



Состояние и структура сообществ макрозообентоса р. Усмани по материалам экспедиционного обследования 2021 г.

А.Е. Силина¹, Л.В. Молоканова², О.В. Клепиков^{2,3}

¹ ФГБУ «Заповедник «Белогорье», пер. Монастырский, д. 3, пос. Борисовка, Белгородская обл., 309342, Российская Федерация

² ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий», пр. Революции, д. 19, г. Воронеж, 394036, Российская Федерация

³ ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Воронежской области», ул. Космонавтов, д. 21, г. Воронеж, 394038, Российская Федерация

Резюме

Введение. Для малых рек мониторинг, проводимый ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Воронежской области», является недостаточным вследствие ограниченности числа точек отбора проб воды и оценки ее качества только по ряду приоритетных химических и микробиологических показателей.

Целью исследования являлась оценка состояния и структуры сообществ макрозообентоса реки Усмани в условиях локальных антропогенных загрязнений.

Материалы и методы. Анализ показателей качества воды реки включал оценку санитарно-химических показателей лабораторными методами исследования. Обследования макрозообентоса реки проводилось в рамках экспедиционного исследования в сентябре – октябре 2021 г. Анализировалась доминантно-информационная структура донных сообществ от верховья до устья реки, после маловодья и загрязнения верховья реки промышленно-бытовыми стоками в зимний период 2020/2021 гг.

Результаты. Выявлены основные типы и виды сообществ, выделены доминантные комплексы видов, проанализированы показатели информационной структуры.

Заключение. Результаты исследования подтверждают серьезное деструктивное влияние сбросов органического происхождения ООО «Овощи Черноземья» и Водоканала г. Усмани на формирование донных сообществ реки, где, по сравнению с фоновым створом, у с. Красного, происходит смена типов сообществ и многократное снижение видового разнообразия, численности, биомассы, устойчивости, подавление информационного разнообразия и «скачок» энтропии, свидетельствующий либо о деградации, либо о периоде перестройки сообщества.

Ключевые слова: мониторинг, макрозообентос, численность, биомасса, структура, доминирование, устойчивость, энтропия.

Для цитирования: Силина А.Е., Молоканова Л.В., Клепиков О.В. Состояние и структура сообществ макрозообентоса р. Усмани по материалам экспедиционного обследования 2021 г. // Здоровье населения и среда обитания. 2022. Т. 30. № 11. С. 89–99. doi: <https://doi.org/10.35627/2219-5238/2022-30-11-89-99>

Сведения об авторах:

✉ **Силина** Алла Евгеньевна – старший научный сотрудник ФГБУ «Заповедник Белогорье»; e-mail: allasilina@list.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3106-0589>.

Молоканова Лариса Витальевна – к.б.н., доцент, доцент кафедры промышленной экологии, оборудования химических и нефтехимических производств ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий»; e-mail: larisa280272@yandex.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6267-6028>.

Клепиков Олег Владимирович – д.б.н., профессор, профессор кафедры промышленной экологии, оборудования химических и нефтехимических производств ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий»; программист отделения статистики организационно-методического отдела ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Воронежской области»; e-mail: klepa1967@rambler.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9228-620X>.

Информация о вкладе авторов: концепция и дизайн исследования, сбор данных, подготовка рукописи: Силина А.Е.; анализ и интерпретация результатов: Силина А.Е.; Молоканова Л.В., Клепиков О.В.; обзор литературы: Клепиков О.В. Все авторы ознакомились с результатами работы и одобрили окончательный вариант рукописи

Соблюдение этических стандартов: исследование не требует представления заключения комитета по биомедицинской этике или иных документов.

Финансирование: исследование проведено без спонсорской поддержки.

Конфликт интересов: авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов в связи с публикацией данной статьи.

Благодарности: большую помощь в организации экспедиций и отборе проб макрозообентоса оказали А.В. Тараканов и Е.В. Желтуха, которым авторы выражают свою глубокую благодарность.

Статья получена: 15.08.22 / Принята к публикации: 03.11.22 / Опубликована: 29.11.22

The State and Structure of Macrozoobenthos Communities of the Usman River according to the Materials of the 2021 Expeditionary Survey

Alla E. Silina,¹ Larisa V. Molokanova,² Oleg V. Klepikov^{2,3}

¹ Belogorye Nature Reserve, 3 Monastyrsky Lane, Borisovka Village, Belgorod Region, 309342, Russian Federation

² Voronezh State University of Engineering Technologies, 19 Revolution Avenue, Voronezh, 394036, Russian Federation

³ Center for Hygiene and Epidemiology in the Voronezh Region, 21 Kosmonavtov Street, Voronezh, 394038, Russian Federation

Summary

Background: For small rivers, the monitoring carried out by the Center for Hygiene and Epidemiology in the Voronezh Region is insufficient due to the limited number of water sampling points and the assessment of its quality only by a number of priority chemical and microbiological indicators.

Objective: To assess the state and structure of macrozoobenthos communities of the Usman River affected by local anthropogenic contamination.

Materials and methods: The analysis of the river water quality included testing of safety and chemical indicators by laboratory research methods. Surveys of the macrozoobenthos of the river were conducted as part of the research expedition in September–October 2021. The dominant information structure of bottom communities from the upper reaches to the mouth of the river was analyzed, after low water and pollution of the upper reaches of the river by industrial and household effluents

in the 2020/2021 winter period. We established the main types of communities, identified dominant species, and analyzed indicators of the information structure.

Results: Our findings confirm a strong destructive effect of organic discharges of "Ovoschi Chernozemya" LLC [Vegetables of the Black Earth Region] and "Vodokanal" wastewater service of the town of Usman on the bottom communities of the river, where, in comparison with the background, near the village of Krasnoe, we observed a change of community types and a multiple decrease in species diversity, abundance, biomass, stability, suppression of information diversity, and "jump" in entropy, indicating either degradation or a period of community restructuring.

Keywords: monitoring, macrozoobenthos, abundance, biomass, structure, dominance, stability, entropy.

For citation: Silina AE, Molokanova LV, Klepikov OV. The state and structure of macrozoobenthos communities of the Usman River according to the materials of the 2021 expeditionary survey. *Zdorov'e Naseleniya i Sreda Obitaniya*. 2022;30(11):89–99. (In Russ.) doi: <https://doi.org/10.35627/2219-5238/2022-30-11-89-99>

Author information:

✉ Alla E. Silina, Senior Researcher, Belogorye Nature Reserve; e-mail: allasilina@list.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3106-0589>. Larisa V. Molokanova, Cand. Sci. (Biol.), Assoc. Prof., Department of Industrial Ecology, Equipment of Chemical and Petrochemical Industries, Voronezh State University of Engineering Technologies; e-mail: larisa280272@yandex.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6267-6028>.

Oleg V. Klepikov, Dr. Sci. (Biol.), Prof., Department of Industrial Ecology, Equipment of Chemical and Petrochemical Industries, Voronezh State University of Engineering Technologies; Programmer, Division of Statistics, Organizational and Methodological Department, Center for Hygiene and Epidemiology in the Voronezh Region; e-mail: klepa1967@rambler.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9228-620X>.

Author contributions: study conception and design, data collection, draft manuscript preparation: Silina A.E.; analysis and interpretation of results: Silina A.E., Molokanova L.V., Klepikov O.V.; literature review: Klepikov O.V. All authors reviewed the results and approved the final version of the manuscript.

Compliance with ethical standards: Ethics approval was not required for this study.

Funding: The authors received no financial support for the research, authorship, and/or publication of this article.

Conflict of interest: The authors declare that there is no conflict of interest.

Acknowledgements: The authors would like to express their deepest gratitude to Andrey V. Tarakanov and Evgeniy V. Zheltukha for invaluable support in organizing expeditions and sampling macrozoobenthos.

Received: August 15, 2022 / Accepted: November 3, 2022 / Published: November 29, 2022

Введение. В последние десятилетия на малых реках лесостепной и степной зон наблюдаются прогрессирующее снижение водности и существенные изменения гидрологического и гидрохимического режимов [1], что обуславливает деградационные и иные трансформации состава и структуры сообществ гидробионтов. Малые реки Воронежской области часто используются населением в качестве мест рекреационного водопользования, что требует проведения регулярных мониторинговых исследований их состояния. Гидрохимический мониторинг не может в полной мере оценить качество воды, что требует обязательного исследования отдельных групп гидробионтов [2]. Анализ структуры зооценозов водных беспозвоночных, в частности сообществ макрозообентоса, позволяют делать заключение о качестве воды и состоянии водной экосистемы.

Малая река Усмань Воронежской области является объектом рыбохозяйственного значения и местом рекреационного водопользования. Вместе с тем мониторинг качества воды, проводимый ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Воронежской области», ориентирован только на места массового рекреационного водопользования в летний период и является недостаточным вследствие ограниченности числа точек отбора проб воды и оценки ее качества только по ряду приоритетных химических и микробиологических показателей [3].

После низкого паводка и засушливого вегетационного периода 2020 г. гидрологический режим верховья р. Усмани существенно изменился за счет снижения водности, что проявилось в обмелении плесов и сужении перекатов реки. При этом режим стоков в верховье от промышленных и промысловых предприятий («Овощи Черноземья» и Водоканал г. Усмань на территории Липецкой области) остался прежним, что обусловило тяжелую, а на территории Воронежского государственного природного биосферного заповедника им. В.М. Пескова — катастрофическую экологическую ситуацию. В результате в течение зимнего периода 2020–2021 гг. в верховье реки (на заповедной территории) зафиксированы массо-

вые заморы рыб, последующее гниение которых приводило ухудшению санитарно-гигиенических и гидрохимических показателей, изменяя среду обитания основных групп гидробионтов. В связи с этим в конце вегетационного периода 2021 г. нами было предпринято экспедиционное обследование р. Усмани от верховья до устья с целью выявления состояния и структуры донных сообществ беспозвоночных (макрозообентос), играющих большую роль в процессах самоочищения водотока и являющихся основой кормовой базы карповых и некоторых мелких хищных видов рыб.

Цель: оценка состояния и структуры сообществ макрозообентоса р. Усмани в условиях локальных антропогенных загрязнений.

Объект и методы исследований. Объектом исследования является макрозообентос р. Усмани. Река Усмань — малая река длиной 151 км, левобережный приток р. Воронеж Донского речного бассейна, протекающая по территории Липецкой (Усманский район) и Воронежской областей (Новоусманский и Рамонский районы) Центрального Черноземья России. Исток реки расположен у с. Чернычки [4]. Ниже г. Усмань река пересекает Усманский бор и протекает на территории Воронежского государственного заповедника им. В.М. Пескова. Затем ее течение проходит по густонаселенной и безлесной территории (около 50 км) и в нижнем течении вновь на территории Усманского бора в зоне баз отдыха и биологической учебно-научной базы Воронежского госуниверситета [1]. Река является памятником природы федерального значения.

Анализ показателей качества воды проводили по аттестованным методикам: pH — потенциометрическим методом; общую минерализацию (сухой остаток) определяли весовым методом; биохимическое потребление кислорода (БПК₅), жесткость, содержание Cl⁻ — титриметрическим; химическое потребление кислорода (ХПК), PO₄³⁻, SO₄²⁻, NO₃⁻, NH₄⁺, содержание железа (Fe_{общ}) — фотометрическим; Ca²⁺, Mg²⁺ — спектрометрическим (атомно-абсорбционный спектрофотометр «Квант-2»). Полученные результаты сравнивались с предельно допустимыми концентрациями веществ.

Все компоненты в пробах определялись отдельно в соответствии с известными методиками.

Экспедиционные обследования макрозообентоса реки проводили в 7 пунктах в сентябре – октябре 2021 г. в верховье реки (в окр. с. Красное, в пунктах выше и ниже сброса ООО «Овощи Черноземья», в пунктах выше и ниже сброса «Липецкоблводоканала», в окр. с. Песковатка – с. Новоуглянец (выше северной границы заповедника)), в среднем течении (в окр. с. Малая Приваловка, ниже южной границы заповедника) и в нижнем течении (Веневитинский кордон в окрестности пос. Маклок и приустьевой участок близ Рамони).

Отбор количественных проб макрозообентоса осуществлялся ковшевым дночерпателем с охватом донной поверхности 1/40 м², по 2 черпания на 1 пробу. Пробы отбирали в наиболее типичных биоценозах исследуемых участков реки (всего 26 количественных проб). При анализе структуры зообентосных сообществ рассчитывались показатели численности (в экз. на 1 м²) и биомассы (в г на 1 м²) в каждом пункте. Типы сообществ выделялись по доминирующей либо двум доминирующим значимым систематическим либо морфоэкологическим группам: тип «Моллюски» (Mollusca) – сообщества моллюсочного типа; группа «Черви» (Vermes), включающая представителей 3 типов, в рамках нашего исследования – представителей типа Кольчатых червей (олигохет и пиявок) и типа Плоских червей (турбеллярии) – сообщества вермоидного типа; класс «Насекомые» (Insecta) – инсектарного типа, класс «Ракообразные» (Crustacea) – крустациевого. Для выявления вида сообществ (в рамках их выделенных типов) проводилось ранжирование видов беспозвоночных по индексу плотности *p*, который часто применяется для анализа структуры бентосных сообществ [5]. При описании структуры различных видов сообществ применялись индексы Шеннона и их производные (показатель выравненности, концентрации численности и

биомассы, устойчивости сообществ [6], а также энтропийный показатель фон Форстера и индекс видового разнообразия Маргалефа – показатели информативно себя зарекомендовавшие в оценке состояния и структуры сообществ макрозообентоса [7, 8].

Результаты. Гидрохимические исследования проводились на территории ФГБУ «Воронежский государственный природный биосферный заповедник им. В.М. Пескова» в течение двух лет с 2020 по 2021 г. В табл. 1 приведены значения определяемых показателей в пробах.

Ухудшение качества воды по гидрохимическим показателям в 2021 г. было вызвано сбросом в р. Усмань сточных вод рядом предприятий. В начале декабря 2020 г. в верховье реки на территории Воронежского государственного природного биосферного заповедника им. В.М. Пескова было зафиксировано начало массового замора рыб, который наблюдался до весны 2021 г. По сообщению сотрудников заповедника, превышение нормативов гидрохимических показателей в начале марта составляло: по нефтепродуктам – в 12 раз, сульфатам – в 1,2, аммонийному азоту – 27, фосфатам – 60, концентрация кислорода снизилась в 3,7 раза по сравнению с нормативом (www.ltv.ru/news/2021-03-11/402961). Выяснилось, что, кроме регулярных сбросов «Липецкоблводоканала», в период с января по февраль совершались залповые сбросы отходов ООО «Овощи Черноземья» на протяжении 235 часов.

В августе 2021 г. ситуация несколько улучшилась, однако некоторые показатели превышают нормативы для рыбохозяйственных водоемов: по иону аммония – в 3 раза, фосфатам – в 8 раз, БПК – в 1,1 раза. В этих условиях особую актуальность приобретают исследования гидробиологического режима р. Усмани – от ее верховья до низовья.

В результате гидробиологических исследований сентябре – октябре в р. Усмани выявлено 7 типов донных сообществ: *вермоидный*, доминантный комплекс которых складывается олигохетами либо

Таблица 1. Динамика гидрохимических показателей качества воды в р. Усмани на территории ФГБУ «Воронежский государственный природный биосферный заповедник им. В.М. Пескова»

Table 1. Dynamics of hydrochemical indicators of water quality in the Usman River on the territory of the Voronezh State Nature Biosphere Reserve named after V.M. Peskov

Параметр / Parameter	ПДК (санитарно-гигиенический) / Maximum permissible concentration (sanitary and hygienic)	ПДК (рыбохозяйственный) / Maximum permissible concentration (fishery)	Дата отбора проб / Sampling date (dd/mm/yyyy)			
			06.04.2020	27.08.2020	05.04.2021	26.08.2021
t, °C	–		5,8	16,2	5,6	17,8
pH, ед. /units	6,0–9,0		7,7	6,91	6,6	7,1
Ион кальция, мг/дм ³ / Calcium ion, mg/dm ³	не норм. / none		93,0	79,4	87,0	83,5
Магний (суммарно), мг/дм ³ / Total magnesium, mg/dm ³	50	40	20,9	25,9	23,5	28,2
Растворенный кислород, мг/дм ³ / Dissolved oxygen, mg/dm ³	≥ 4		3,9	6,5	1,3	4,1
БПК ₅ , мг/дм ³ / Biochemical oxygen demand, mg/dm ³	4	3	1,6	2,2	5,3	3,3
Ион аммония, мг/дм ³ / Ammonium ion, mg/dm ³	1,5	0,4	0,4	0,29	2,95	1,3
Нитрат ион, мг/дм ³ / Nitrate ion, mg/dm ³	45	40	1,7	0,31	2,4	1,1
Фосфат ион, мг/дм ³ / Phosphate ion, mg/dm ³	3,5	0,15	0,05	0,10	3,3	1,2
Сульфаты, мг/дм ³ / Sulfates, mg/dm ³	500	100	89,8	87,9	127,5	94,8
Хлориды, мг/дм ³ / Chlorides, mg/dm ³	350	300	25,5	26,9	27,2	28,9

пиявками, моллюсочный, в которых доминируют моллюски, инсектарный, где доминируют насекомые, и сообщества смешанного типа — моллюсочно-вермоидный, вермоидно-инсектарный (либо инсектарно-вермоидный), моллюсочно-инсектарный (либо инсектарно-моллюсочный) и крустацейно-моллюсочный, где главенствуют ракообразные и моллюски.

В **верховье реки** на фоновом участке в окрестности с. Красное в макрозообентосе выявлены сообщества моллюсочного типа с единым эдификатором из сем. Bithyniidae — *Opisthorchophorus troscheli*, являющимся фильтратором + собирателем. Это монодоминантные сообщества, качественно отличающиеся на уровне первых субдоминантов. В рипали субдоминируют мелкие фильтраторы из р. *Musculium*, в медиали — донно-фитофильная форма *Bithynia tentaculata*. Кроме того, в состав субдоминантов сообществ входят фильтраторы — шаровки из р. *Sphaeriastrum* и фитодегритрофаги — собиратели из брюхоногих *Anisus vortex*. В состав сообществ входит от 9 видов в медиали до 20 в рипали из 7–12 семейств. Численность сообществ была стабильно-умеренной (840–880 экз./м²), биомасса — максимальной для исследуемых пунктов русла реки (18,76–41,55 г/м²). Индексы информационного разнообразия (H) в данном пункте приближаются либо превышают 3,0 бит/экз., сообщества высоко- либо умеренно устойчивы, с невысокой энтропией. Концентрация доминирования численности низкая, что подтверждается высокой выравненностью сообществ, индекс видового разнообразия Маргалефа имеет здесь максимальные либо умеренные значения в сравнении с другими участками реки.

В пункте влияния сбросов ООО «Овощи Черноземья» происходит смена типов сообществ на моллюсочно-вермоидный выше сброса и вермоидный — ниже впадения стоков. Эдификаторами сообщества выше стоков был фито-детритофаг *A. vortex*, субдоминантом — хищный вид пиявок *Erpobdella octoculata*. Ниже стоков доминантные комплексы сформированы детритофагами из тубифицид *Potamothrix hammoniensis*, в медиали в качестве субдоминанта выступает полисапроб *Limnodrilus hoffmeisteri*, в рипали — представитель наидид *Pristinella bilobata*. Сообщества в этом пункте являются маловидовыми (3–5 видов из 1–3 семейств), с невысокой численностью и биомассой, которая ниже сброса уменьшается более чем на порядок. Информационное разнообразие не превышает 2,24 бит/экз. За счет относительно крупных размеров ведущих видов выше сброса концентрация доминирования и энтропия значительно выше, а устойчивость — ниже, чем в зоне влияния стоков. Однако ниже сброса происходит таксономическое и экологическое обеднение сообщества (отсутствуют моллюски-фильтраторы, хищные пиявки, насекомые и др.), и поэтому пониженные показатели доминирования и энтропии свидетельствуют о слабой информационной насыщенности сообщества в результате его деградации.

Более серьезные структурные изменения претерпевают бентосные сообщества в зоне влияния Водоканала. По сравнению с предыдущим пунктом, при равном объеме проб видовое разнообразие здесь снизилось втрое, а по сравнению с фоновым пунктом — в 9 раз. В живом виде

в зообентосе обнаружены лишь полисапробные виды олигохет *Tubifex tubifex* и комаров-психодид *Tinearia alternata* (в нескольких метрах выше сброса), а также пелофильный вид мокрецов р. *Sphaeromyias*. В медиали ниже сброса живые беспозвоночные отсутствовали, в других станциях отмечено по 1–2 вида, каждый в единственном экземпляре, при этом обнаруживались остатки и пустые раковины 11–15 видов моллюсков. Поэтому можно констатировать здесь наличие остаточных либо провизорных сообществ с разрушенной системной структурой (в табл. 2 даны в скобках) с минимальной численностью и биомассой, не превышающей 0,05 г/м².

В пункте у северной границы ВГПБЗ им. В.М. Пескова (окр. с. Песковатка — с. Новоуглянец) преобладали сообщества инсектарного типа, где эдификаторами выступали хирономиды р. *Chironomus* либо в заросшей рипали — р. *Endochironomus*, редко при содоминировании с поденками р. *Cloeon*. Кроме того, здесь распространены сообщества моллюсочно-инсектарного (*Lymnaea stagnalis* + *Odontomyia ornata*) и моллюсочного типов (*Anisus contortus* + *Planorbis planorbis*). Сообщества были сформированы 3–15 видами из 1–10 семейств с численностью в большинстве пунктов 160–460 экз./м² и биомассой 0,16–4,35 г/м². Минимальным разнообразием отличается провизорное инсектарное сообщество *Chironomus cingulatus* + *Ch. uliginosus* в рипали с застойной водой, где ощущался сильный запах сероводорода. Минимальной численностью характеризуются два инсектарных сообщества — вышеупомянутое и в медиали со стороны Песковатки — 140–160 экз./м² (сообщество *Ch. cingulatus* + *Einfeldia longipes*). Наиболее разнообразным и с высокой численностью (1240 экз./м²) являлось сообщество заросшей рипали со стороны Новоуглянца (*Endochironomus albipennis* + *Cloeon gr. dipterum*). Максимальной биомассой отличалось моллюсочно-инсектарное сообщество в рипали со стороны Песковатки (62,08 г/м²). В трофическом аспекте доминантные комплексы сформированы преимущественно сестоно-фитодегритрофагами фильтраторами + собирателями мелких форм (хирономиды), реже — всеядными крупных форм либо фито-детритофагами — собирателями средних форм. В состав субдоминантов, кроме хирономид, входили хищники (*Turbellaria*) и фито-детритофаги средних и мелких форм (р. *Odontomyia*, поденки, личинки мух-береговушек р. *Setacera*, жуков-сцирид, а также ракообразные *Asellus aquaticus*). Все сообщества участка имели высокую выровненность ($V = 0,83–0,93$), преимущественно низкие показатели доминирования по численности и были низко- либо умеренно энтропийными. Для трети исследуемых сообществ свойственно высокое информационное разнообразие ($H = 3,17–3,62$ бит/экз.), что обусловило их высокую устойчивость. Таким образом, в большинстве сообществ на этом участке реки наблюдается частичное либо полноценное восстановление таксономического разнообразия и доминантно-информационной структуры, а также смена доминантного и субдоминантного комплексов донных сообществ.

В **среднем течении** р. Усмани, в окрестности с. Малая Приваловка (ниже южной границы заповедника) выявлены сообщества инсектарно-моллюсочного (в рипали) и инсектарно-вермоидного

Таблица 2. Структура сообществ макрозообентоса верховья р. Усмани по данным 2021 г.
Table 2. The structure of macrozoobenthos communities in the upper reaches of the Usman River according to 2021 data

Пункты / Points Станции / Станции	С. Красное / Krasnoye village		«Овощи Черноземья» / “Vegetables of the Black Earth Region”			Водоканал / “Vodokanal”			С. Песковатка – с. Нововуглянец (выше заповедника) / Peskovatka village – Novovuglyanets village (above the reserve)					
	Рипаль / Ripal	Медаль / Medial	Рипаль выше сброса / Ripal above discharge	Медаль ниже сброса / Medal below discharge	Рипаль ниже сброса / Ripal below discharge	Рипаль выше сброса / Ripal above discharge	Медаль ниже сброса / Medal below discharge	Рипаль ниже сброса / Ripal below discharge	Рипаль / Ripal	Медаль / Medial	Медаль / Medial	Медаль / Medial	Рипаль / Ripal	Медаль / Medial
Число семейств / Number of families	12 (18)	7 (15)	2	1	3	2 (11)	–	1 (8)	1 (9)	7 (12)	1 (4)	5 (9)	5 (13)	10
Число видов / Number of species	20 (27)	9 (24)	3	4	5	2 (13)	–	1 (16)	3 (14)	15 (20)	3 (7)	7 (14)	7 (22)	14
Численность, экз./м ² / Abundance, ind./m ²	880	840	160	280	140	40	–	20	160	460	140	240	240	1240
Биомасса, г/м ² / Biomass, g/m ²	18,76	41,55	1,84	0,28	0,17	0,05	–	0,04	0,32	62,08	0,16	0,53	2,52	4,35
Индекс Шеннона ($H \pm m$), бит/экз. / Shannon index ($H \pm m$), bits/ind.	$3,95 \pm 0,04$	$2,64 \pm 0,04$	$1,06 \pm 0,09$	$1,84 \pm 0,40$	$2,24 \pm 0,04$	$1,0 \pm 0$	–	–	$1,41 \pm 0,05$	$3,62 \pm 0,05$	$1,45 \pm 0,05$	$2,41 \pm 0,05$	$2,75 \pm 0,06$	$3,17 \pm 0,03$
$H_{max} - H_{min}$	$4,32 - 0,24$	$3,17 - 0,11$	$1,58 - 0,11$	$2,0 - 0,10$	$2,32 - 0,24$	$1,0 - 0,17$	–	–	$1,59 - 0,11$	$3,91 - 0,31$	$1,59 - 0,12$	$2,59 - 0,21$	$3,0 - 0,27$	$3,8 - 0,12$
Выравненность, V / Evenness, V	0,91	0,83	0,65	0,92	0,96	1,0	–	–	0,88	0,92	0,91	0,93	0,91	0,83
Индекс доминирования Симпсона, C_4 / Simpson's dominance index, C_4	0,08	0,20	0,59	0,31	0,22	0,5	–	–	0,41	0,10	0,39	0,21	0,18	0,14
Индекс доминирования Симпсона, C_6 / Simpson's dominance index, C_6	0,18	0,39	0,70	0,28	0,24	0,52	–	–	0,38	0,81	0,41	0,28	0,29	0,12
Индекс видового разнообразия Маргалефа, α / Margalef's diversity index, α	2,80	1,19	0,39	0,53	0,81	0,27	–	–	0,39	2,28	0,40	0,93	1,28	1,83
Индекс устойчивости Алимова, A / Alimov's stability index, A	0,42	0,18	0,06	0,10	0,14	0,06	–	–	0,08	0,34	0,08	0,15	0,19	0,25
Показатель энтропии фон Ферстера, F / Von Foerster entropy index, F	0,09	0,17	0,33	0,08	0,03	0	–	–	0,11	0,07	0,09	0,07	0,08	0,17

типа (в медиали). В качестве эдификаторов в рипали выступают хирономиды р. *Chironomus*. Субдоминантный комплекс видов представлен моллюсками, пиявками и равнокрылыми стрекозами р. *Ischnura*. В медиали развито бидоминантное сообщество при содоминировании крупной хищной формы из разнокрылых стрекоз р. *Libellula* и вида тубифицид *Limnodrilus udekemianus*, являющегося типичным для заиленных участков малых рек Центрального Черноземья. Субдоминантный комплекс видов также экологически разнообразен и сформирован крупными и мелкими хищниками (стрекозы р. *Aeschna*, клопы р. *Plea*), сестоно-фитодетритофагами – фильтраторами + собирателями (битинии) и фито-детритофагами – собирателями (катушки р. *Anisus*). Численность сообществ находилась в границах 580–980 экз./м², биомасса – 9,49–21,15 г/м². Информационное разнообразие в заросшей медиали достигает значения 3,51 бит/экз., сообщество является высоко выровненным и устойчивым, с низкими показателями концентрации доминирования и энтропии. Менее благополучно структурировано рипальное сообщество, для которого характерно умеренное снижение выравненности и повышение доминирования в численности, биомассе и энтропии. Сообщество относится к неустойчивым (табл. 3). Однако такие показатели характерны для текущих водоемов нашего региона и могут быть отнесены к категории фоновых для р. Усмани.

В низовье реки обследованные пункты значительно отличались по степени антропогенной нагрузки. В районе Веневитинского cordона и визуально, и по состоянию структуры макрозообентоса проявляется воздействие разгрузки загрязненных вод в районе детского пляжа (от базы отдыха «Факел» и с территории хозяйственно-бытовой инфраструктуры базы отдыха Воронежского госуниверситета). Разливы от этой разгрузки занимали существенную часть самого песчаного пляжа. При отборе проб в медиали и рипали реки у этой станции ощущался резкий запах гниющей органики и сероводорода. На этом участке русла выявлены сообщества вермоидного, моллюсочно-вермоидного и моллюсочно-инсектарного типов, кроме того, в заливе реки – моллюсочного типа.

В медиали реки в районе детского пляжа (в зоне интенсивной разгрузки) и в рипали в 50 м ниже пляжа (в зоне слабой разгрузки) нами выявлены остаточные вермоидное и моллюсочно-вермоидное сообщества, представленные 1–2 видами. На пляже единично отмечены олигохеты р. *Lumbriculus*, ниже пляжа – р. *Limnodrilus* при формальном доминировании эврибионтного вида моллюсков *Lymnaea ovata*. Структура сообществ деградирована на уровне остаточных сообществ в зоне промышленного влияния в верховье реки.

В 40–45 м ниже по течению, напротив усадьбы биостанции ВГУ в заросшей заиленной рипали и песчаной медиали выявлены вермоидные сообщества с более оптимизированной структурой либо составом. В медиали сообщество остается олигохетным и малочисленным, но доминирует речной вид тубифицид *Isochaetides newaensis*. При этом высокий показатель выравненности и низкая энтропия в данном случае отражает слабую

информационную насыщенность обедненного сообщества.

В защищенной рипали, у рогозово-тростниковой ассоциации, развито более разнообразное, насыщенное особями, сообщество (11 видов из 8 семейств, с численностью 620 экз./м²).

Доминирует эврибионт *Lumbriculus variegatus*, субдоминантный комплекс сформирован пиявками, мелкими брюхоногими и тубифицидами. Индекс Шеннона находится на уровне структурного благополучия, сообщество характеризуется высокой выравненностью и устойчивостью при низкой концентрации численности, и умеренной – по биомассе, с невысоким уровнем энтропии.

В 100–120 м ниже по течению, в районе плеса напротив базы отдыха «Маяк» в глубинной зоне, как и в медиали двух вышеперечисленных станций, выявлено остаточное деструктурированное вермоидное сообщество, представленное единственным полисапробным видом тубифицид *Limnodrilus hoffmeisteri* с минимальной численностью. В зарослевой зоне рипали формируется типично речное моллюсочно-инсектарное бидоминантное сообщество *Pisidium amnicum* + *Erythromma najas*, где в качестве эдификаторов выступают фильтраторы и хищники средних форм, в качестве субдоминантов – смешанные фильтраторы из мелких брюхоногих р. *Cincinna*. Сообщество включает 9 видов из 8 семейств, имеет невысокую численность (180 экз./м²) и низкую биомассу (2,34 г/м²). Поскольку все виды представлены в равноценно низкой численности, сообщество по структурным показателям формально является высокоустойчивым с низкой концентрацией доминирования, но при нулевой энтропии. Поэтому его нельзя отнести к категории благополучных, поскольку приоритетным его свойством является слабая насыщенность особями и отсутствие даже минимальной информационной избыточности. Можно заключить, что и в наиболее благоприятных условиях, среди зарослей в зоне самоочищения, сообщества макрозообентоса на данном участке реки не восстанавливают свою структуру после влияния разгрузки подземных вод в районе детского пляжа.

Обследование литоральной зоны залива, прилегающего к плесу ниже базы отдыха «Маяк», показало, что экосистема залива может являться богатой генетической базой для восстановления донных и донно-фитофильных сообществ русла реки. В данном сообществе выявлено 36 видов беспозвоночных из 25 семейств. Эдификаторами бидоминантного моллюсочного сообщества являются брюхоногие крупных и средних форм, по пищевой принадлежности – сестоно-фитодетритофаги фильтраторы + собиратели (с. *Contectiana contecta* + *B. tentaculata*). Субдоминантный комплекс сообщества сформирован крупным видом всеядных из р. *Lymnaea*, фитодетритофагами (р. *Anisus*) и детритофагами – люмбрикулидами. Индекс Шеннона принимает здесь максимальные значения среди исследуемых пунктов (4,48 бит/экз.) при невысоком уровне энтропии.

В приустьевом участке низовья р. Усмани выявлены сообщества инсектарного и краустейно-моллюсочного типов. Все выявленные сообщества являлись бидоминантными, с относительно невысоким видовым разнообразием (5–10 видов из 5–9 семейств), численностью (100–340 экз./м²)

Таблица 3. Структура сообществ макрозообентоса р. Усмани в среднем и нижнем течении по данным 2021 г.
Table 3. Structure of macrozoobenthos communities in the Usman River in the middle and lower reaches according to 2021 data

Участки / Plots	Низовые / Lower reaches											
Пункты / Points	Среднее течение / Middle reaches		Веневитинский кордон / Venevitskiy cordon							Приустьевой участок (ниже Плотовского кордона) / Mouth area (below Plotovsky cordon)		
Станции / Stations	Медаль / Medial	Рипаль / Ripal	Медаль, пляж / Medial, beach	Рипаль, ниже пляжа / Ripal, below beach	Медаль, русло / Medial, Riverbed	Рипаль, русло / Ripal, Riverbed	Медаль, плес / the river / Medial, ples of the river	Рипаль, плес / the river / Ripal, ples of the river	Залив, литораль	Рипаль / Ripal	Медаль / Medial	Рипаль, отмель / Ripal shoal
Число семейств / Number of families	12 (16)	8	1 (2)	2 (4)	2 (3)	8 (12)	1 (2)	8 (15)	25 (31)	5 (7)	9 (12)	5 (7)
Число видов / Number of species	14 (19)	11	1 (2)	2 (4)	2 (4)	11 (15)	1 (2)	9 (16)	36 (45)	7 (9)	10 (13)	5 (8)
Численность, экз./м² / Abundance, ind./m²	580	980	120	40	80	620	20	180	2000	340	240	100
Биомасса, г/м² / Biomass, g/m²	21,15	9,49	4,88	0,15	1,32	5,54	0,04	2,34	429,15	5,25	1,30	0,77
Индекс Шеннона ($H \pm m_h$), бит/экз. / Shannon index ($H \pm m_h$), bits/ind.	3,51 ± 0,04	2,11 ± 0,06	–	1,0 ± 0	1,50 ± 0,06	2,97 ± 0,05	–	3,17 ± 0,02	4,48 ± 0,03	2,54 ± 0,05	3,25 ± 0,04	2,32 ± 0,02
$H_{max} - H_{min}$	3,81–0,24	3,46–0,12	–	1,0–0,17	1,58–0,19	3,46–0,17	–	3,17–0,40	5,17–0,22	2,81–0,17	3,32–0,35	2,32–0,32
Выравненность, V' / Evenness, V'	0,92	0,60	–	1,0	0,93	0,85	–	1,0	0,86	0,90	0,98	1,0
Индекс доминирования Симпсона, C_p / C_h / Simpson's dominance index, C_p / C_h	0,11	0,42	–	0,5	0,38	0,18	–	0,11	0,07	0,20	0,11	0,20
Индекс доминирования Симпсона, C_p' / C_h' / Simpson's dominance index, C_p' / C_h'	0,27	0,35	–	0,68	0,86	0,40	–	0,33	0,50	0,37	0,15	0,33
Индекс видового разнообразия Маргалефа, $\hat{a} / \hat{a}'$ / Margalef's diversity index, $\hat{a} / \hat{a}'$	2,04	1,45	–	0,27	0,46	1,56	–	1,54	4,60	1,03	1,64	0,87
Индекс устойчивости Алимона, A / A' / Alimov's stability index, A / A'	0,32	0,13	–	0,06	0,08	0,22	–	0,25	0,60	0,17	0,27	0,14
Показатель энтропии фон Ферстера, F / F' / Von Foerster entropy index, F / F'	0,08	0,39	–	0	0,05	0,14	–	0	0,13	0,10	0,02	0

и низкой биомассой (0,77–5,25 г/м²). В инсектарных сообществах доминировали различные виды равнокрылых стрекоз и двукрылые (сообщества *Coenagrion puella* + *Glyptotendipes gripekoveni* в медиали и *Ischnura elegans* + *Lispe tentacula* – на заросшей отмели). Эдификаторами крустацейно-моллюсочного сообщества являлись равноногие раки *Asellus aquaticus* и тельматофильный вид брюхоногих *Planorbis planorbis*. В субдоминантные комплексы сообществ входили мелкие брюхоногие р. *Anisus*, поденки р. *Cloeon*, хирономиды р. *Clinotanytus* и личинки мух-львинок р. *Oplodontha* (рипаль), а также хирономиды р. *Microtendipes*, лимониды р. *Helius* и мелкие брюхоногие р. *Physa* (медиаль). Таким образом, группа ведущих видов включает представителей из различных трофических групп и гильдий – хищники, всеядные, сестно-фитодетритофаги фильтраторы + собиратели, фитодетритофаги собиратели. Информационное разнообразие сообществ находилось в границах 2,32–3,25 бит/экз., сообщества имели высокую выравненность при низкой концентрации доминирования численности и биомассы, низкий уровень энтропии. Сообщество отмели было слабо насыщено особями при нулевой энтропии, т. е. находилось либо в начале формирования, либо в стадии разрушения, что может быть связано с гидрологическими особенностями мелководий. Оптимально структурированным было сообщество заросшей медиали. Судя по структуре сообществ медиали и рипали, их состояние на данном участке реки можно считать фоновым.

Обсуждение. Малые реки являются объектами постоянного внимания гидробиологического научного сообщества [9–15]. Одной из базовых основ для прогнозирования состава и функционирования речных экосистем является разработка классификации речных сообществ, что апробировано в работах А.П. Новоселова и соавт. (2022) на примере оценки современного состояния планктонных и бентосных сообществ устьевой области реки Северная Двина [12], О.А. Лоскутовой и соавт. (2022), в которой представлены результаты изучения сообщества макрозообентоса малых тундровых озер северо-востока европейской части России [13], а также в ряде других исследований [14, 15].

Для малых водотоков наиболее перспективной, на наш взгляд, является классификация, основанная на спектрах жизненных форм, а определяющим абиотическим фактором – тип грунта.

В Европейской части России и на некоторых сопредельных территориях М.В. Чертопрудом выделено 39 типов сообществ, формирующих четыре комплекса – креналь, ритраль, фиталь и пелаль [16]. Согласно этой классификации, имеющийся набор выделенных нами сообществ р. Усмани относится к пелали – комплексу сообществ мягких грунтов (ил, в различной степени заиленный песок) на слабом и умеренном течении. Большинство сообществ р. Усмани сформировано видами эупелали (сапропелаль – в нарушенных местообитаниях верховья, гипопелаль и псаммопелаль – на других участках реки).

Анализ представляемых нами структурных характеристик сообществ не входит в противоречие с подходом, предложенным М.В. Чертопрудом, являясь более формализованным при выделении типов сообществ, и более детализированным при

выделении их видов, что делает возможным сравнительный анализ с более ранними подобными исследованиями региона для локальных сообществ. Такие материалы нуждаются в последующем обобщении с применением подхода с использованием жизненных форм (их динамики и замещения конвергентными формами как по профилю реки, так и в целом для малых рек региона).

Исследованиям зообентоса и макрозообентоса речной сети Европейской части России посвящены работы Л.А. Живоградской и соавт. (2020), в которой представлены данные по таксономическому составу и количественным характеристикам планктонных и бентосных сообществ Нижнего Дона в районе строительства Багаевского гидроузла [17], К.А. Деркач и соавт. (2018), в которой проанализированы результаты изучения видового состава макрозообентоса реки Десны в пределах города Брянска [18].

Однако структура донных сообществ реки Усмань в последние десятилетия практически не оценивалась. Анализ публикаций, рассматривающих экологические проблемы реки Усмани, показывает, что основными направлениями исследований этой малой реки являлась оценка гидрохимических показателей [19], в том числе в пойменных озерах бассейна реки на территории Воронежского государственного биосферного заповедника [20].

По данным А.Е. Силиной, в р. Усмани на территории Воронежского заповедника обитало не менее 250 видов беспозвоночных. Численность зообентоса находилась в пределах от 240 экз./м² на плесе до 2673,3 экз./м² на перекате, в среднем составляя 1368,9 экз./м², биомасса соответственно – 64,0–1,28 и 23,5 г/м². При этом во всех пунктах численно преобладали насекомые, в биомассе – моллюски [21].

В 2008 году Институтом биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН р. Усмань изучалась от места впадения очистных сооружений г. Усмани до плесов на территории заповедника [22]. Было выявлено полное отсутствие зообентоса в районе впадения стоков и рост разнообразия до 6–16 видов по мере удаления от источника загрязнения, при этом наблюдалось его снижение в районе ботропитомника. Выявленные типы сообществ (инсектарный и инсектарно-олигохетный) сформированы псаммофильными видами хирономид (*Cladotanytarsus* г. *mancus* и *Cryptochironomus* г. *defectus*), в зоне плотины – лимно-пелофильными видами хирономин р.р. *Chironomus* и *Glyptotendipes*, а также и тубифицид р.р. *Tubifex* и *Limnodrilus*.

Для низовья реки численность сообществ макрозообентоса была невысокой – 140–380 экз./м². Биомасса в пункте развития перловицевых и речных шаровок р. *Sphaeriastrum* достигала 979 г/м², в других пунктах составляла лишь 0,5–7,2 г/м². В пункте исследования выявлены моллюсочный и моллюсочно-инсектарный типы сообществ, насекомые доминантного комплекса представлены реофильными личинками стрекоз р. *Platycnemis*. Информационное разнообразие сообществ находилось в границах 1,38–2,78 бит/экз. при умеренной концентрации доминирования численности. Энтропийный показатель оказался невысоким – 0,13–0,14, снижаясь в моллюсочно-инсектарном сообществе до 0,04.

Наши данные подтверждают серьезное деструктивное влияние сбросов органического происхождения ООО «Овощи Черноземья» и Водоканала г. Усмань на формирование донных сообществ реки, где в первом случае, по сравнению с фоновым створом у с. Красное, происходит смена типов сообществ и многократное снижение видового разнообразия, численности, биомассы, устойчивости, подавление информационного разнообразия и «скачок» энтропии, свидетельствующий либо о деградации, либо о периоде перестройки сообщества. В пункте ниже Водоканала фиксировались либо единичные особи полисапробных видов тубифицид и мелких двукрылых, либо полное отсутствие локального сообщества, как и в 2008 г. [22].

На «входе» в заповедник у сел Песковатка и Новоуглянец сообщества восстанавливают разнообразие, сопоставимое с данными 2008 г., которое сохраняется и на «выходе» из него у с. Малая Приваловка. Кормность водоема ниже северной границы заповедника была значительно меньше (преимущественно малокормные условия), чем у южной границы (от высококормных к весьма высококормным). Наблюдаемое в окрестности Веновитинского кордона снижение показателей разнообразия, устойчивости, падение энтропии не столь резко, но в общих чертах повторяет признаки деградации сообществ, вызванной, во-первых, особенностями чистых песчаных грунтов, слабо заселяемых гидробионтами, а во-вторых, локальным загрязнением водами подземной разгрузки в районе пляжа. Имеющийся данные по низовью реки позволяют заключить о снижении в 2021 г. роли фильтраторов — двустворчатых и переднежаберных брюхоногих моллюсков, частично в медиали замещенных губками р. *Ephydatia*, и усилении роли легочных моллюсков. Преобладают сообщества инсектарного типа с появлением crustacean-моллюсочного. Показатели численности сообществ остаются на прежнем уровне, показатели биомассы ввиду отсутствия крупных двустворчатых находятся на уровне моллюсочно-инсектарных сообществ 2010 г.

Сравнительный анализ структурных показателей локальных сообществ р. Усмани с другими малыми реками Оско-Донской равнины в пределах Воронежской области (Икорец, Хворостань, Савала [22]) показывает, что видовое и информационное разнообразие локальных сообществ р. Усмани (вне зоны сильного антропогенного влияния в верховье реки) находится на сходном с ними уровне, численность и биомасса — существенно ниже за счет относительно низкого обилия моллюсков и хирономид. Сообщества зообентоса этих рек преимущественно моллюсочного, реже — инсектарно-моллюсочного типа, где доминируют брюхоногие из р.р. *Lithoglyphus* и *Viviparus* либо двустворчатые р. *Sphaeriastrum*, а также перловицы и беззубки. В р. Усмани в 2021 г. эдификаторами моллюсочных и смешанных с ними сообществ выступают более эврибионтные, толерантные к пересыханию битинии р. *Opisthorchophorus*, катушки р. *Anisus*, р. *Planorbis* и прудовики.

Таким образом, экосистема реки в 2021 г. в результате токсификации и залповой биогенной дотации в верховье реки (сбросы «Овощей Черноземья», стоки Водоканала г. Усмань и последующее разложение массово погибающей

рыбы) на фоне маловодности 2021 г. претерпела смену доминантов в основных типах сообществ от верховья до низовья, при этом численность донных сообществ в среднем и нижнем течении, как и разнообразие вне зон антропогенного влияния, остались прежними. Смена эдификаторов произошла за счет ухода крупных и средних фильтраторов из двустворчатых и средних форм брюхоногих моллюсков, которые замещены более толерантными к пересыханию и кислородному режиму видами брюхоногих. Наиболее подвержены деструкции оказались все исследуемые локальные сообщества ниже сброса «Овощей Черноземья», Водоканала и в пункте разгрузки грунтовых вод у базы отдыха «Факел» (Веновитинский кордон).

Заключение. После загрязняющих сбросов в верховье р. Усмани, осуществленных в зимний период 2020–2021 гг. ООО «Овощи Черноземья» и Водоканалом г. Усмань, к концу летнего периода 2021 г. на территории заповедника гидрохимические показатели частично оптимизировались, оставаясь значительно повышенными по ряду показателей: по иону аммония превышение ПДК — в 3 раза, фосфатам — в 8 раз, БПК — в 1,1 раза.

Исследование состояния и структуры сообществ донных беспозвоночных (макрозообентос) позволило выявить обитание донных сообществ 7 типов: вермоидный, моллюсочный, инсектарный и смешанные типы — моллюсочно-вермоидный, вермоидно-инсектарный, моллюсочно-инсектарный и crustacean-моллюсочный. В верховье выявлено 6 типов сообществ, в среднем течении — 2, в нижнем — 5.

В зонах влияния предприятий Водоканал г. Усмань и ООО «Овощи Черноземья» в верховье реки и в зоне локального загрязнения в низовье (Веновитинский кордон) были распространены деградирующие сообщества вермодного типа, характеризующиеся крайне малой насыщенностью видами и особями, с исчезающе низкой либо нулевой энтропией.

К высокоустойчивым сообществам с фоновым состоянием доминантно-информационной структуры можно отнести сообщества верховья у с. Красное, зарослевые рипальные сообщества у северной границы заповедника в окрестности сел Песковатка и Новоуглянец и южнее заповедника — у с. Малая Приваловка в среднем течении, а также медиальные и рипальные сообщества приустьевого участка.

Список литературы

1. Иванчев В.П., Сарычев В.С., Иванчева Е.Ю. Современное состояние и динамика фауны и населения рыб малой реки лесостепной зоны Европейской России (на примере р. Усмань, бассейн Верхнего Дона) // Бюллетень Московского общества испытателей природы. Отдел биологический. 2013. Т. 118. № 4. С. 3–14.
2. Молоканова Л.В., Хицова Л.Н., Клепиков О.В., Платунин А.В. Санитарно-гигиеническая оценка качества воды в реке Девиче бассейна Верхнего Дона по сообществам перифитона искусственных субстратов // Здоровье населения и среда обитания. 2019. № 6 (315). С. 37–41. doi: 10.35627/2219-5238/2019-315-6-37-41
3. Попова А.Ю., Кузьмин С.В., Механтьев И.И. Оценка эффективности реализации системного подхода к обеспечению гигиенической безопасности питьевого и рекреационного водопользования населения на примере Воронежской области //

- Здоровье населения и среда обитания. 2021. Т. 29. № 8. С. 7–14. doi: 10.35627/2219-5238/2021-29-8-7-14
4. Дмитриева В.А., Сушков А.И., Закусилов В.П. Климатическая обусловленность современных гидроэкологических процессов в речных потоках бассейна Верхнего Дона // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология. 2022. № 2. С. 118–127. doi: 10.17308/geo.2022.2X9318
 5. Тарасова О.Г., Зайцев В.Ф. Биологическое разнообразие бентосных организмов низовьев Волги // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Рыбное хозяйство. 2016. № 1. С. 44–51.
 6. Алимов А.Ф. Элементы теории функционирования водных экосистем. Санкт-Петербург: Наука, 2000. 147 с.
 7. Розенберг Г.С. Информационный индекс и разнообразие: Больцман, Котельников, Шеннон, Уивер // Самарская Лука: проблемы региональной и глобальной экологии. 2010. Т. 19. № 2. С. 4–25.
 8. Юрченко В.В., Бирюкова М.Г., Лукина Д.Ю. Показатели биоразнообразия как критерий оценки экологического состояния водоемов г. Астрахани // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Рыбное хозяйство. 2019. № 4. С. 7–13. doi: 10.24143/2073-5529-2019-4-7-13
 9. Синькова И.С. Проблемы оценки антропогенной нагрузки на воды малых рек урбанизированных территорий // Региональные проблемы. 2022. Т. 25. № 3. С. 57–59. doi: 10.31433/2618-9593-2022-25-3-57-59
 10. Бакаева Е.Н., Тарадайко М.Н. Оценка качества вод малых рек бассейнов Северского Донца и Тузлова по биотическим индексам // Водные биоресурсы и среда обитания. 2021. Т. 4. № 1. С. 7–18. doi: 10.47921/2619-1024_2021_4_1_7
 11. Петров Д.С., Якушева А.М. Оценка экологического состояния малых водотоков Санкт-Петербурга по показателям зообентоса в 2019–2021 гг. // Вестник Санкт-Петербургского университета. Науки о Земле. 2022. Т. 67. № 3. С. 529–544. doi: 10.21638/spbu07.2022.308
 12. Новоселов А.П., Имант Е.Н., Артемьев С.Н., Матвеев Н.Ю., Матвеева А.Д. Современное состояние планктонных и бентосных сообществ устьевой области реки Северная Двина // Экология. 2022. Т. 60. № 3. С. 211–220. doi: 10.31857/S0367059722030088
 13. Лоскутова О.А., Батурина М.А. Сообщества макрозообентоса малых тундровых озер северо-востока Европейской части России // Биология внутренних вод. 2022. № 6. С. 749–758. doi: 10.31857/S0320965222060134
 14. Воробьева Л.В., Решетов И.С., Азовский А.И., Ковачева Н.П., Чертопруд Е.С. Закономерности распределения макрозообентоса в некоторых реках Европейской части России и сопредельных территорий // Зоологический журнал. 2020. Т. 99. № 8. С. 843–865. doi: 10.31857/S0044513420030149
 15. Шайхутдинова А.А. Сезонная динамика макрозообентоса при градиенте минерализации в реке Тузлукколь // Ученые записки Крымского федерального университета имени В.И. Вернадского. Биология. Химия. 2019. Т. 5 (71). № 2. С. 184–194.
 16. Чертопруд М.В. Разнообразие и классификация реофильных сообществ макробентоса средней полосы Европейской России // Журнал общей биологии. 2011. Т. 72. № 1. С. 51–73.
 17. Живоглядова Л.А., Сафронова Л.М., Шляхова Н.А., Бондарев С.В., Налётова Л.Ю., Афанасьев Д.Ф. Гидробиологическая характеристика реки дон в районе строительства Багаевского гидроузла // Вестник МГТУ. Труды Мурманского государственного технического университета. 2020. Т. 23. № 2. С. 131–138. doi: 10.21443/1560-9278-2020-23-2-131-138
 18. Деркач К.А., Прокофьев И.Л. Видовой состав и особенности распределения макрозообентоса реки Десны в пределах г. Брянска // Ученые записки Брянского государственного университета. 2018. № 4 (12). С. 35–41.
 19. Прожорина Т.И., Куролап С.А., Каверина Н.В. Гидрохимия речных вод Воронежской городской агломерации // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология. 2020. № 3. С. 78–85. doi: 10.17308/geo.2020.3/3027
 20. Летин А.Л., Межова Л.А. Современные природно-антропогенные геосистемы Воронежского государственного биосферного заповедника и проблемы сохранения биоразнообразия // Успехи современного естествознания. 2021. № 12. С. 154–159. doi: 10.17513/use.37752
 21. Силина А.Е. Донная и фитофильная макрофауна беспозвоночных р. Усмань в пределах Воронежского заповедника (Воронежская область) // Труды Воронежского государственного заповедника. Вып. XXVII. Под ред. П.Д. Венгерова. Воронеж: БиомиксАктив, 2012. С. 195–211.
 22. Прокин А.А., Петрухин Ю.К. Макрозообентос малых и средних рек Окско-Донской равнины в пределах Воронежской области (по данным 2008 г.) // Экология водных беспозвоночных. Сборник материалов Международной конференции, посвященной 100-летию со дня рождения Ф.Д. Мордухай-Болтовского. Ярославль: Принтхаус, 2010. С. 249–255.

References

1. Ivanchev VP, Sarychev VS, Ivancheva EYu. Modern condition and dynamics of fauna and the fish population of the forest-steppe zone small river in the European Russia (on the example of the Usman River, basin of the Upper Don). *Byulleten' Moskovskogo Obshchestva Ispytateley Prirody. Otdel Biologicheskiiy*. 2013;118(4):3–14. (In Russ.)
2. Molokanova LV, Khitsova LN, Klepikov OV, Platunin AV. Sanitary and hygienic assessment of water quality in the Devitsa River of the Upper Don basin by the periphyton community of artificial substrates. *Zdorov'e Naseleniya i Sreda Obitaniya*. 2019;(6(315)):37–41. (In Russ.) doi: 10.35627/2219-5238/2019-315-6-37-41
3. Popova AYU, Kuzmin SV, Mehanteyev II. Assessment of implementation efficiency of the system approach to ensuring safety of public drinking and recreational water use on the example of the Voronezh Region. *Zdorov'e Naseleniya i Sreda Obitaniya*. 2021;29(8):7–14. (In Russ.) doi: 10.35627/2219-5238/2021-29-8-7-14
4. Dmitrieva VA, Sushkov AI, Zakusilov VP. Climatic conditionality of modern hydroecological processes in river flows of the Upper Don basin. *Vestnik Voronezhskogo Gosudarstvennogo Universiteta. Seriya: Geografiya. Geoekologiya*. 2022;(2):118–127. (In Russ.) doi: 10.17308/geo.2022.2X9318
5. Tarasova OG, Zaitsev VF. Biological diversity of benthic organisms of the lower reaches of the Volga River. *Vestnik Astrakhanskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta. Seriya: Rybnoe Khozyaystvo*. 2016;(1):44–51. (In Russ.)
6. Alimov AF. [*Elements of the Theory of Functioning of Aquatic Ecosystems*.] St. Petersburg: Nauka Publ.; 2000. (In Russ.)
7. Rozenberg GS. Information index and diversity: Boltzmann, Kotelnikov, Shannon, Weaver... *Samarskaya Luka: Problemy Regional'noy i Global'noy Ekologii*. 2010;19(2):4–25. (In Russ.)
8. Yurchenko VV, Biryukova MG, Lukina DYU. Factors of biodiversity as criterion for evaluating ecological status of water bodies in Astrakhan. *Vestnik Astrakhanskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta. Seriya: Rybnoe Khozyaystvo*. 2019;(4):7–13. (In Russ.) doi: 10.24143/2073-5529-2019-4-7-13
9. Sinkova IS. Problems of assessing the anthropogenic load on small rivers in urbanized areas. *Regional'nye*

- Problemy*. 2022;25(3):57-59. (In Russ.) doi: 10.31433/2618-9593-2022-25-3-57-59
10. Bakaeva EN, Taradayko MN. Assessment of water quality in small rivers of the Seversky Donets and the Tuzlov river basins using biotic indices. *Vodnye Bioresursy i Sreda Obitaniya*. 2021;4(1):7-18. (In Russ.) doi: 10.47921/2619-1024_2021_4_1_7
 11. Petrov DS, Yakusheva AM. Assessment of the ecological state of small rivers of St Petersburg according to the benthic macroinvertebrates indicators in 2019–2021. *Vestnik Sankt-Peterburgskogo Universiteta. Nauki o Zemle*. 2022;67(3):529-544. (In Russ.) doi: 10.21638/spbu07.2022.308
 12. Novoselov AP, Imant EN, Artem'ev SN, Matveev NY, Matveeva AD. Current state of planktonic and benthic communities in the mouth part of the Northern Dvina River. *Russian Journal of Ecology*. 2022;53(3):212-220. doi: 10.1134/S1067413622030080
 13. Loskutova OA, Baturina MA. Macrozoobenthos communities in small tundra lakes of the European north-east of Russia. *Biologiya Vnutrennikh Vod*. 2022;(6):749-758. (In Russ.) doi: 10.31857/S0320965222060134
 14. Vorobjeva LV, Reshetov IS, Azovsky AI, Kovatcheva NP, Chertoprud ES. Patterns of macrozoobenthos distribution in some rivers of European Russia and adjacent regions. *Zoologicheskii Zhurnal*. 2020;99(8):843-865. (In Russ.) doi: 10.31857/S0044513420030149
 15. Shayhutdinova AA. The seasonal dynamics of macrozoobenthos at gradient mineralization in the Tuzlukkol River. *Uchenye Zapiski Krymskogo Federal'nogo Universiteta Imeni V.I. Vernadskogo. Biologiya. Khimiya*. 2019;52(71)(2):184-194. (In Russ.)
 16. Chertoprud MV. Diversity and classification of rheophilic communities of macrobenthos in middle latitudes of European Russia. *Zhurnal Obshchey Biologii*. 2011;72(1):51-73. (In Russ.)
 17. Zhivoglyadova LA, Safronova LM, Shlyahova NA, Bondarev SV, Naletova LYu, Afanasyev DF. Hydrobiological characteristics of the Don River in the region of the Bagayevsky hydroelectric complex construction. *Vestnik MGTU. Trudy Murmanskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta*. 2020;23(2):131-138. (In Russ.) doi: 10.21443/1560-9278-2020-23-2-131-138
 18. Derkach KA, Prokofyev IL. Species diversity and peculiarities of the distribution of macrozoobenthos within Desna River in Bryansk. *Uchenye Zapiski Bryanskogo Gosudarstvennogo Universiteta*. 2018;(4):35-41. (In Russ.)
 19. Prozhorina TI, Kurolap SA, Kaverina NV. Hydrochemistry of river waters in the Voronezh urban agglomeration. *Vestnik Voronezhskogo Gosudarstvennogo Universiteta. Seriya: Geografiya. Geoekologiya*. 2020;(3):78-85. (In Russ.) doi: 10.17308/geo.2020.3/3027
 20. Letin AL, Mezhova LA. Modern natural and anthropogenic geosystems of the Voronezh State Biosphere Reserve and problems of biodiversity conservation. *Uspekhi Sovremennogo Estestvoznaniya*. 2021;(12):154-159. (In Russ.) doi: 10.17513/use.37752
 21. Silina AE. [Bottom and phytophilic macrofauna of invertebrates of the Usman River within the Voronezh Reserve (Voronezh Region).] In: Vengerov PD, ed. [Works of the Voronezh State Reserve.] Issue XXVII. Voronezh: BiomikAktiv Publ.; 2012:195-211. (In Russ.)
 22. Prokin AA, Petrukhin YuK. [Macrozoobenthos of small and medium rivers of the Oka-Don plain within the Voronezh Region (according to 2008 data).] In: *Ecology of Aquatic Invertebrates: Proceedings of the International Conference Dedicated to the Centenary of the Birth of F.D. Mordukhay-Boltovsky, Borok, October 30 – November 2, 2010*. Yaroslavl': Printhus Publ.; 2010:249–255. (In Russ.)

