









DOI 10.23859/estr-230922

EDN OEUZAC

УДК 574.632 (574.583+574.587)

*Научная статья*

## **Оценка экологического состояния малой реки урбанизированной территории по характеристикам фитопланктона, зоопланктона и зообентоса на примере р. Содема (Вологодская область)**

Е.В. Лобуничева<sup>1\*</sup>, Н.Н. Макарёнкова<sup>1</sup>, К.Н. Ивичева<sup>2</sup>,  
И.В. Филоненко<sup>1</sup>, А.И. Литвин<sup>1</sup>, Е.С. Попета<sup>1</sup>,  
Н.В. Думнич<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Вологодский филиал ФГБНУ «ВНИРО» («ВологодНИРО»), 160012, Россия, г. Вологда, ул. Левичева, д. 5

<sup>2</sup> Санкт-Петербургский филиал ФГБНУ «ВНИРО» («ГосНИОРХ» им. Л.С. Берга), 199053, Россия, г. Санкт-Петербург, наб. Макарова, д. 26

\*lobunicheva\_ekat@mail.ru

**Аннотация.** По результатам исследований 2021 и 2022 гг. в р. Содеме (Вологодская область) зарегистрировано 125 видов и форм фитопланктона, 74 вида зоопланктона и 70 видов зообентоса. Выше по течению от г. Вологда фитопланктон реки немногочислен (0.2 млн кл./л и 0.3 г/м<sup>3</sup>), доминируют диатомовые водоросли. Зоопланктон и зообентос в верховьях наиболее разнообразны. Зоопланктон характеризуется высоким обилием (7.1 тыс. экз./м<sup>3</sup>, 0.5 г/м<sup>3</sup>). Водоток в верхнем течении оценивается как мезотрофный, чистый, β-мезосапробной зоны. В черте г. Вологда увеличивается разнообразие фитопланктона и обилие цианобактерий, эвгленовых и криптофитовых водорослей. Видовое богатство зоопланктона и зообентоса резко снижается. Обилие зоопланктона становится низким (0.8 тыс. экз./м<sup>3</sup>, 10 мг/м<sup>3</sup>). В зообентосе массово развиваются олигохеты. Нижнее течение р. Содемы характеризуется как эвтрофное и гиперэвтрофное, β-α-мезосапробной зоны. Наибольшее влияние загрязнение реки оказывает на состояние зообентоса, что связано с накоплением загрязняющих веществ в грунтах.

**Ключевые слова:** город Вологда, биоиндикация, гидробионты, сапробность, качество воды

**Благодарности.** Авторы признательны всем сотрудникам Вологодского филиала ФГБНУ «ВНИРО», принимавшим участие в отборе проб на анализируемом водотоке. Авторы также благодарят участников муниципального проекта «Ревитализация реки Содемы с преобразованием прибрежных территорий», особенно Е.В. Дробышеву, заведующую отделом природы БУК Вологодской области «Вологодский государственный музей-заповедник» и О.М. Тихову, начальника Отдела экологии Департамента городского хозяйства Администрации г. Вологды, за обсуждение полученных результатов.

**ORCID:**Е.В. Лобуничева, <https://orcid.org/0000-0002-4158-1804>Н.Н. Макаренкова, <https://orcid.org/0000-0001-8917-0150>К.Н. Ивичева, <https://orcid.org/0000-0002-4764-6138>И.В. Филоненко, <https://orcid.org/0000-0001-9259-4261>Е.С. Попета, <https://orcid.org/0000-0002-6816-1287>Н.В. Думнич, <https://orcid.org/0000-0001-9599-0358>

**Для цитирования:** Лобуничева, Е.В. и др., 2023. Оценка экологического состояния малой реки урбанизированной территории по характеристикам фитопланктона, зоопланктона и зообентоса на примере р. Содема (Вологодская область). *Трансформация экосистем* 6 (4), 119–140. <https://doi.org/10.23859/estr-230922>

Поступила в редакцию: 22.09.2023

Принята к печати: 24.10.2023

Опубликована онлайн: 13.11.2023







DOI 10.23859/estr-230922

EDN OEUZAC

UDC 574.632 (574.583+574.587)

*Article*

## **Assessing the ecological state of a small river in the urbanized area in terms of phytoplankton, zooplankton and zoobenthos characteristics (the Sodema River of Vologda Oblast as a case study)**

Ekaterina V. Lobunicheva<sup>1\*</sup> , Nadezhda N. Makarenkova<sup>1</sup> ,  
Kseniya N. Ivicheva<sup>2</sup> , Igor V. Filonenko<sup>1</sup> , Anatoliy I. Litvin<sup>1</sup>,  
Evgeny S. Popeta<sup>1</sup> , Nelya V. Dumnich<sup>1</sup> 

<sup>1</sup> Vologda Branch of FSBSI "VNIRO" ("VologodNIRO"), ul. Levicheva 5, Vologda, 160012 Russia

<sup>2</sup> St. Petersburg Branch of FSBSI "VNIRO" ("GosNIORKH" named after L.S. Berg), ul. Makarova 26, St. Petersburg, 199053 Russia

\*lobunicheva\_ekat@mail.ru

**Abstract.** During the studies (2021–2022) of the Sodema River (Vologda Oblast), a total of 125 species and forms of phytoplankton, 74 species of zooplankton and 70 species of zoobenthos were identified. Above the city of Vologda, the riverine phytoplankton was not abundant (0.2 mln cells/l, 0.3 g/m<sup>3</sup>); diatoms dominated. Zooplankton and zoobenthos in the upper river reaches were most diverse. Zooplankton number was very high (7.1 thous. ind./m<sup>3</sup>, 0.5 g/m<sup>3</sup>). Upstream, the river was assessed as mesotrophic, clean and β-mesosaprobic. Within the city of Vologda, phytoplankton diversity and abundance of cyanobacteria, euglena and cryptophyte algae increased, while species richness of zooplankton and zoobenthos sharply declined. Zooplankton number was low (0.8 thous. ind./

m<sup>3</sup>, 10 mg/m<sup>3</sup>). In zoobenthos, oligochaetes developed en masse. Low reaches of the Sodema were characterized as eutrophic, hypereutrophic and  $\beta$ - $\alpha$ -mesosaprobic. River pollution greatly affected zoobenthos because of pollutants accumulation in soil.

**Keywords:** Vologda city, bioindication, aquatic organisms, saprobity, water quality

**Acknowledgements.** The authors are grateful to all colleagues of the Vologda Branch of FSBSI “VNIRO” for collecting material. The authors also would thank the participants of the municipal project “Revitalization of the Sodema River through the riparian territories transformation”, especially E.V. Drobysheva, Head of Nature Department at the “Vologda State Museum-Reserve” and O.M. Tikhova, Head of Ecology Office of the Department of Municipal Economy at the Vologda Administration for discussion of the obtained results.

**ORCID:**

E.V. Lobunicheva, <https://orcid.org/0000-0002-4158-1804>

N.N. Makarenkova, <https://orcid.org/0000-0001-8917-0150>

K.N. Ivicheva, <https://orcid.org/0000-0002-4764-6138>

I.V. Filonenko, <https://orcid.org/0000-0001-9259-4261>

E.S. Popeta, <https://orcid.org/0000-0002-6816-1287>

N.V. Dumnich, <https://orcid.org/0000-0001-9599-0358>

**To cite this article:** Lobunicheva, E.V. et al., 2023. Assessing the ecological state of a small river in the urbanized area in terms of phytoplankton, zooplankton and zoobenthos characteristics (the Sodema River of Vologda Oblast as a case study). *Ecosystem Transformation* 6 (4), 119–140. <https://doi.org/10.23859/estr-230922>

Received: 22.09.2023

Accepted: 24.10.2023

Published online: 13.11.2023

---

## Введение

Малые водотоки – самые многочисленные и разнообразные водные объекты в таежной зоне. Они являются источниками водоснабжения, транспортными путями, приемниками сточных вод, зонами рекреации. Это определяет значительную антропогенную нагрузку на многие водотоки и высокую степень трансформации их экосистем.

Наиболее сильно антропогенная трансформация рек и ручьев проявляется в городах и вблизи крупных промышленных предприятий, где водотоки принимают в себя прямые сбросы предприятий и ливневой канализации, а их долины часто полностью преобразованы. Это определяет особенности формирующихся речных сообществ (Иванова, 1976; Крылов, 2005; Grizzetti et al., 2017).

Город Вологда изначально формировался как приречный населенный пункт, что явилось предпосылкой длительного многофакторного антропогенного воздействия на р. Вологду и ее притоки (Ивичева, 2019). В черте г. Вологда расположена большая часть течения рек Содемы и Шограша, берущих свое начало в Вологодском районе. Их экологическое состояние неблагоприятное в связи с отсутствием до последнего времени мероприятий по их восстановлению (Ивичева и Филоненко, 2013). При этом возрастает потребность населения в использовании долин и русел данных водотоков в рекреационных целях. Это особенно актуально для р. Содемы, так как она протекает в центральной части города.

Комплексных исследований разных групп гидробионтов р. Содемы ранее не проводилось. Исследования касались лишь отдельных групп животных (Вилкова и Мишенева, 2015; Зырина, 2013; Никулина, 2019). Кроме того, выполнялась оценка состояния реки по показателям зообентоса (Ивичева и Филоненко, 2019).

Целью настоящей работы была оценка экологического состояния разных участков р. Содемы по показателям фитопланктона, зоопланктона и зообентоса.

## Материал и методы

### Территория исследований

Река Содема является правым притоком р. Вологды и принадлежит к бассейну Белого моря. Современная длина реки составляет 19 км, что позволяет классифицировать ее как «очень малую» (Водогрецкий, 1990). Водоток берет начало из заболоченного участка Вологодско-Грязовецкой возвышенности. Большая часть реки расположена в Присухонской низине. Положение реки на границе моренной возвышенности и озерно-ледниковой низины определило сложность строения ее долины и сравнительно большое падение (Авдошенко и Рассохина, 1977).

В верхнем и среднем течении река протекает по слабохолмистой сильно освоенной в сельскохозяйственном отношении территории. Нижнее течение находится полностью в черте г. Вологды. До строительства в XVI в. Вологодского кремля и создания канала для обводнения рва вокруг него р. Содема впадала в другой приток р. Вологды – р. Шограш. В XVI в. значительный участок русла реки был засыпан и создан канал, соединяющий ее с р. Вологда (Орнатский, 1888). Этот участок реки длиной около 1.5 км носит название «Золотуха» и протекает по террасам р. Вологды. Р. Содема пересекается железной дорогой, автомобильной трассой М-8 и многочисленными городскими улицами, где обустроены водопропускные трубы и мостовые переходы. В 2.7 км выше устья реки находится плотина для технического водоснабжения. На берегах и в русле реки расположены многочисленные водовыпуски ливневой канализации и предприятий города. Очистные сооружения на части из них отсутствуют. Водосбор реки на всем протяжении существенно изменен. Леса занимают лишь 6% его площади; 42% приходится на поля, 52% – на территорию населенных пунктов (Ивичева и Филоненко, 2013).

Уровень воды в нижнем течении реки зависит от особенностей поступления в нее сточных вод. Средняя ширина водотока в меженный период составляет 0.5–1.0 м, скорость течения–0.01–0.06 м/с, в нижнем течении показатели возрастают до 2.0–5.0 м и 0.1–0.5 м/с соответственно (Табл. 1). Наибольшая скорость течения регистрируется в приплотинном и устьевом участках. Средняя глубина реки варьирует от 0.1 до 0.2 м, а наибольшая достигает 1.5 м. В меженный период водность р. Содемы сильно уменьшается; в верхнем течении она пересыхает. Из-за постоянного поступления сточных вод водоток в пределах города практически не замерзает.

Донные отложения р. Содемы преимущественно песчаные, песчано-глинистые (Табл. 1). В среднем течении отмечается сильное заиление дна. На участках в центральной части города и месте пересечения трассой М-8 дно и берега водотока выстланы железобетонными плитами и габионами. На отдельных участках долина реки сильно захлапнена.

Сброс загрязненных вод в реку повлиял на ее гидрохимический режим. Вода в реке имеет слабощелочную реакцию и в сравнении с большинством водных объектов региона обладает высокой

Табл. 1. Характеристика станций отбора проб на разных участках р. Содемы. Указаны средние значения в летний период.

№ станции	Средняя глубина, м	Средняя ширина, м	Средняя скорость течения, м/с	Характер грунта	Концентрация кислорода, мг/л	Минерализация, мг/л
1	0.1	0.5–0.7	0	песок, глина, детрит	5.6	576
2	0.4	2.0–2.5	0.01	песок, детрит, камни	9.9	716
3	0.5	2.0–3.0	0.06	песок, камни	6.7	718
4	0.4	0.5–2.0	0.02	песок, ил, детрит	7.0	673
5	1.0	2.0–4.0	0	ил	5.8	941
6	1.2	3.0–4.0	0.1	ил	3.6	1251
7	1.5	2.5–3.0	0.5	песок, ил	5.6	1052
8	0.7	4.0–5.0	0.2	песок, камни	4.4	997
9	1.2	3.0–5.0	0.5	песок, камни	8.5	724

минерализацией, которая возрастает в черте города (Табл. 1). На участках среднего и нижнего течения в воде регистрировали повышенные концентрации минеральных форм азота и фосфора, нефтепродуктов. В нижнем течении концентрация аммонийного азота больше установленных нормативов для рыбохозяйственных водоемов<sup>1</sup>. Концентрация нитритного азота и фосфатов в воде превышают ПДК на всем протяжении реки. Также регистрируется повсеместное и систематическое загрязнение водотока нефтепродуктами. В приустьевых участках реки из-за эффекта разбавления и обратного течения при высоком уровне воды наблюдается снижение концентраций загрязняющих веществ, а также увеличение содержания в воде растворенного кислорода.

На большинстве участков реки в черте города средняя концентрация растворенного кислорода в 2021, 2022 гг. была менее 6 мг/л. В меженный период на участках интенсивного поступления в водоток сточных вод (ст. 5–7) содержание в воде кислорода снижается до 2 мг/л (Табл. 1).

### **Сбор и обработка проб**

Полевые исследования гидробионтов р. Содемы выполнены в мае–октябре 2021 г. и мае–августе 2022 г. Отбор проб проводили на 9 участках водотока (Рис. 1). Станции 1 и 2 расположены в верхнем течении реки, где антропогенное воздействие на водоток наименьшее; ст. 3 – на границе г. Вологды. Станции 4–9 находятся в черте города, в частности, ст. 7 – ниже по течению от плотины технического водоснабжения, ст. 9 – в устье р. Содемы.

Фитопланктон анализировали по материалу, собранному в июне 2021 г. Интегральные пробы фитопланктона отбирали батометром Паталаса (1 л), фиксировали раствором Люголя с добавлением формалина, затем через отстаивание концентрировали их до объема 10 мл. Количественную обработку проводили с использованием счетной камеры Нажотта (0.01 мл), микроскопа ЛОМО Микмед 6. Названия таксонов водорослей приведены в соответствии с системой *AlgaeBase* (Guiry and Guiry, 2023). Частота встречаемости вида вычислялась как отношение числа проб, в которых он был отмечен, к общему количеству проб. Биомассу определяли объемно-расчетным методом, удельный вес водорослей принимался равным 1 г/м<sup>3</sup> (Кузьмин, 1975). К доминантам относили виды, составляющие  $\geq 10\%$  от суммарной численности или биомассы фитопланктона. Трофический статус устанавливали по биомассе фитопланктона согласно классификации И.С. Трифионовой (1990). В размерной структуре по линейным размерам одиночных клеток и колоний водорослей выделяли следующие фракции: меньше 30, 30–70 и больше 70 мкм.

Сбор проб зоопланктона выполняли процеживанием фиксированного объема воды через сеть Джеди (сито с размером ячеек 75 мкм) с последующей фиксацией 4% раствором формалина. Камеральную обработку проб зоопланктона проводили в соответствии с общепринятыми методиками (Методические рекомендации..., 1982) и определителями (Коровчинский и др., 2021; Кутикова, 1970; Определитель зоопланктона..., 2010 и др.) Биомассу зоопланктона рассчитывали по формулам связи массы и длины тела организмов (Балушкина и Винберг, 1979; Методические рекомендации..., 1982; Ruttner-Kolisko, 1977). Доминантными считали виды с относительными численностью или биомассой более 5% отдельно в группах коловраток и ракообразных. В работе проанализированы сборы зоопланктона 2021 и 2022 гг.

Отбор проб зообентоса осуществляли в мае и июне 2021 г. Для отбора проб использовали штанговый дночерпатель ГР-91 с площадью ковша 0.007 м<sup>2</sup> и гидробиологический скребок. Также проводили смыв макробеспозвоночных с камней. Для промывки проб использовался газ с ячейей 250 мкм. Организмы фиксировали 4% раствором формалина. В камеральных условиях организмы идентифицировали до наименьшего определяемого таксона и взвешивали на электронных аналитических весах. Доминантными считали виды с численностью или биомассой более 10%. Видовое богатство, количественные показатели, расчетные индексы зообентоса приводятся в среднем за два периода наблюдений.

В общей сложности в рамках данной работы было проанализировано 10 проб фитопланктона, 99 – зоопланктона, 38 – зообентоса.

Для оценки экологического состояния реки использовали индексы видового разнообразия Шеннона–Уивера (Shannon and Weaver, 1949), сапробности Пантле и Букка (Pantle and Buck, 1955) в модификации Сладечека (Sladecsek, 1973) с применением списков видов (Баринова и др., 2006;

<sup>1</sup> Приказ Министерства сельского хозяйства РФ от 13 декабря 2016 г. № 552 «Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения».

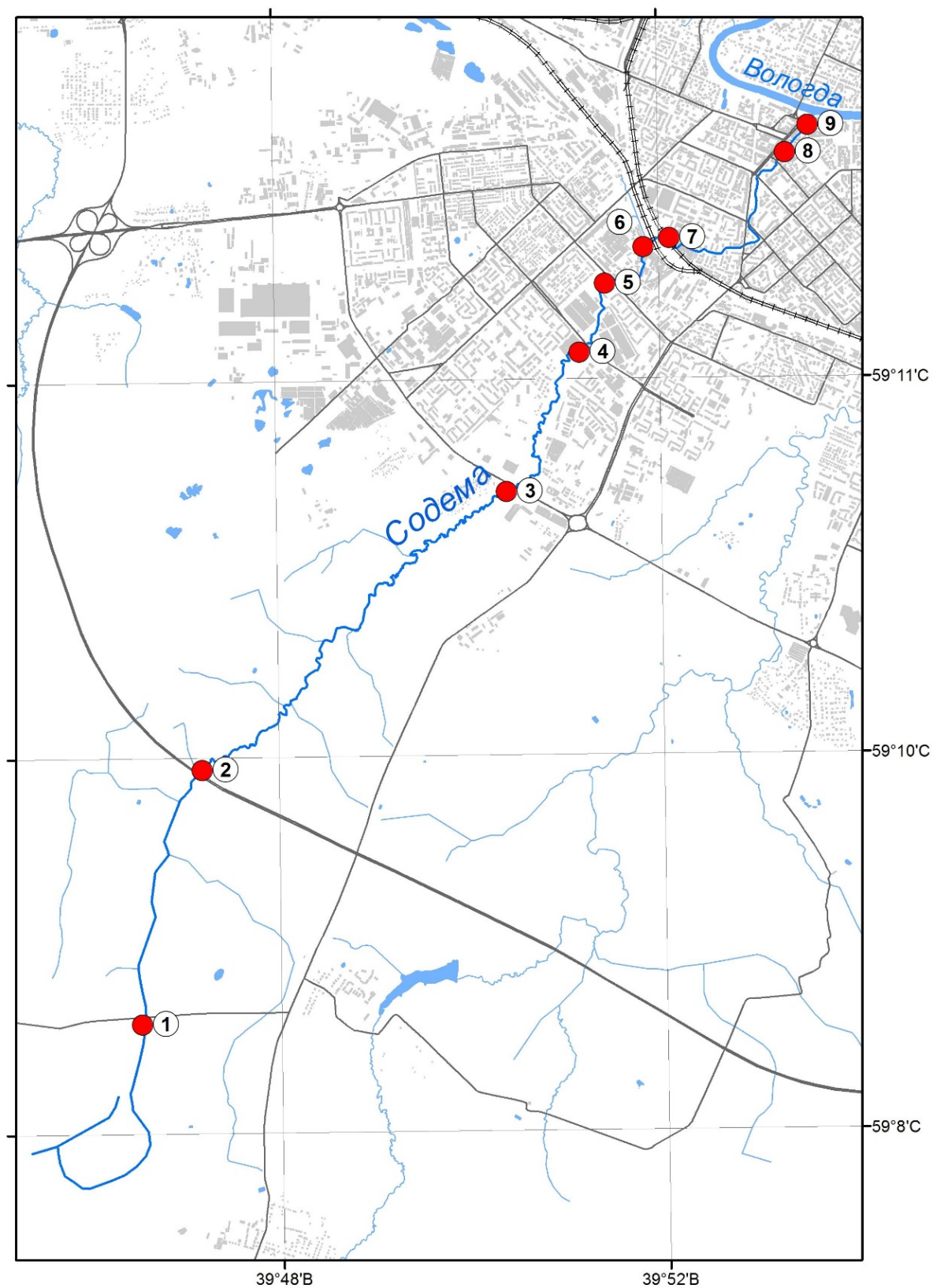


Рис. 1. Схема расположения станций отбора проб на р. Содеме.

**Табл. 2.** Характеристика структурных показателей фитопланктона на разных участках р. Содема.  $H_{(N/B)}$  – индекс Шеннона–Уивера по численности/биомассе,  $S_{(N/B)}$  – индекс сапробности по численности/биомассе; зона сапробности:  $\beta$  –  $\beta$ -мезосапробная зона.

Показатель	Станция								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Число таксонов	11	19	35	18	29	41	45	39	55
$H_{(N)}$ , бит/кл.	1.9	1.9	1.9	1.9	2.0	2.2	2.1	2.6	2.0
$H_{(B)}$ , бит/г	1.9	2.0	2.1	1.7	1.7	2.6	2.1	2.0	2.1
$S_N$	2.2	1.9	2.0	2.2	2.1	2.2	2.2	1.9	1.9
$S_B$	2.1	1.9	2.1	2.3	2.1	2.2	2.2	2.1	1.6
Зона сапробности	$\beta$	$\beta$	$\beta$	$\beta$	$\beta$	$\beta$	$\beta$	$\beta$	$\beta$

Marvan et al., 2005; Sladecsek, 1973, Wegl, 1983), Гуднайта–Уитли (Goodnight and Whitley, 1961). Класс качества и степень загрязнения определяли согласно ГОСТ 17.1.3.07-82<sup>2</sup>. Для зоопланктона рассчитывали коэффициент трофии (Мяэметс, 1980), среднюю индивидуальную биомассу зоопланктона (Крючкова, 1987) и соотношения количественных показателей основных групп зоопланктона:  $N_{Crust}/N_{Rot}$ ,  $N_{Clad}/N_{Cop}$  (Андроникова, 1996).

Характер грунта в реке оценивали визуально, скорость течения измеряли гидрометрической микровертушкой ГМЦМ-1; концентрацию кислорода, активную реакцию среды и минерализацию – переносными анализаторами «САМАРА-2рН», МАРК-603, рН ОНАУС STARTER 300. Данные о химическом составе воды предоставлены Департаментом городского хозяйства Администрации г. Вологда в рамках сотрудничества по муниципальному проекту «Ревитализация реки Содемы с преобразованием прибрежных территорий».

Математическая обработка данных проводилась стандартными статистическими методами (Ивантер и Коросов, 2010) с использованием программного обеспечения MS Excel 2010 (встроенных функций, а также макросов, специально созданных для расчета отдельных параметров).

## Результаты исследований

### Фитопланктон

В фитопланктоне р. Содемы зарегистрировано 125 видов, разновидностей и форм водорослей. Среди них большую часть составляют диатомовые водоросли (65 таксонов). На втором месте по насыщенности видами – зеленые (26). Из эвгленовых водорослей отмечены 14 таксонов, из цианобактерий – 9, из криптофитовых – 7. Небольшим числом видов (1–2) были представлены золотистые, динофитовые и желтозеленые водоросли. В водотоке повсеместно распространены *Euglena viridis* (O.F. Müller) Ehrenberg, *Navicula cryptocephala* Kützing, *Ulnaria ulna* (Nitzsch) Compère, также часто встречаются *Nitzschia vermicularis* (Kützing) Hantzsch (89%), *Fragilaria capucina* Desmazières (78%), *Nitzschia acicularis* (Kützing) W. Smith (78%), *Surirella minuta* Brébisson ex Kützing (78%).

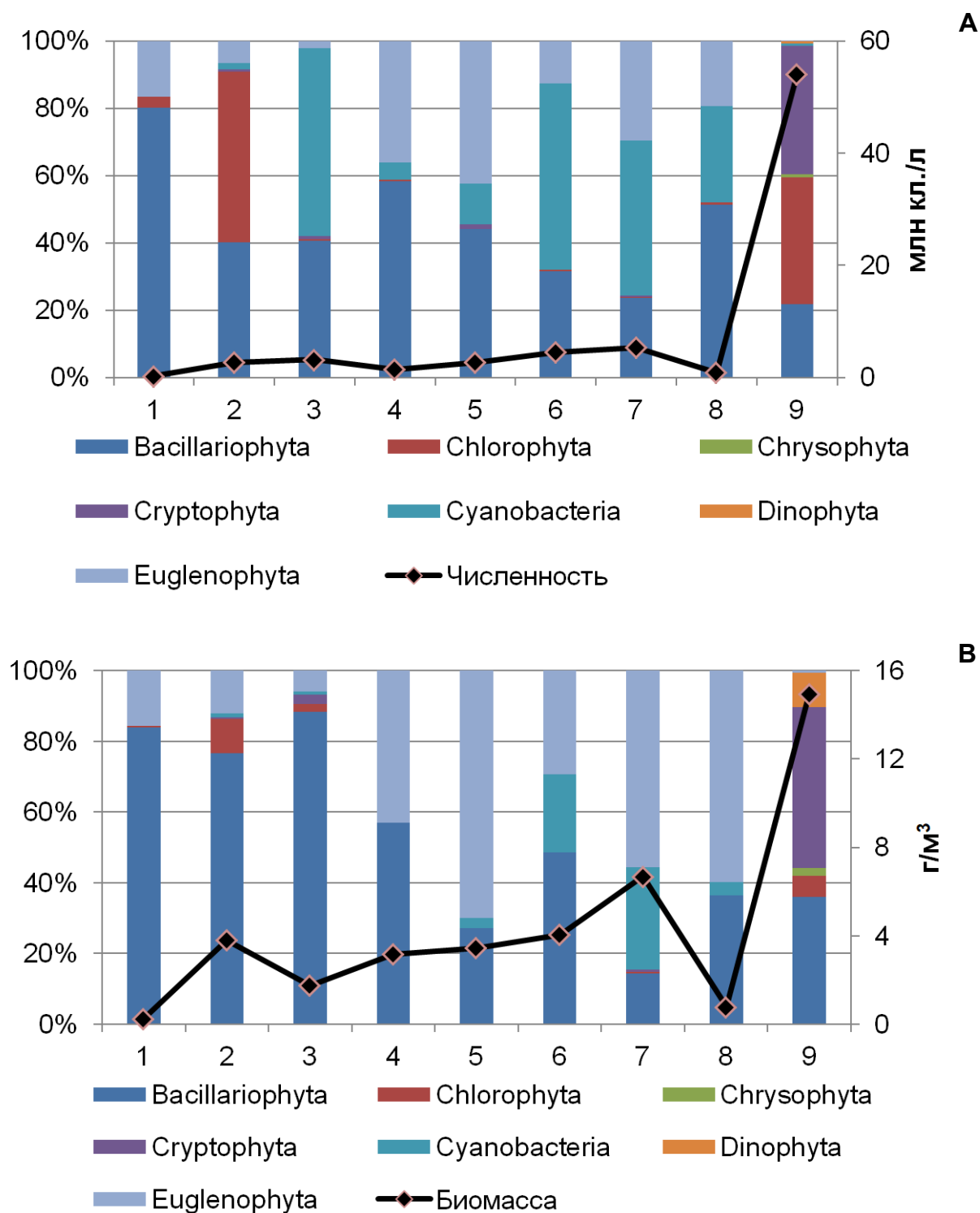
В целом количество видов, разновидностей и форм водорослей в реке увеличивается от истока к устью с 11 до 55 (Табл. 2), при этом в таксономической структуре снижается значение диатомовых водорослей (с 82% до 40%) и повышается – эвгленовых (с 9% до 26% на станции № 8). Наиболее сложной структурой характеризуется альгоценоз в устьевой части реки, где было меньше обилие и диатомовых, и эвгленид, но в большем количестве присутствовали зеленые и криптофитовые водоросли. Кроме того, на этом участке зарегистрированы золотистые, динофитовые и желтозеленые водоросли.

Численность и биомасса фитопланктона наиболее высоки в устье реки (54.09 млн кл./л и 14.96 г/м<sup>3</sup>) (Рис. 2), что позволяет охарактеризовать этот участок реки как высокоэвтрофный. В сообществе преобладают криптофитовые (38% численности и 46% биомассы), диатомовые (22% и 36%) и зеленые (38% численности) водоросли. Прирост численности и биомассы водорослей

<sup>2</sup> ГОСТ 17.1.3.07-82. Охрана природы Гидросфера. Правила контроля качества воды водоемов и водотоков: Межгосударственный стандарт. Дата введения 01.01.1983.

в устье реки имел место прежде всего в мелкоразмерной фракции (< 30 мкм) (Табл. 3), представленной одиночными клетками и в меньшей степени небольшими колониями.

В верхнем течении состояние реки оценивается как олиготрофное (0.24 млн кл./л и 0.25 г/м<sup>3</sup>), преобладают диатомовые водоросли (80% и 84%) в виде одиночных клеток средних размеров (30–70 мкм). Фитопланктон на ст. 2 отличается большей долей зеленых водорослей (51% численности и 10% биомассы). В черте города количество водорослей увеличивается. По величинам



**Рис. 2.** Средние численность (А) и биомасса (В), соотношение основных групп фитопланктона на разных участках р. Содемы в июне 2021 г.



Табл. 3. Численность и биомасса размерных классов фитопланктона на разных участках р. Содемы.

Размерный класс, мкм	Станция								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Численность, млн экз./л									
< 30	0.10	0.36	0.53	0.16	0.35	0.70	1.19	0.28	35.26
30–70	0.14	0.62	0.84	0.92	1.88	1.21	1.62	0.35	3.85
> 70	0.01	0.24	0.11	0.22	0.09	0.15	0.10	0.04	1.03
Биомасса, г/м <sup>3</sup>									
< 30	0.06	0.38	0.23	0.07	0.31	0.50	1.97	0.15	8.26
30–70	0.13	1.51	0.85	2.06	2.41	1.57	2.57	0.50	5.60
> 70	0.06	1.92	0.68	1.04	0.72	1.97	2.15	0.12	1.10

их биомассы река соответствует мезотрофному типу с переходом к эвтрофному ниже плотины (5.35 млн кл./л и 6.69 г/м<sup>3</sup>). На этом участке реки вклад диатомовых водорослей в численность и биомассу фитопланктона снижается с увеличением доли синезеленых и эвгленовых. В размерной структуре преобладают одиночные клетки средней и крупной (> 70 мкм) фракции. Ниже плотины значительную часть биомассы составляют длинные нити *Oscillatoria limosa* C. Agardh ex Gomont. В центральной части города (ст. 8) фитопланктон реки вновь приобретает олиготрофные черты (0.92 млн кл./л и 0.77 г/м<sup>3</sup>), но, в отличие от верховьев, большее значение в сообществе на этом участке имеют эвгленовые и синезеленые водоросли.

Наиболее частым доминантом в фитопланктоне реки была *Euglena viridis*, доля которой была выше в черте города. В верхнем течении среди доминантов встречаются виды рода *Navicula* Borg, *Ulnaria ulna*; при приближении к центру города в доминантном комплексе появляются виды из рода *Nitzschia* Hassall (Bacillariophyta), а также цианобактерия *Oscillatoria limosa*.

Индекс видового разнообразия Шеннона, рассчитанный по численности и биомассе фитопланктона, изменяется в незначительных пределах (1.9–2.6 бит/кл. и 1.7–2.6 бит/г). Увеличение разнообразия альгоценоза наблюдается перед плотинной и в нижнем течении реки (Табл. 2). Показатели сапробности по численности фитопланктона варьируют от 1.9 до 2.2, по биомассе – от 1.6 до 2.3, соответствуя β-мезосапробным условиям и умеренному загрязнению. Снижение величин сапробности наблюдается на участке реки вблизи трассы М-8 и в устьевом участке.

В фитопланктоне р. Содемы преобладают виды-индикаторы, указывающие на низкую степень органического загрязнения; наибольшее их количество отмечено выше города и в устьевой части реки. Широко представлены в реке индикаторы средней степени загрязнения, участие которых возрастает от истока к устью. Максимум числа индикаторов высокого органического загрязнения наблюдался на участках реки ниже по течению от плотины.

### Зоопланктон

В составе летнего зоопланктона р. Содемы обнаружено 74 вида (Rotifera – 32, Cladocera – 18, Sorepoda – 24). Большинство зарегистрированных видов – эврибионты. Число видов зоопланктона в единичной пробе низкое: в верхнем течении этот показатель составляет в среднем 8, в черте города не превышает 5. Наиболее разнообразно (26–27 видов) сообщество в верхнем течении реки и на периферии города, в том числе на участках русла, заросших макрофитами (ст. 1, 4). На участках с искусственным покрытием дна, характеризующихся сравнительно высокой скоростью течения (ст. 2, 3, 8, 9), а также вблизи сброса неочищенных сточных вод (ст. 6) видовое богатство зоопланктона снижается до 15–20 видов. В верхнем течении реки зарегистрировано наибольшее число видов кладоцер (9). В черте города увеличивается разнообразие коловраток (26 видов).

В составе зоопланктона реки отсутствуют виды-индикаторы олиготрофии. Индикаторы эвтрофных условий обнаружены на всех участках водотока. Их доля в общей численности зоопланктона увеличивается в черте города (Табл. 4), достигая максимума (52%) в приплотинном участке.

**Табл. 4.** Характеристики зоопланктона на разных участках р. Содемы.  $H_{(N/B)}$  – индекс Шеннона–Уивера по численности/биомассе,  $E$  – коэффициент трофии,  $W$  – средняя индивидуальная масса зоопланктона,  $N_{Crust}/N_{Rot}$  – отношение численностей ракообразных и коловраток,  $N_{Clad}/N_{Cop}$  – отношение численностей клadoцер и копепоид,  $S$  – индекс сапробности по численности, ОЧ – относительная численность; уровень трофии: м – мезотрофный, э – эвтрофный, г – гиперэвтрофный; зона сапробности: о – олигосапробная, β – β-мезосапробная; класс качества воды: II – чистые, III – умеренно загрязненные.

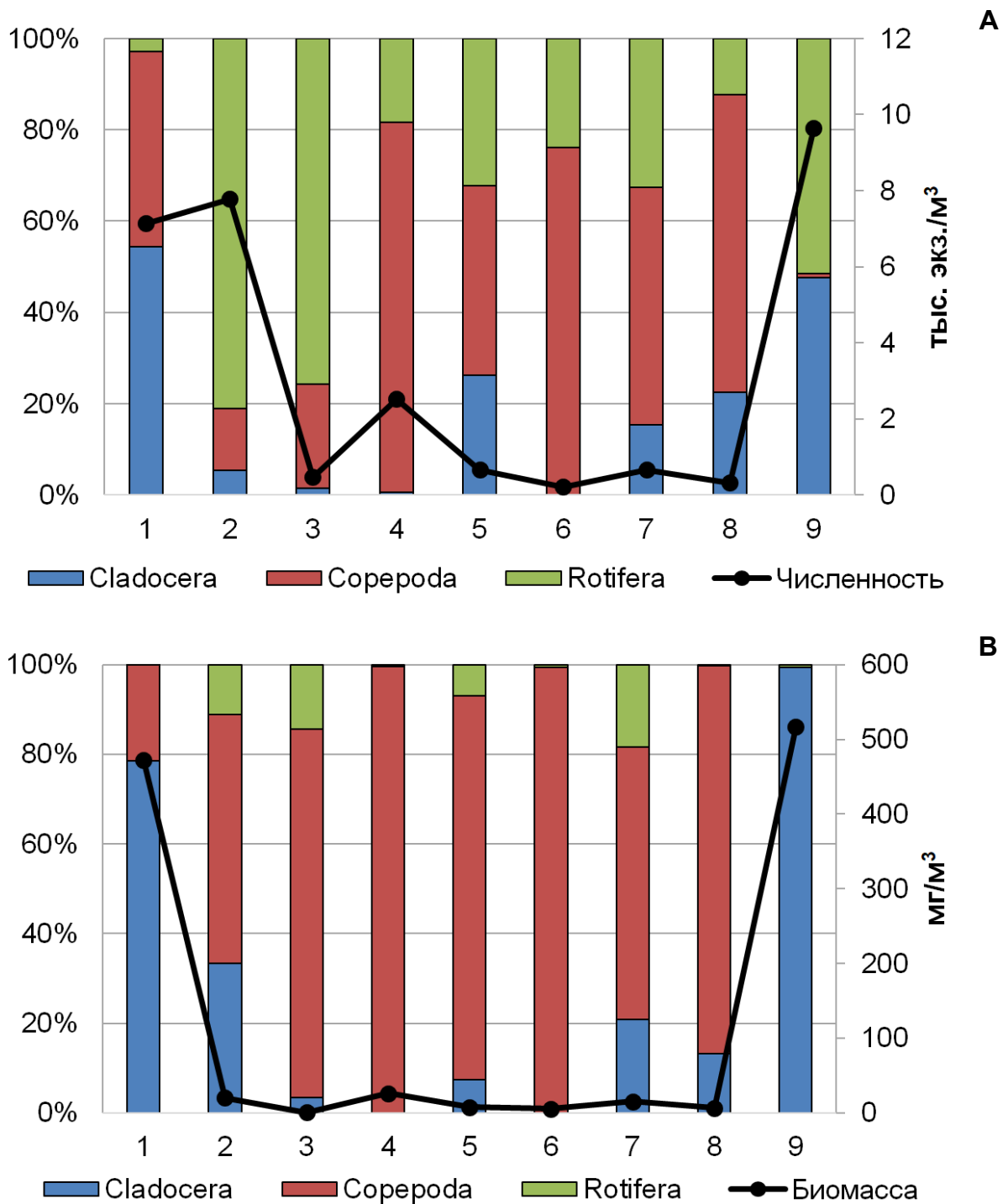
Характеристики	Станция								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Число видов	26	21	16	27	21	18	23	14	15
$H_{(N)}$ , бит/экз.	1.9	2.0	1.4	2.2	2.1	1.8	1.6	2.3	1.7
$H_{(B)}$ , бит/г.	1.4	2.0	1.0	1.2	1.6	1.4	1.1	1.2	1.1
Уровень трофии по $H$	э	э	э	э	э	э	э	э	э
$E$	0.4	2.8	1.6	1.1	2.8	2.3	4.2	2.9	3.1
Уровень трофии по $E$	м	э	э	э	э	э	г	э	э
$W$ , мг	0.047	0.009	0.004	0.009	0.011	0.009	0.015	0.017	0.024
$N_{Crust}/N_{Rot}$	6.0	15.2	4.2	3.7	0.8	5.1	4.2	6.7	5.0
$N_{Clad}/N_{Cop}$	2.0	0.4	0.1	0.01	0.6	6.5	0.7	0.3	1.2
$S_N$	1.5	1.4	1.4	1.6	2.0	2.0	1.8	1.7	1.5
Зона сапробности	о	о	о	β	β	β	β	β	о
Класс качества воды	II	II	II	III	III	III	III	III	II
ОЧ видов-индикаторов эвтрофирования, %	11.6	32.2	31.6	19.6	22.6	23.0	52.4	30.0	3.6

На участках реки вблизи водовыпусков сточных вод увеличивается обилие *Bosmina longirostris* (O.F. Müller, 1776) (до 20% общей численности зоопланктона) и *Brachionus quadridentatus* Hermann, 1783 (до 80% общей численности). На отдельных участках реки эта коловратка была единственным представителем зоопланктона в пробах. Для зоопланктона реки на всем ее протяжении свойственно низкое видовое разнообразие и соответственно высокий уровень доминирования (Табл. 4). В центральной части города индекс видового разнообразия зоопланктона снижается.

Обилие планктонных животных очень сильно различается на разных участках реки. Наибольшие численность и биомасса зоопланктона регистрируются в верховьях и устье реки (Рис. 3). Средняя численность организмов на этих участках равна 8 тыс. экз./м<sup>3</sup>, биомасса – 0.5 г/м<sup>3</sup>. Основу сообщества в верхнем течении реки составляют ракообразные: *Moina brachiata* (Jurine, 1820), *Daphnia galeata* Sars, 1864, *Acanthocyclops vernalis* (Fischer, 1853), *Mesocyclops leuckarti* (Claus, 1857).

В устьевой части реки пространственная структура зоопланктона неоднородна. На стрежне обилие зоопланктона низкое (0.4 тыс. экз./м<sup>3</sup>, 4 мг/м<sup>3</sup>). В составе зоопланктона зарегистрированы лишь *Daphnia galeata* и *Macrocyclus albidus* (Jurine, 1820), *Brachionus quadridentatus*, *Rotaria* sp., *Eucyclops serrulatus* (Fischer, 1851). Высокие численность и биомасса зоопланктона в приустьевом участке реки отмечены в начале лета в прибрежной части русла, где течение замедлено. Здесь массово развиваются *Daphnia galeata*, *Polyphemus pediculus* (L., 1761), *Scapholeberis mucronata* (O.F. Müller, 1776), коловратки родов *Lecane* и *Synchaeta*. В конце лета из-за обмеления этого участка реки обилие зоопланктона снижается. Средняя численность зоопланктона составляет 28 тыс. экз./м<sup>3</sup>, биомасса – 1.5 г/м<sup>3</sup>.

Средняя численность зоопланктона реки в черте города составляет 0.8 тыс. экз./м<sup>3</sup> при биомассе 10 мг/м<sup>3</sup> (Рис. 3). Минимальное обилие регистрируется на участках, где увеличивается скорость течения (ст. 3, 8), а также вблизи водовыпусков (ст. 5, 6). В составе зоопланктона реки на участках с высокой антропогенной нагрузкой преобладают организмы малых размеров. Средняя индивидуальная масса зоопланктона в черте города по сравнению с участками верхнего течения снижается в 4 раза (Табл. 4). Наибольшие численность и биомасса характерны для веслоногих ракообраз-



**Рис. 3.** Средние численность (А) и биомасса (В), соотношение основных групп летнего зоопланктона на разных участках р. Содемы в 2021 г.

ных (Рис. 3, Табл. 4). Особенностью зоопланктона реки является низкая численность науплиусов. Увеличение обилия клadoцеров отмечается лишь в отдельные периоды наблюдений за счет *Moina brachiata*. Сравнительно высокой плотности в водотоке достигают коловратки (Рис. 3). В разные периоды наблюдений доминируют *Euchlanis meneta* Myers, 1930, *E. dilatata* Ehrenberg, 1832, *Keratella quadrata* (Müller, 1786), *Platylas quadricornis* (Ehrenberg, 1832), *Synchaeta* sp., *Rotaria* sp.

Величины индекса сапробности, рассчитанные по численности зоопланктеров, на участках реки в черте города соответствуют умеренному загрязнению ( $\beta$ -мезосапробная зона). В цен-

тральной части города этот показатель возрастает. Коэффициент трофии в приплотинном участке в 10 раз выше, чем в верховьях реки, доля индикаторов эвтрофирования в общей численности превышает 50%. В целом по величинам этого показателя водоток в черте города оценивается как эвтрофный, а в районе плотины – гиперэвтрофный.

### Зообентос

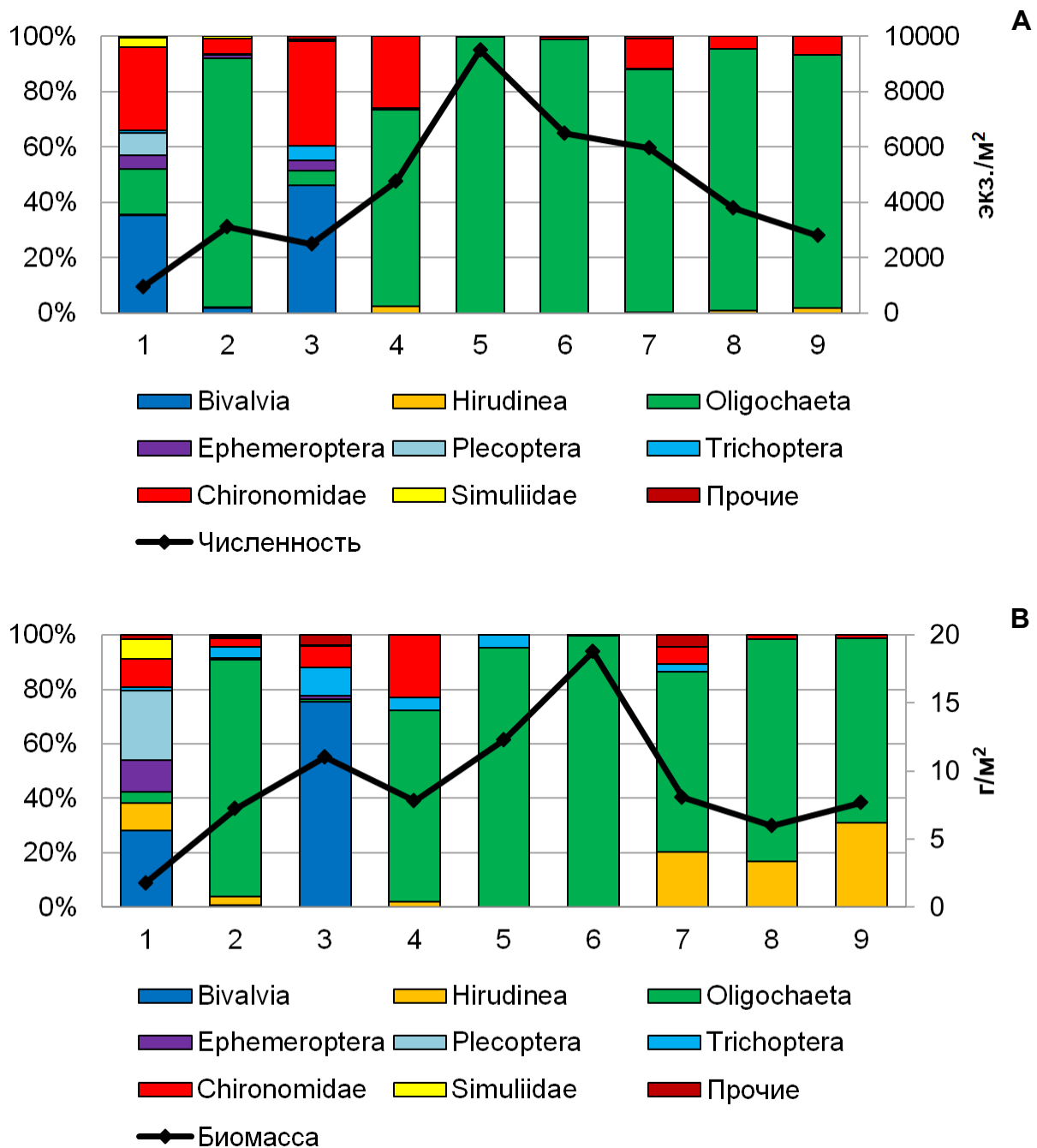
Всего в апреле и июне 2021 г. в составе зообентоса р. Содемы отмечено 70 видов и таксонов более высокого ранга. Наибольшее количество видов приходится на амфибиотических насекомых (48), из них 26 – представители Chironomidae. Малощетинковые черви представлены 11 видами. Список моллюсков и пиявок содержит по 5 видов каждый. Из ракообразных обнаружен только *Asellus aquaticus* (L., 1758). Единично в пробах бентоса встречались Hydracarina gen. sp.

В верхнем течении помимо самых распространенных групп зообентоса: хирономид, олигохет и моллюсков – встречаются типичные реофильные группы беспозвоночных: веснянки, поденки и мошки (Рис. 4). Всего здесь зарегистрировано 29 видов водных макробеспозвоночных (Табл. 5). На ст. 2 отмечается доминирование в донных сообществах олигохет, что, по-видимому, является следствием смыва удобрений с полей. При этом видовое богатство бентоса на этом участке реки сравнительно высокое (24 вида).

Ниже по течению реки на границе с чертой города отмечается наибольшее видовое богатство зообентоса (32 вида). Олигохеты на этом участке составляют чуть более 15% численности. Зарегистрировано максимальное число видов ручейников и поденок (по 4), хирономид (13). Здесь же отмечены наибольшая численность и биомасса личинок прочих двукрылых: болотниц, слепней, мошек. Структура сообществ зообентоса реки изменяется в черте города. При прохождении реки по территории города и до плотины (ст. 4–6) наблюдается рост численности и биомассы зообентоса и увеличение в них доли олигохет. При этом число видов на данном участке снижается и достигает минимума (4) перед плотинной. Доминируют *Tubifex tubifex* (Müller, 1774) и *Limnodrilus hoffmeisteri* Claparède, 1862. Ниже по течению от плотины (ст. 7) наблюдается восстановление донных сообществ. Только здесь зарегистрирован *Asellus aquaticus*. На участке в центре города (ст. 8) отмечено доминирование олигохет, однако, в отличие от станций выше плотины, доминирует здесь *Stylaria lacustris* (L., 1758). На всех участках реки ниже по течению от плотины встречаются пиявки *Erpobdella* sp., составляющие до 50% биомассы. Наибольшие значения видового богатства и видового разнообразия зообентоса в реке наблюдается на ст. 3 – на границе с городом (Табл. 5). Снижение видового разнообразия сообщества в верховьях реки обусловлено доминированием веснянок, мошек и двустворчатых моллюсков. Высокое видовое разнообразие при низком видовом богатстве отмечено также в устье реки, что является следствием выравнивания сообществ зообентоса на данном участке. Снижение индекса видового разнообразия при высоком видовом богатстве отмечено на ст. 2, что вызвано доминированием олигохеты *T. tubifex*. Вероятно, на данном участке наблюдается локальное загрязнение (предположительно вследствие смыва удобрений).

**Табл. 5.** Характеристики зообентоса разных участков р. Содемы.  $H_{(N)}$  – индекс Шеннона–Уивера по численности,  $S_{(N)}$  – индекс сапробности по численности; качество вод: з – загрязненные воды, г – грязные (Балушкина, 1987); зона сапробности: β – β-мезосапробная зона, α – α-мезосапробная зона, ρ – полисапробная зона; класс качества воды: I – очень чистые, V – грязные, VI – очень грязные.

Характеристика	Станция								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Число видов	29	24	32	15	4	4	17	11	7
$H_{(N)}$ , бит/экз.	1.4	0.8	1.7	1.3	0.01	0.2	0.9	0.9	1.5
Качество вод	з	г	з	з	г	г	г	г	з
$S_{(N)}$	1.9	3.5	2.8	3.3	3.7	3.7	3.4	3.0	3.4
Зона сапробности	β	α	α	α	ρ	ρ	α	α	α
Индекс Гуднайта–Уитли	10.1	89.2	13.7	71.1	99.8	98.9	79.9	94.5	91.5
Класс качества воды	I	VI	I	V	VI	VI	V	VI	VI



**Рис. 4.** Средние за апрель и июнь 2021 г. численность (А) и биомасса (Б), соотношение основных групп зообентоса на разных участках р. Содемы.

ний с полей). Ниже по течению (ст. 3) происходит восстановление донных сообществ. В целом отмечается снижение видового богатства и разнообразия вниз по течению реки с минимальными показателями выше плотины и последующим их увеличением на нижележащем участке.

Только верхнее течение р. Содема по состоянию зообентоса характеризуется как  $\beta$ -мезосапробная зона (Табл. 5). В полисапробную зону попали ст. 5 и 6. На большем своем протяжении река относится к  $\alpha$ -мезосапробной зоне. По индексу Гуднайта–Уитли наилучшее качество вод отмечается на ст. 1 и 3, что характеризует данные участки как чистые. На остальных участках регистрируется значительное или сильное загрязнение. При этом на ст. 8 и 9 высокое значение индекса обусловлено доминированием олигохет сем. Naididae, которые не являются индикаторами загрязнения.

## Обсуждение результатов

По сравнению с другими водотоками урбанизированных территорий региона фитопланктон р. Содемы обладает большим видовым богатством и разнообразием (Ivicheva et al., 2018). Весенний период в целом характеризуется более высоким разнообразием фитопланктона в водотоках с комплексным антропогенным влиянием (Турьянова, 2006). В отличие от других рек с высокой антропогенной нагрузкой (Охапкин, 1997), насыщенность родов микроводорослей видами была высокой.

Фитопланктон р. Содемы имеет диатомово-зеленый характер флоры. Количество видов, биомасса и численность водорослей в целом увеличиваются от истока к устью реки. При этом вклад диатомовых водорослей в эти показатели снижается. Усложнение структуры альгоценоза в устьевой части происходит за счет эвгленовых, синезеленых, криптофитовых и зеленых водорослей. Многие цианобактерии и эвгленовые водоросли, зарегистрированные в реке, являются индикаторами эвтрофного состояния водоемов (Трифонов, 1990). Биомасса фитопланктона соответствует условиям от олиготрофных в верховьях до высокоэвтрофных в устье. Увеличение уровня трофности при интенсивной разноплановой антропогенной нагрузке на водоток отмечается во многих исследованиях (Кадочникова и Беляева, 2017; Уманская и др., 2018 и др.). Количество водорослей в р. Содеме на разных участках изменяется в широких пределах. Известно, что величины численности и биомассы фитопланктона в водотоках урбанизированных районов подвержены значительным колебаниям (Турьянова, 2006). Низкие количественные параметры водорослевого сообщества реки, помимо участков верхнего течения, отмечались и в центре города, где формируется сравнительно разнообразный альгоценоз. Здесь регистрируются минимальное содержание кислорода, повышенные минерализация и электропроводность. На данном участке наблюдается увеличение количества алкалифильных видов, что свидетельствует о слабощелочной реакции среды.

Наиболее частым доминантом в фитопланктоне реки является *Euglena viridis*, предпочитающая водоемы, богатые органикой (Padisak et al., 2009), которая поступает с сельскохозяйственных угодий и вместе со сточными водами. В верховье реки доминируют виды, обитающие в интенсивно перемешиваемых водах с низкой прозрачностью. Перед плотиной и сразу после нее в доминирующем комплексе присутствуют нитчатые безгетероцистные цианобактерии; в частности, интенсивно развивалась *Oscillatoria limosa*, пресноводно-солонатоводный вид, часто встречающийся в загрязненных водоемах. Выше плотины *O. limosa* представлена только крупной фракцией с максимальными размерами до 2.6 мм, в то время как ниже плотины наблюдалась фрагментация нитей.

В сообществе на всем протяжении реки преобладают фитопланктеры с линейными размерами, не превышающими 70 мкм, причем доля мелкоразмерной фракции (до 30 мкм) в целом увеличивается к устью с понижением перед плотиной. Увеличение доли мелкой фракции фитопланктона наряду с высокими количественными показателями в устьевой части реки свидетельствует о повышении трофности вод на этом участке.

Зоопланктон р. Содемы характеризуется сравнительно высоким видовым богатством. При этом состав и структура сообществ, характерные для малоизмененных водотоков данного типа (Крылов, 2005; собств. данные), наблюдаются лишь на участках верхнего течения реки. В составе зоопланктона преобладают коловратки и веслоногие ракообразные. Разнообразие кладоцер, среди которых преобладают фильтраторы, значительно снижается на многих участках реки в черте города (вплоть до исчезновения в отдельные периоды), что связано с нарушением работы их фильтрационных аппаратов (Иванова, 1976). В условиях повышенного загрязнения массово развиваются хищные виды, в частности *Cyclopoidea* – хвататели и собиратели (Чуйков, 1978).

Численность и биомасса зоопланктона р. Содемы в верховьях и устье сравнимы с таковыми во многих малых водотоках бассейна р. Сухоны и Верхней Волги (Крылов, 2005; Зайцева и др., 2017; собств. данные). Зоопланктон реки в черте города характеризуется низким обилием и доминированием веслоногих ракообразных. Из-за повышения температуры воды при поступлении в водоток сточных вод максимальная численность зоопланктона на многих участках наблюдается весной. В межень при снижении уровня воды и интенсивном развитии фитопланктона обилие зоопланктона снижается.

По состоянию зоопланктона р. Содема оценивается как β-мезосапробная зона (умеренно-загрязненная, III класс качества). При этом структурные показатели зоопланктона, в том числе соотношение групп по численности, средняя индивидуальная масса, коэффициент трофии и доля эвтрофных видов, свидетельствуют о значительном ухудшении экологического состояния водотока в черте города, особенно в приплотинном участке. Схожие различия в оценке качества воды

разными методами отмечались и другими авторами (Семенова, 2014), что подтверждает необходимость применения при биоиндикации комплекса показателей и их совокупного анализа.

Для зообентоса р. Содемы свойственно небольшое видовое богатство, что в целом характерно для малых рек и сопоставимо с другими малыми водотоками бассейна Верхней Сухоны (Ivicheva et al., 2018). От других изученных ранее малых рек р. Содема отличается полностью преобразованным водосбором, более половины которого расположено в границах г. Вологды (Ивичева и Филоненко, 2013). Отмечается снижение видового богатства и видового разнообразия зообентоса вниз по течению водотока. Наиболее чувствительные таксоны (веснянки, мошки) отмечены только в верховьях и исчезают из сообщества в городе. При прохождении реки через город отмечается выпадение всех таксонов зообентоса, кроме олигохет, что характерно и для других водотоков (Безматерных, 2008; Ивичева, 2019; Экологическое состояние..., 2003; Яныгина, 2013). В приплотинном участке донные сообщества представлены только олигохетами. Вблизи плотины река принимает в себя большое количество стоков, вследствие чего происходит антропогенное заиление. Ниже по течению от плотины отмечается восстановление донных сообществ. Плотина в сочетании со сбросом очищенных производственных стоков при относительно малой водности водотока в целом оказывает положительное влияние на донные сообщества, что подтверждается данными А. Martinez et al. (2013). Регистрируется локальное ухудшение качества воды на участке выше города с последующим самоочищением, что наблюдалось ранее и на других реках (Балушкина, 2003; Баканов, 2003; Кононова, 2011).

## Заключение

Река Содема испытывает длительное и значительное антропогенное воздействие, носящее комплексный характер. Естественные черты сообществ, характерные для малых водотоков таежной зоны, отмечены лишь в верховьях реки. На этих участках при сравнительно низком обилии микроводорослей среди них доминируют диатомеи, широко распространенные в водотоках региона. Зоопланктон верховьев характеризуется наибольшим разнообразием и обилием. В зоопланктоне доминируют кладоцеры. В составе зообентоса лишь в верхнем течении реки встречаются типичные реофильные группы беспозвоночных: веснянки, поденки и мошки.

Фитопланктон, зоопланктон и зообентос р. Содемы в черте г. Вологды представляют собой трансформированные сообщества. Значительные изменения всех элементов экосистемы реки наблюдаются при ее прохождении по территории города. В фитопланктоне повышается доля цианобактерий, эвгленовых и криптофитовых водорослей, увеличивается амплитуда численности и биомассы с максимумом в устьевой зоне, возрастает роль мелкоразмерной фракции фитопланктона. В черте города выявлено значительное обеднение таксономического состава зоопланктона и зообентоса, низкое видовое разнообразие. В сообществе сохраняются лишь виды, адаптированные к высоким концентрациям в воде взвешенных и органических веществ, биогенных элементов. Преимущество в составе планктона получают активные хищники и собиратели-эврифаги. Наблюдается увеличение численности и биомассы зообентоса и увеличение в них доли олигохет.

По состоянию планктона р. Содема оценивается как  $\beta$ -мезосапробная. При этом структурно-функциональные характеристики фито- и зоопланктона свидетельствуют об эвтрофном и гиперэвтрофном (в районе плотины) состоянии водотока в черте города. По структурным показателям зообентоса река преимущественно оценивается как  $\alpha$ -мезосапробная, V–VI классов качества воды («грязная» – «очень грязная»). Характеристики зообентоса отражают ухудшение качества воды при прохождении реки через город с локальным загрязнением на участке пересечения с дорогой М-8. Наибольшее загрязнение фиксируется выше плотины, что связано с накоплением загрязняющих веществ в грунтах.

## Список литературы

- Авдошенко, Н.Д., Рассохина, О.М., 1977. Рельеф и геологическое строение долины реки Содимы. В: Толоконникова, Т.К. (ред.), *Природные условия и ресурсы Севера Европейской части СССР*. Издательство ВГПИ, Вологда, СССР, 5–30.
- Андроникова, И.Н., 1996. Структурно-функциональная организация зоопланктона озерных экосистем разных трофических типов. Наука, Санкт-Петербург, Россия, 189 с.

- Баканов, А.И., 2003. Состояние зообентоса малых рек. В: Папченков, В.Г. (ред.), *Экологическое состояние малых рек Верхнего Поволжья*. Наука, Москва, Россия, 332–357.
- Балушкина, Е.В., 2003. Структура сообществ донных животных и оценка экологического состояния р. Ижоры: влияние гидрофизических и гидрохимических параметров. *Биология внутренних вод* 1, 74–80.
- Балушкина, Е.В., 1987. Функциональное значение личинок хирономид в континентальных водоемах. *Труды зоологического института АН СССР* 142, 1–179.
- Балушкина, Е.В., Винберг, Г.Г., 1979. Зависимость между длиной и массой тела планктонных ракообразных. В: Винберг, Г.Г. (ред.), *Экспериментальные и полевые исследования биологических основ продуктивности озер*. Зоологический институт АН СССР, Ленинград, СССР, 58–72.
- Баранова, С.С., Медведева, Л.А., Анисимова, О.В., 2006. Биоразнообразие водорослей-индикаторов окружающей среды. Pilies Studio, Тель-Авив, Израиль, 498 с.
- Безматерных, Д.М., 2008. Зообентос равнинных притоков Верхней Оби. Издательство АлтГУ, Барнаул, Россия, 186 с.
- Вилкова, Н.В., Мишенева, Н.А., 2015. Роль водотоков в формировании орнитофауны города Вологды. *Материалы Международной научной конференции «Молодые исследователи – регионам»*. Т. 1. Вологда, Россия, 485–486.
- Водогрецкий, В.Е., 1990. Антропогенное изменение стока малых рек. Гидрометеиздат, Ленинград, СССР, 176 с.
- Зайцева, В.Л., Филиппов, Д.А., Лобуничева, Е.В., 2017. Состав и сезонная динамика зоопланктона ручья верхового болота. *Ученые записки Петрозаводского государственного университета* 2 (163), 69–76.
- Зырина, Л.В., 2013. Макрозообентос реки Содема (Вологодский район, Вологодская область). *Сельское, лесное и водное хозяйство* 6.
- Иванова, М.Б., 1976. Влияние загрязнения на планктонных ракообразных и возможность их использования для определения степени загрязнения реки. В: Скарлато, О.А. (ред.), *Методы биологического анализа пресных вод*. Зоологический институт АН СССР, Ленинград, СССР, 68–80.
- Ивантер, Э.В., Коросов, А.В., 2010. Элементарная биометрия: учебное пособие. Издательство ПетрГУ, Петрозаводск, Россия, 104 с.
- Ивичева, К.В., 2019. Зообентос притоков Верхней Сухоны в условиях антропогенного влияния на их водосборы. *Диссертация на соискание ученой степени кандидата биологических наук*. Санкт-Петербург, Россия, 142 с.
- Ивичева, К.Н., Филоненко, И.В., 2012. Анализ влияния освоенности речных бассейнов на качество вод методами ГИС. *Принципы экологии* 2, 76–81. <http://www.doi.org/10.15393/j1.art.2012.1061>
- Ивичева, К.Н., Филоненко, И.В., 2013. Анализ зависимости качества вод по гидрохимическим показателям от освоенности водосборов. *Принципы экологии* 3, 53–61. <http://www.doi.org/10.15393/j1.art.2013.2421>



- Ивичева, К.Н., Филоненко, И.В., 2019. Влияние освоенности водосбора реки Верхней Сухоны (Вологодская область) на зообентос ее притоков. *Принципы экологии* 1, 19–31. <http://www.doi.org/10.15393/j1.art.2019.8422>
- Кадочникова, П.И., Беляева, П.Г., 2017. Пигментные характеристики альгоценозов как показатели экологического состояния малых рек урбанизированных территорий (на примере рек г. Пермь). *Вода: химия и экология* 9, 20–27.
- Кононова, Л.В., 2011. Экологическая оценка реки Десны и ее притоков по состоянию сообществ макрозообентоса. *Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата биологических наук*. Тольятти, Россия, 20 с.
- Коровчинский, Н.М., Котов, А.А., Синёв, А.Ю., Неретина, А.Н., Гарибян, П.Г., 2021. Ветвистоусые ракообразные (Crustacea: Cladocera) Северной Евразии. Т. 2. Товарищество научных изданий КМК, Москва, Россия, 544 с.
- Крылов, А.В., 2005. Зоопланктон равнинных малых рек. Наука, Москва, Россия, 263 с.
- Крючкова, Н.М., 1987. Структура сообществ зоопланктона в водоемах разного типа. *Труды Зоологического института АН СССР* 165, 184–198.
- Кузьмин, Г.В., 1975. Фитопланктон. Видовой состав и обилие. В: Мордухай-Болтовской, Ф.Д. (ред.), *Методика изучения биогеоценозов внутренних водоемов*. Наука, Москва, СССР, 73–87.
- Кутикова, Л.А., 1970. Коловратки фауны СССР (Rotatoria). Подкласс Eurotatoria (отряды Ploimida, Monimotrochida, Paedotrochida). Наука, Ленинград, СССР, 744 с.
- Методические рекомендации по сбору и обработке материалов при гидробиологических исследованиях на пресноводных водоемах. Зоопланктон и его продукция, 1982. Винберг, Г.Г., Лаврентьева, Г.М. (ред.). ГосНИОРХ, Ленинград, СССР, 33 с.
- Мязметс, А.Х., 1980. Изменения зоопланктона. В: Коплан-Дикс, И.С., Стравинская, Е.А. (ред.), *Антропогенное воздействие на малые озера*. Наука, Ленинград, СССР, 54–64.
- Никулина, А.С., 2019. Гирудофауна реки Содема. *Материалы Международной научной конференции «Молодые исследователи – регионам»*. Т. 1. Вологда, Россия, 511–513.
- Определитель зоопланктона и зообентоса пресных вод Европейской России. Т. 1. Зоопланктон, 2010. Алексеев, В.Р. (ред.). Товарищество научных изданий КМК, Москва, Россия, 495 с.
- Орнатский, В.И., 1888. Медикотопография и санитарное состояние губернского города Вологды. *Диссертация на соискание ученой степени доктора медицинских наук*. Санкт-Петербург, Россия, 163 с.
- Охапкин, А.Г., 1997. Структура и сукцессия фитопланктона при зарегулировании речного стока (на примере р. Волги и ее притоков). *Диссертация на соискание ученой степени доктора биологических наук*. Санкт-Петербург, Россия, 280 с.
- Семенова, А.С., 2014. Использование показателей зоопланктона для оценки качества воды рек Калининградской области. *Самарская Лука: проблемы региональной и глобальной экологии* 23 (2), 124–131.
- Трифоновна, И.С., 1990. Экология и сукцессия озерного фитопланктона. Наука, Ленинград, СССР, 184 с.

- Турьянова, Р.Р., 2006. Фитопланктон разнотипных водоемов на территории г. Уфы. *Диссертация на соискание ученой степени кандидата биологических наук*. Уфа, Россия, 214 с.
- Уманская, М.В., Горбунов, М.Ю., Краснова, Е.С., Жариков, В.В., 2018. Трофический статус некоторых пригородных озер г. Тольятти (Васильевские озера) в 2013–2015 гг. *Самарская Лука: проблемы региональной и глобальной экологии* **27** (2), 183–188. <http://www.doi.org/10.24411/2073-1035-2018-10028>
- Чуйков, Ю.С., 1978. Экологический анализ состава и структуры сообществ водных животных как метод биологической оценки качества вод. *Экология* **5**, 53–57.
- Экологическое состояние малых рек бассейна Верхнего Поволжья, 2003. Папченков, В.Г. (ред.). Наука, Москва, Россия, 389 с.
- Яныгина, Л.В., 2013. Зообентос бассейна Верхней и Средней Оби: воздействие природных и антропогенных факторов. *Диссертация на соискание ученой степени доктора биологических наук*. Барнаул, Россия, 399 с.
- Goodnight, C.J., Whitley, L.S., 1961. Oligochaetes as indicators of pollution. *Proceedings of 15th International Waste Conference. Engineering Extension Service Bulletin Series. Vol. 106*. Purdue University, West Lafayette, USA, 139–142.
- Grizzetti, B., Pistocchi, A., Liqueste, C., Udias, A., Bouraoui, F., van de Bund, W., 2017. Human pressures and ecological status of European rivers. *Scientific Reports* **7** (205), 1–11. <http://www.doi.org/10.1038/s41598-017-00324-3>
- Guiry, M.D., Guiry, G.M., 2023. AlgaeBase. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway. URL: <https://www.algaebase.org> (accessed: 17.06.2023).
- Ivicheva, K.N., Makarenkova, N.N., Zaytseva, V.L., Philippov, D.A., 2018. Influence of flow velocity, river size, a dam, and an urbanized area on biodiversity of lowland rivers. *Biosystems Diversity* **26** (4), 292–302. <http://www.doi.org/10.15421/011844>
- Martinez, A., Larranaga, A., Basaguren, A., Perez, J., Mendoza-Lera, C., Pozo, J., 2013. Stream regulation by small dams affects benthic macroinvertebrate communities: from structural changes to functional implications. *Hydrobiologia* **711** (1), 31–42. <http://www.doi.org/10.1007/s10750-013-1459-z>
- Marvan, P., Maršálek, B., Heteša, J., Sukačova, K., Maršálková, E., Geriš, R., Kozáková, M., 2005. Comments on the revised tables of algal (and other botanical) water quality indicators listed in CSN 75 7716 – discussion material for assessment of trophic status of water bodies. Web page. URL: <http://www.sinice.cz/res/file/scientific/trophicstatus-comments.pdf> (accessed: 20.09.2023).
- Padisák, J., Crossetti, L.O., Naselli-Flores, L., 2009. Use and misuse in the application of the phytoplankton functional classification: a critical review with updates. *Hydrobiologia* **621**, 1–19. <http://www.doi.org/10.1007/s10750-008-9645-0>
- Pantle, R., Buck, H., 1955. Die biologische Uerwachung der Gawasser und die Darstellung der Ergebnisse. *Gas und Wasserfach* **96** (18), 1–604.
- Ruttner-Kolisko, A., 1977. Suggestion for biomass calculation of planktonic rotifers. *Archiv für Hydrobiologie. Ergebnisse der Limnologie* **8**, 71–78.
- Shannon, C.E., Weaver, W., 1949. The mathematical theory of communication. University of Illinois Press, Urbana, USA, 117 p.

Sladeczek, V., 1973. System of water quality from the biological point of view. *Archiv für Hydrobiologie. Ergebnisse der Limnologie* 7, 1–218.

Wegl, R., 1983. Index für die Limnosaprobität. *Wasser und Abwasser* 3 (26), 1–175.

## References

Andronikova, I.N., 1996. Strukturno-funktsional'naya organizatsiya zooplanktona ozernykh ekosistem raznykh troficheskikh tipov [Structural and functional organization of zooplankton of lake ecosystems of different trophic types]. Nauka, Saint Petersburg, Russia, 189 p. (In Russian).

Avdoshenko, N.D., Rassokhina, O.M., 1977. Rel'ef i geologicheskoe stroenie doliny reki Sodemy [Relief and geological structure of the Sodema River valley]. In: Tolokonnikova, T.K. (ed.), *Prirodnye usloviya i resursy Severa Evropeyskoy chasti SSSR [Natural conditions and resources of the North of the European part of the USSR]*. Vologda State Pedagogical Institute Publishing House, Vologda, USSR, 5–30. (In Russian).

Bakanov, A.I., 2003. Sostoyanie zoobentosa malykh rek [The state of zoobenthos of small rivers]. In: Papchenkov, V.G. (ed.), *Ekologicheskoe sostoyanie malykh rek Verkhnego Povolzh'ya [Ecological state of small rivers of the Upper Volga basin]*. Nauka, Moscow, Russia, 332–357. (In Russian).

Balushkina, E.V., 1987. Funktsional'noe znachenie lichinok hironomid v kontinental'nykh vodoemakh [Functional significance of chironomid larvae in continental waters]. *Trudy Zoologicheskogo instituta AN SSSR [Proceedings of the Zoological Institute of the USSR Academy of Sciences]* 142, 1–179. (In Russian).

Balushkina, E.V., 2003. Struktura soobshchestv donnykh zhivotnykh i otsenka ekologicheskogo sostoyaniya r. Izhory: vliyaniye gidrofizicheskikh i gidrokhimicheskikh parametrov [Structure of benthic animal communities and ecological state assessment of the Izhora River: impact of water hydrological and hydrochemical parameters]. *Biologiya vnutrennikh vod [Inland Water Biology]* 1, 74–80. (In Russian).

Balushkina, E.V., Vinberg, G.G., 1979. Zavisimost' mezhdru dlinoi i massoi tela planktonnykh rakoobraznykh [The relationship between the length and body weight of planktonic crustaceans]. In: Vinberg, G.G. (ed.), *Eksperimental'nye i polevye issledovaniya biologicheskikh osnov produktivnosti ozyor [Experimental and field research of biological basics of lake productivity]*. Zoological Institute of the USSR Academy of Sciences, Leningrad, USSR, 58–72. (In Russian).

Barinova, S.S., Medvedeva, L.A., Anisimova, O.V., 2006. Bioraznoobrazie vodorosley-indikatorov okruzhayushchey sredy [Diversity of algal indicators in environmental assessment]. Pilies Studio, Tel Aviv, Israel, 498 p. (In Russian).

Bezmaternykh, D.M., 2008. Zoobentos ravninnykh pritokov Verkhney Obi [Zoobenthos in plain tributaries of the upper Ob River]. Altai State University Publishing House, Barnaul, Russia, 186 p. (In Russian).

Chuykov, Yu.S., 1978. Ekologicheskii analiz sostava i struktury soobshchestv vodnykh zhivotnykh kak metod biologicheskoy otsenki kachestva vod [Ecological analysis of the composition and structure of aquatic animal communities as a method of biological assessment of water quality]. *Ekologiya [Ecology]* 5, 53–57. (In Russian).

Ekologicheskoe sostoyanie malykh rek basseyna Verkhnego Povolzh'ya [Ecological state of small rivers of the Upper Volga basin], 2003. Papchenkov, V.G. (ed.). Nauka, Moscow, Russia, 389 p. (In Russian).

Goodnight, C.J., Whitley, L.S., 1961. Oligochaetes as indicators of pollution. *Proceedings of 15th International Waste Conference. Engineering Extension Service Bulletin Series. Vol. 106*. Purdue University, West Lafayette, USA, 139–142.

- Grizzetti, B., Pistocchi, A., Liqueste, C., Udias, A., Bouraoui, F., van de Bund, W., 2017. Human pressures and ecological status of European rivers. *Scientific Reports* 7 (205), 1–11. <http://www.doi.org/10.1038/s41598-017-00324-3>
- Guiry, M.D., Guiry, G.M., 2023. AlgaeBase. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway. URL: <https://www.algaebase.org> (accessed: 17.06.2023).
- Ivanova, M.B., 1976. Vliyanie zagryazneniya na planktonnykh rakoobraznykh i vozmozhnost' ikh ispol'zovaniya dlya opredeleniya stepeni zagryazneniya reki [The impact of pollution on planktonic crustaceans and possibility of their use to determine the degree of the river pollution]. In: Skarlato, O.A. (ed.), *Metody biologicheskogo analiza presnykh vod [Methods of biological analysis of fresh water]*. Zoological Institute of the USSR Academy of Sciences, Leningrad, USSR, 68–80. (In Russian).
- Ivanter, E.V., Korosov, A.V., 2010. Elementarnaya biometriya: uchebnoe posobie [Elementary Biometrics: textbook]. Petrozavodsk State University Publishing House, Petrozavodsk, Russia, 104 p. (In Russian).
- Ivicheva, K.N., 2019. Zoobenthos of the Upper Sukhona tributaries under conditions of anthropogenic influence on their watersheds [Zoobentos pritokov Verhnej Suhony v usloviyah antropogennogo vliyaniya na ih vodosbory]. *PhD in Biology thesis*. Saint Petersburg, Russia, 142 p. (In Russian).
- Ivicheva, K.N., Filonenko, I.V., 2012. Analiz vliyaniya osvoennosti rechnykh basseynov na kachestvo vod metodami GIS [GIS-based assessment of impacts of river basins development on water quality]. *Principy ekologii [Principles of Ecology]* 2, 76–81. (In Russian). <http://www.doi.org/10.15393/j1.art.2012.1061>
- Ivicheva, K.N., Filonenko, I.V., 2013. Analiz zavisimosti kachestva vod po gidrokhimicheskim pokazatelyam ot osvoennosti vodosborov [Analysis of the relation between the water quality according to chemical indexes and water catchment development]. *Principy ekologii [Principles of Ecology]* 3, 53–61. (In Russian). <http://www.doi.org/10.15393/j1.art.2013.2421>
- Ivicheva, K.N., Filonenko, I.V., 2019. Vliyanie osvoennosti vodosbora reki Verkhney Sukhony (Vologodskaya oblast') na zoobentos ee pritokov [On the impact of the development of the Upper Sukhona River catchment (Vologda Oblast) on zoobenthos of its tributaries]. *Principy ekologii [Principles of Ecology]* 1, 19–31. (In Russian). <http://www.doi.org/10.15393/j1.art.2019.8422>
- Ivicheva, K.N., Makarenkova, N.N., Zaytseva, V.L., Philippov, D.A., 2018. Influence of flow velocity, river size, a dam, and an urbanized area on biodiversity of lowland rivers. *Biosystems Diversity* 26 (4), 292–302. <http://www.doi.org/10.15421/011844>
- Kadochnikova, P.I., Belyaeva, P.G., 2017. Pigmentnye kharakteristiki al'gocenozov kak pokazateli ekologicheskogo sostoyaniya malykh rek urbanizirovannykh territoriy (na primere rek g. Perm') [Pigment characteristics of algocenosis as indicators of ecological status of small rivers flowing through urbanized territories (by the example of Perm Rivers)]. *Voda: khimiya i ekologiya [Water: chemistry and ecology]* 9, 20–27. (In Russian).
- Kononova, L.V., 2011. Ekologicheskaya otsenka reki Desny i ee pritokov po sostoyaniyu soobshchestv makrozoobentosa [Ecological assessment of the Desna River and its tributaries in terms of macrozoobenthos communities state]. *PhD in Biology thesis abstract*. Tolyatti, Russia, 20 p. (In Russian).
- Korovchinsky, N.M., Kotov, A.A., Sinev, A.Yu., Neretina, A.N., Garibyan, P.G., 2021. *Vetvistousye rakoobraznye (Crustacea: Cladocera) Severnoy Evrazii. T. 2 [Cladocera of Northern Eurasia. Vol. 2]*. KMK Scientific Press Ltd, Moscow, Russia, 544 p. (In Russian).
- Krylov, A.V., 2005. Zooplankton ravninnykh malykh rek [Zooplankton of small plane rivers]. Nauka, Moscow, Russia, 263 p. (In Russian).

- Kryuchkova, N.M., 1987. Struktura soobshchestv zooplanktona v vodoemakh raznogo tipa [The structure of zooplankton communities in reservoirs of different type]. *Trudy Zoologicheskogo instituta AN SSSR [Proceedings of the Zoological Institute of the USSR Academy of Sciences]* **165**, 184–198. (In Russian).
- Kutikova, L.A., 1970. Kolovratki fauny SSSR (Rotatoria). Podklass Eurotatoria (otryady Ploimida, Monimotrochida, Paedotrochida) [The Rotifera fauna of the USSR (Rotatoria). Subclass Eurotatoria (class Ploimida, Monimotrochida, Paedotrochida)]. Nauka, Leningrad, USSR, 744 p. (In Russian).
- Kuzmin, G.V., 1975. Fitoplankton. Vidovoi sostav i obilie [Phytoplankton. Species composition and abundance]. In: Mordukhay-Boltovskoy, F.D. (ed.), *Metodika izucheniya biogeocенозов vnutrennih vodoemov [A method for studying biogeocenoses of inland reservoirs]*. Nauka, Moscow, USSR, 73–87. (In Russian).
- Martinez, A., Larranaga, A., Basaguren, A., Perez, J., Mendoza-Lera, C., Pozo, J., 2013. Stream regulation by small dams affects benthic macroinvertebrate communities: from structural changes to functional implications. *Hydrobiologia* **711** (1), 31–42. <http://www.doi.org/10.1007/s10750-013-1459-z>
- Marvan, P., Maršálek, B., Heteša, J., Sukačova, K., Maršálková, E., Geriš, R., Kozáková, M., 2005. Comments on the revised tables of algal (and other botanical) water quality indicators listed in CSN 75 7716 – discussion material for assessment of trophic status of water bodies. Web page. URL: <http://www.sinice.cz/res/file/scientific/trophicstatus-comments.pdf> (accessed: 20.09.2023).
- Metodicheskie rekomendatsii po sboru i obrabotke materialov pri gidrobiologicheskikh issledovaniyakh na presnovodnykh vodoemakh. Zooplankton i ego produkcija [Methodological recommendations for collection and processing of materials in hydrobiological research of freshwater reservoirs. Zooplankton and its products], 1982. Vinberg, G.G., Lavrentyeva, G.M. (eds.). State Research Institute of Lake and River Fisheries (GosNIORKh), Leningrad, USSR, 33 p. (In Russian).
- Myaemets, A.Kh., 1980. Izmeneniya zooplanktona [Changes in zooplankton]. In: Koplan-Diks, I.S., Stravinskaya, E.A. (eds.), *Antropogennoe vozdeystvie na malye ozera [Anthropogenic impact on small lakes]*. Nauka, Leningrad, USSR, 54–64. (In Russian).
- Nikulina, A.S., 2019. Girudofauna reki Sodema [Leech fauna of the Sodema River]. *Materialy Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii "Molodye issledovateli – regionam". T. 1 [Proceedings of the international scientific conference "Young Researchers for Regions". Vol. 1]*. Vologda, Russia, 511–513. (In Russian).
- Okhapkin, A.G., 1997. Struktura i suksessiya fitoplanktona pri zaregulirovanii rechnogo stoka (na primere r. Volgi i ee pritokov) [Structure and succession of phytoplankton at regulated Volga River runoff and its tributaries]. *Doctor of Sciences in biology thesis*. St. Petersburg, Russia, 280 p. (In Russian).
- Opredelitel' zooplanktona i zoobentosa presnykh vod Evropeyskoy Rossii. T. 1. Zooplankton [Key to zooplankton and zoobenthos of freshwater bodies of European Russia. Vol. 1. Zooplankton], 2010. Alekseev, V.R. (ed.). KMK Scientific Press Ltd, Moscow, Russia, 495 p. (In Russian).
- Ornatsky, V.I., 1888. Medikotopografiya i sanitarnoe sostoyanie gubernskogo goroda Vologdy [Medicotopography and sanitary condition of Vologda town]. *Doctor of Sciences in Medicine thesis*. Saint Petersburg, Russia, 163 p. (In Russian).
- Padisák, J., Crossetti, L.O., Naselli-Flores, L., 2009. Use and misuse in the application of the phytoplankton functional classification: a critical review with updates. *Hydrobiologia* **621**, 1–19. <http://www.doi.org/10.1007/s10750-008-9645-0>

- Pantle, R., Buck, H., 1955. Die biologische Uerwachung der Gewässer und die Darstellung der Ergebnisse. *Gas und Wasserfach* 96 (18), 1–604.
- Ruttner-Kolisko, A., 1977. Suggestion for biomass calculation of planktonic rotifers. *Archiv für Hydrobiologie. Ergebnisse der Limnologie* 8, 71–78.
- Semenova, A.S., 2014. Ispol'zovanie pokazateley zooplanktona dlya otsenki kachestva vody rek Kaliningradskoy oblasti [The use of zooplankton indicators in assessing water quality of rivers in Kaliningrad Oblast]. *Samarskaya Luka: problemy regional'noy i global'noy ekologii [Samara Luka: problems of regional and global ecology]* 23 (2), 124–131. (In Russian).
- Shannon, C.E., Weaver, W., 1949. The mathematical theory of communication. University of Illinois Press, Urbana, USA, 117 p.
- Sladeczek, V., 1973. System of water quality from the biological point of view. *Archiv für Hydrobiologie. Ergebnisse der Limnologie* 7, 1–218.
- Trifonova, I.S., 1990. Ekologiya i sukcesiya ozernogo fitoplanktona [Ecology and succession of lake phytoplankton]. Nauka, Leningrad, USSR, 184 p. (In Russian).
- Turyanova, R.R., 2006. Fitoplankton raznotipnykh vodoemov na territorii g. Ufy [Phytoplankton of different-type reservoirs within the city of Ufa]. *PhD in Biology thesis*. Ufa, Russia, 214 p. (In Russian).
- Umanskaya, M.V., Gorbunov, M.Yu., Krasnova, E.S., Zharikov, V.V., 2018. Troficheskiy status nekotorykh prigorodnykh ozer g. Tol'yatti (Vasil'evskie ozera) v 2013–2015 gg. [Trophic status of some suburban lakes of Togliatti (Vasilievsk Lakes) in 2013–2015]. *Samarskaya Luka: problemy regional'noy i global'noy ekologii [Samara Luka: problems of regional and global ecology]* 27 (2), 183–188. (In Russian) <http://www.doi.org/10.24411/2073-1035-2018-10028>
- Vilkova, N.V., Misheneva, N.A., 2015. Rol' vodotokov v formirovaniy ornitofauny goroda Vologdy [The role of watercourses in the formation of the avifauna of Vologda]. *Materialy Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii "Molodye issledovateli – regionam". T. 1 [Proceedings of the international scientific conference "Young Researchers for Regions". Vol. 1]*. Vologda, Russia, 485–486. (In Russian).
- Vodogretsky, V.E., 1990. Antropogennoe izmenenie stoka malyykh rek [Anthropogenic changes in a flow of small rivers]. Gidrometeoizdat, Leningrad, USSR, 176 p. (In Russian).
- Wegl, R., 1983. Index für die Limnosaprobität. *Wasser und Abwasser* 3 (26), 1–175.
- Yanygina, L.V., 2013. Zoobentos basseyna Verkhney i Sredney Obi: vozdeystvie prirodnykh i antropogennykh faktorov [Zoobenthos of the Upper and Middle Ob basin: the impact of natural and anthropogenic factors]. *Doctor of Sciences in Biology thesis*. Barnaul, Russia, 399 p. (In Russian).
- Zaytseva, V.L., Philippov, D.A., Lobunicheva, E.V., 2017. Sostav i sezonnaya dinamika zooplanktona ruchya verkhovogo bolota [Composition and seasonal dynamics of zooplankton in a raised bog stream]. *Uchenye zapiski Petrozavodskogo gosudarstvennogo universiteta [Proceedings of Petrozavodsk State University]* 2 (163), 69–76. (In Russian).
- Zyrina, L.V., 2013. Makrozoobentos reki Sodema (Vologodskiy rayon, Vologodskaya oblast') [Macrozoobenthos of the Sodema River (Vologda district, Vologda Oblast)]. *Sel'skoe, lesnoe i vodnoe khozyaystvo [Agriculture, forestry and water management]* 6. (In Russian).