodology for assessing the ecotoxicity of small rivers]. In: *Sovremennye problemy gidrokhimii i monitoringa kachestva poverkhnostnykh vod : materialy nauchnoy konferentsii*

- s mezhdunarodnym uchastiem (g. Rostov-na-Donu, 8–10 sentyabrya 2015 g.) [Modern problems of hydrochemistry and monitoring of surface water quality. Proceedings of the Scientific Conference with international participation (Rostov-on-Don, 8–10 September, 2015)]. Rostov-on-Don: Gidrokhimicheskiy institut [Hydrochemical Institute] Publ., 2015, vol. 2, pp. 70–74. (In Russian).*
3. Bakaeva E.N., Nikanorov A.M. Biologicheskie podkhody k otsenke ekotoksikologicheskogo sostoyaniya vodnykh ekosistem [Biological approaches to assessment ecotoxicological state of aquatic ecosystem]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Severo-Kavkazskiy region. Seriya: Estestvennyye nauki [University News. North-Caucasian Region. Natural Sciences Series]*, 2015, vol. 41, no. 1, pp. 63–79. (In Russian).
 4. Woodiwiss F.S. Comparative study of biological-ecological water quality assessment methods. In: *Commission of the European Communities. Summary Report*. Birmingham: Severn Trent Water Authority Publ., 1978, 45 p.
 5. Woodiwiss F.S. Bioticheskiy indeks r. Trent. Makrobespozvonochnye i biologicheskoe obsledovanie [Biotic index of the Trent River. Macroinvertebrates and biological survey]. In: *Nauchnye osnovy kontrolya kachestva poverkhnostnykh vod po gidrobiologicheskim pokazatelyam : trudy sovetско-angliyskogo seminara [Scientific principles of water quality control based on hydrobiological indices. Proceedings of the Anglo-Soviet Workshop]*. Leningrad: Gidrometeoizdat [Hydrometeorological Publishing House], 1977, pp. 132–161. (In Russian).
 6. Parele E.A. Oligokhetofauna kak pokazatel' saprobnosti malykh rek [Oligochaete fauna as an indicator of the saprobity of small rivers]. In: *Gidrobiologicheskii rezhim malykh rek v usloviyakh antropogennogo vozdeystviya [Hydrobiological regime of small rivers under anthropogenic pressure]*. Riga: Zinante, 1981, pp. 127–135. (In Russian).
 7. Goodnight C.J., Whitley L.S. Oligochaetes as indicators of pollution. In: *Proceedings of the 15th Industrial Waste Conference (West Lafayette, May, 1960)*. West Lafayette: Purdue University Publ., 1961, series 106, no. 15, pp. 139–142.
 8. Bakaeva E.N., Taradayko M.N. Toksichnost' donnykh otlozheniy malykh rek basseyna reki Tuzlov po naboru biotestov [Bottom sediments toxicity of Tuzlov River Basin small rivers by bioassay battery]. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya [Advances in Current Natural Sciences]*, 2019, no. 4, pp. 31–36. (In Russian).
 9. Bakaeva E.N., Taradayko M.N. Ekotoksikologicheskie issledovaniya vod malykh rek basseyna r. Tuzlov v rayone likvidatsii shakht "mokrym" sposobom [Ecotoxicological investigation of the waters of small rivers in the Tuzlov River Basin in the area of mine liquidation with application of the "wet" method]. In: *Geoekologicheskie problemy uglepromyshlennykh territoriy : sbornik trudov nauchnoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem (g. Rostov-na-Donu, 21–23 oktyabrya 2015 g.) [Geoecological problems of coal-mining areas. Proceedings of the Scientific Conference with international participation (Rostov-on-Don, 21–23 October, 2015)]*. Rostov-on-Don: Yuzhnyy federal'nyy universitet [Southern Federal University] Publ., 2015, pp. 57–65. (In Russian).
 10. Rukovodstvo po metodam gidrobiologicheskogo analiza poverkhnostnykh vod i donnykh otlozheniy [Manual on methods of hydrobiological analysis of surface waters and bottom sediments]. V.A. Abakumov. (Ed.). Leningrad: Gidrometeoizdat [Hydrometeorological Publishing House], 1983, 240 p. (In Russian).
 11. Zhadin V.I. Mollyuski presnykh i solonovatykh vod SSSR [Mollusks of fresh and brackish waters of the USSR]. Moscow–Leningrad: Akademiya nauk SSSR [USSR Academy of Sciences] Publ., 1952, 376 p. (In Russian).
 12. Zhizn' presnykh vod SSSR. T. 2 [Freshwater life of the USSR. Vol. 2]. V.I. Zhadin. (Ed.). Moscow–Leningrad: Akademiya nauk SSSR [USSR Academy of Sciences] Publ., 1949, 540 p. (In Russian).
 13. Opredelitel' presnovodnykh bespozvonochnykh Evropeyskoy chasti SSSR (plankton i bentos) [Identification guide on freshwater invertebrates of the European part of the USSR (plankton and benthos)]. L.A. Kutikova, Ya.I. Starobogatov. (Eds.). Leningrad: Gidrometeoizdat [Hydrometeorological Publishing House], 1977, 511 p. (In Russian).
 14. Danilova Yu.A., Novikova E.A., Lyandzberg A.R. Biologicheskie metody otsenki ekologicheskogo sostoyaniya vodoemov [Biological methods for assessing the ecological state of water bodies]. Saint-Petersburg, 2002, 20 p. (In Russian).
 15. Shitikov V.K., Rozenberg G.S., Zinchenko T.D. Kolichestvennaya gidroekologiya: metody sistemnoy identifikatsii [Quantitative hydroecology: methods of systemic identification]. Tolyatti: Institut ekologii Volzhskogo basseyna Rossiyskoy akademii nauk [Institute of Ecology of the Volga Basin of the Russian Academy of Sciences] Publ., 2003, 463 p. (In Russian).
 16. Bakanov A.I. Ispol'zovanie zoobentosa dlya monitoringa presnovodnykh vodoemov (obzor) [Use of zoobenthos for monitoring of freshwater water bodies (review)]. *Biologiya vnutrennikh vod [Inland Water Biology]*, 2000, no. 1, pp. 68–82. (In Russian).

Поступила 30.01.2021

Принята к печати 16.02.2021