



УДК 574.523(261.245)

## Планктонные сообщества системы «река Преголя – Вислинский залив – Калининградский морской канал (КМК) – Балтийское море»

А.С. Семенова<sup>1, 2\*</sup> и О.А. Дмитриева<sup>1, 3</sup>

<sup>1</sup> Атлантический филиал ФГБНУ «ВНИРО» («АтлантНИРО»), ул. Дм. Донского 5, 236022 Калининград, Россия; e-mail: a.s.semenova@mail.ru\*

<sup>2</sup> Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина Российской академии наук, п. Борок, 152724 Некоузский район, Ярославская обл., Россия

<sup>3</sup> Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Нахимовский проспект 36, 117997 Москва, Россия; e-mail: phytob@yandex.ru

Представлена 6 февраля 2023; после доработки 6 августа 2023; принята 14 августа 2023.

### РЕЗЮМЕ

Видовой состав, численность и биомасса, трофические взаимоотношения фитопланктона и зоопланктона, а также доля мертвых особей в зоопланктоне были исследованы в водной системе «р. Преголя – Калининградский морской канал (КМК) – Вислинский залив – Балтийское море» в июле, августе и октябре 2021 г. В фитопланктоне в период исследований было обнаружено 173, в зоопланктоне – 73 таксона. Наибольшим разнообразием планктонные сообщества характеризовались в летний период, к осени оно снижалось. Максимальное число таксонов как для фито-, так и для зоопланктона было отмечено в Вислинском заливе и КМК, минимальное – в Балтийском море. В фитопланктоне летом выделялось 3 сообщества, в зоопланктоне – 4, осенью выделялось по 3 сообщества как в фито-, так и в зоопланктоне. Сообщества были приурочены к акваториям с различной соленостью: р. Преголя, КМК и Вислинский залив, Балтийское море. Доминирующий комплекс видов на станциях отличался, виды преимущественно пресноводного комплекса отмечены в Преголе, виды солоноватоводного комплекса были характерны для Вислинского залива, морской комплекс видов был выявлен на станциях пролива и в Балтийском море. Максимальный уровень количественного развития планктонных сообществ, как летом, так и осенью отмечался в КМК и Вислинском заливе (биомасса фитопланктона варьировала от 1.19 г/м<sup>3</sup> до 11.89 г/м<sup>3</sup>; биомасса зоопланктона изменялась от 305 мг/м<sup>3</sup> до 1801 мг/м<sup>3</sup>), где для их развития складывались наиболее оптимальные условия, такие как повышенное содержание биогенных элементов и максимальный прогрев воды. В р. Преголя и Балтийском море, как летом, так и осенью количественные показатели планктонных сообществ были ниже (биомасса фитопланктона варьировала от 0.16 г/м<sup>3</sup> до 2.50 г/м<sup>3</sup>; биомасса зоопланктона изменялась от 34 мг/м<sup>3</sup> до 248 мг/м<sup>3</sup>). Наиболее напряженные трофические взаимоотношения в планктонном сообществе складывались в летний период в Балтийском море, оптимальные – в КМК и Вислинском заливе. Доля мертвых особей в зоопланктоне изученной системы в оба сезона была максимальна в зоне с критической для гидробионтов соленостью и высокой турбулентностью (КМК, морском проливе и на выходе из него).

**Ключевые слова:** Балтийское море, биомасса, Вислинский залив, зоопланктон, Калининградский морской канал, река Преголя, сообщества, фитопланктон

---

\* Автор-корреспондент / Corresponding author

## Plankton communities of the “Pregolya River – Vistula Lagoon – Kaliningrad Sea Channel (KSC) – Baltic Sea system”

A.S. Semenova<sup>1, 2\*</sup> and O.A. Dmitrieva<sup>1, 3</sup>

<sup>1</sup> Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography “VNIRO”, Atlantic branch of VNIRO (“AtlantNIRO”), Dm. Donskogo St. 5, 236022 Kaliningrad, Russia; e-mail: a.s.semenowa@mail.ru\*

<sup>2</sup> Papanin Institute for Biology of Inland Waters of the Russian Academy of Sciences, Borok, 152724 Nekouzsky district, Yaroslavl region, Russia

<sup>3</sup> Shirshov Institute of Oceanology of the Russian Academy of Sciences, Nakhimovsky Av. 36, 117997 Moscow, Russia: e-mail: phytob@yandex.ru

Submitted February 6, 2023; revised August 6, 2023; accepted August 14, 2023.

### ABSTRACT

The species composition, abundance and biomass, trophic relationships of phytoplankton and zooplankton, as well as the proportion of dead individuals in zooplankton were studied in the water system “Pregolya River – Kaliningrad Sea Channel (KSC) – Vistula Lagoon – Baltic Sea” in July, August and October 2021. In total 173 taxa of phytoplankton and 73 taxa of zooplankton were found during period of investigation. The maximal species diversity was observed in the summer period, in autumn it was decreasing. The maximum number of taxa for both phyto- and zooplankton was found in the Vistula Lagoon and in the KSC, the minimum – in the Baltic Sea. In summer the 3 communities in phytoplankton, 4 in zooplankton, in autumn – 3 communities in both phyto- and zooplankton were found. The plankton communities were confined to water areas with different salinity: The Pregolya River, the KSC and the Vistula Lagoon, the Baltic Sea. The dominant complex of species at the stations differed; species of a predominantly freshwater complex were noted in the Pregolya River, brackish-water species were found in the Vistula Lagoon, and a marine complex of species was identified at the stations of the sea strait and in the Baltic Sea. More abundant plankton communities both in summer and autumn were in the KSC and the Vistula Lagoon (phytoplankton biomass varied from 1.19 g/m<sup>3</sup> to 11.89 g/m<sup>3</sup>; zooplankton biomass varied from 305 mg/m<sup>3</sup> to 1801 mg/m<sup>3</sup>). In this area the most optimal conditions for the development of plankton were formed such as an increased nutrient content and maximum water heating. Plankton communities both in the Pregolya River and in the Baltic Sea in summer and autumn were less abundant (phytoplankton biomass varied from 0.16 g/m<sup>3</sup> to 2.50 g/m<sup>3</sup>; zooplankton biomass varied from 34 mg/m<sup>3</sup> to 468 mg/m<sup>3</sup>). The most intense trophic relationships in the plankton community in the summer in the Baltic Sea, optimal – in the KSC and in the Vistula Lagoon were formed. The proportion of dead individuals in the zooplankton of the studied system in both seasons was maximal in the areas, which had the critical salinity for hydrobionts and high turbulence conditions such as KSC, the Sea strait and at the exit from Sea strait.

**Key words:** Baltic Sea, biomass, Vistula Lagoon, zooplankton, Kaliningrad Sea Channel, Pregolya River, communities, phytoplankton

### ВВЕДЕНИЕ

Акватория р. Преголя, Калининградского морского канала, Вислинского залива, а также юго-восточная часть Балтийского моря представляют собой единую водную систему с неоднородностью физико-химических режимов: пресноводная река, солоноватоводные канал, залив и еще более солоноватая прибрежная и глубоководная зоны Балтийского моря. На формирование структуры и химического со-

става водной массы Калининградского морского канала (КМК) оказывают влияние как природные факторы (нагоны соленых вод, сток пресной воды р. Преголя), так и антропогенные (сброс неочищенных сточных вод, дноуглубление, различные виды строительства по берегам канала, интенсивное судоходство). При проходе крупнотоннажных судов по КМК происходит интенсивное перемешивание водной массы от поверхности до дна. Сообщества фито- и зоопланктона играют важную роль в водных

экосистемах, изменяя свои характеристики при различных видах природного и антропогенного воздействия и могут служить индикаторами их состояния.

Вислинский залив – эстуарий морского типа с переменной соленостью от 1 до 8‰ (Mikhailov and Gorin 2012). Эстуарии являются переходными зонами, или экотонами, между пресноводными и морскими местообитаниями (Хлебович [Khlebovich] 1974; Одум [Odum] 1975). Они характеризуются высоким биоразнообразием в условиях переменной солености (Telesh and Khlebovich 2010; Telesh et al. 2013) и представляют собой уникальный объект для изучения роли геохимических барьеров в процессе накопления вещества и энергии. Геохимические барьеры образуются в области смешения речных и морских вод из-за различий в их составе и свойствах. Наличие барьеров влияет на поведение различных химических элементов и взвесей, на смену флоры и фауны и, в частности, на фито- и зоопланктон. Это объясняется тем, что зоны перемешивания речных и морских вод растягиваются на многие километры, охватывая огромные акватории, что позволяет проследить эти изменения (Лисицын [Lisitsyn] 1994; Гордеев и Лисицын [Gordeev and Lisitsyn] 2014).

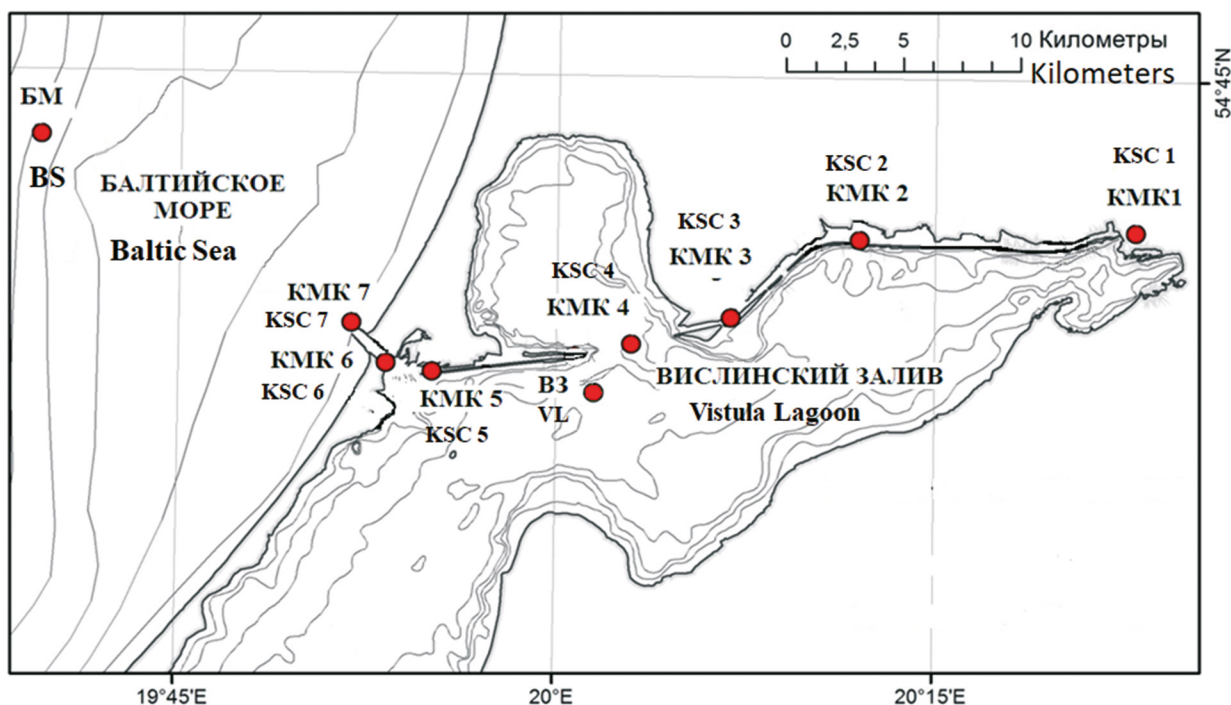
В последние годы выполнены исследования гидрологии и гидрохимии в зоне маргинального фильтра р. Преголя (Lukashin et al. 2018; Krechik et al. 2020). Исследования планктонных сообществ системы «р. Преголя – Калининградский морской канал – Вислинский залив – Балтийское море» отрывочны, проводились в разное время и включали описания фито- и зоопланктона в отдельных водоемах (Семенова [Semenova] 2000; Дмитриева [Dmitrieva] 2009, 2017; Науменко [Naumenko] 2010; Dmitrieva and Semenova 2012). Исследования последних лет посвящены главным образом состоянию планктонных сообществ р. Преголя (Ежова [Ezhova] 2013; Полунина и др. [Polunina et al.] 2019; Polunina and Stont 2022). Одновременные исследования фито- и зоопланктона системы река–море ранее не проводили. Цель работы – изучить особенности пространственного распределения сообществ фито- и зоопланктона в зонах с разной соленостью воды в системе «р. Преголя – Калининградский морской канал – Вислинский залив – Балтийское море».

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Исследования планктонных сообществ проводили в летний (июль–август) и осенний (октябрь) периоды 2021 г. на 15 станциях с переменной соленостью от практически пресноводных до морских, расположенных в р. Преголя в ее верхнем течении (ПВТ) и ее нижнем течении (ПНТ), Калининградском морском канале (КМК), Вислинском (Калининградском) заливе (ВЗ) и прибрежной зоне Балтийского моря (БМ) (Рис. 1, Табл. 1). Пробы отбирали 5, 10 и 30-литровыми батометрами послойно, число горизонтов зависело от глубины на станции отбора проб. Измерения температуры и солености были выполнены с помощью гидрофизического зонда CTD-зонд Sea&Sun Technology CTD 90M и многопараметрического зонда AquaRead AP-2000.

Пробы фитопланктона объемом 1 л консервировали раствором Люголя с добавлением формалина и ледяной уксусной кислоты. Сгущение 44 проб проводили седиментационным методом до 5–10 мл в зависимости от количества фитопланктона в пробе. Количественную обработку проб проводили по общепринятой методике в счетной камере типа «Учинская» объемом 0.01 мл при помощи микроскопа Leica DM2500. Объем водорослей для расчета биомассы вычисляли методом геометрического подобия. К доминирующим относили виды, составлявшие более 10% суммарной биомассы (Мордухай-Болтовской [Mordukhay-Boltovskoy] 1975). Уточнение таксономического статуса отдельных видов проводили согласно альгологической базе данных AlgaBase (Guiry and Guiry 2022).

Сбор и обработку 44 проб зоопланктона выполняли по стандартным методикам (Винберг и Лаврентьева [Winberg and Lavrentieva] 1984; Шевелев [Shevelev] 2004). Пробу воды из батометра концентрировали с помощью сачка из газа № 70 (размер ячеек 68 мкм). Для установления доли мертвых особей в зоопланктоне сразу после отбора пробы зоопланктон прижизненно окрашивали (Crippen and Perrier 1974; Seepersad and Crippen 1978; Elliot and Tang 2009; Семенова [Semenova] 2010). После окрашивания пробу зоопланктона фиксировали по стандартной методике 40% формалином с сахарозой до конечной концентрации в пробе 2–4% (Haney and Hall



**Рис. 1.** Карта-схема района исследований в Калининградском морском канале (КМК), Вислинском заливе (ВЗ) и Балтийском море (БМ).

**Fig. 1.** Map-diagram of the research area in the Kaliningrad Sea Channel (KSC), the Vistula Lagoon (VL) and the Baltic Sea (BS).

**Таблица 1.** Координаты и условные обозначения станций отбора проб.

**Table 1.** Coordinates and symbols of sampling stations.

| Местоположение станции<br>Station location                       | Сокращенное обозначение станции<br>Station abbreviation | Широта<br>Latitude | Долгота<br>Longitude |
|------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|--------------------|----------------------|
| Верхнее течение реки Преголя<br>Upper flow of the Pregolya River | ПВТ 1/PUF 1                                             | 54°39'41"N         | 20°55'32"E           |
| Нижнее течение реки Преголя<br>Lower flow of the Pregolya River  | ПНТ 2/ PLF 2                                            | 54°41'41"N         | 20°36'43"E           |
|                                                                  | ПНТ 3/PLF 3                                             | 54°41'43"N         | 20°36'43"E           |
|                                                                  | ПНТ 4/PLF 4                                             | 54°41'39"N         | 20°36'29"E           |
|                                                                  | ПНТ 5/PLF 5                                             | 54°41'37"N         | 20°36'09"E           |
|                                                                  | ПНТ 6/ PLF 6                                            | 54°41'43"N         | 20°37'10"E           |
| Калининградский морской канал<br>Kaliningrad Sea Channel (KSC)   | КМК 1/KSC 1                                             | 54°41'24"N         | 20°22'57"E           |
|                                                                  | КМК 2/KSC 2                                             | 54°41'11"N         | 20°12'00"E           |
|                                                                  | КМК 3/KSC 3                                             | 54°39'19"N         | 20°06'54"E           |
|                                                                  | КМК 4/KSC 4                                             | 54°38'40"N         | 20°02'59"E           |
|                                                                  | КМК 5/KSC 5                                             | 54°37'58"N         | 19°55'06"E           |
|                                                                  | КМК 6/KSC 6                                             | 54°38'09"N         | 19°53'15"E           |
|                                                                  | КМК 7/KSC 7                                             | 54°39'06"N         | 19°51'52"E           |
| Вислинский (Калининградский) залив<br>Vistula Lagoon             | ВЗ/VL                                                   | 54°37'30"N         | 20°01'30"E           |
| Балтийское море<br>Baltic Sea                                    | БМ/BS                                                   | 54°43'00"N         | 19°36'00"E           |

1973). Камеральную обработку проб выполняли в счетной камере Богорова по стандартной методике под бинокляром Nikon SMZ800N. К доминирующим относили виды, составлявшие более 5% от численности или биомассы зоопланктона (Hernroth 1985; Harris et al. 2000; Шевелев [Shevelev] 2004; Telesh et al. 2015). Таксономическая принадлежность идентифицированных беспозвоночных была приведена в соответствии с World Register of Marine Species (WoRMS Editorial Board 2023) и Integrated Taxonomic Information System (ITIS 2023).

Анализ данных проводили с использование пакета Primer v 6. Сходство между пробами рассчитывали на основе индекса Брея-Кёртиса, используя значения относительной биомассы фито- и зоопланктона в каждой пробе. Достоверность различий групп проб по структуре сообществ планктона оценивали методом ANOSIM (Clarke and Gorley 2006).

## РЕЗУЛЬТАТЫ

### Изменение гидрологических характеристик

В летний период температура воды на станциях отбора проб изменялась от 18.10 до 24.70°C и была выше в верхнем и нижнем течении р. Преголя, снижаясь в КМК и Балтийском море (Рис. 2). К осени температура понижалась и колебалась от 9.70 до 15.00°C, ее значения были сходными как в реке, так и в Вислинском заливе. Самая высокая температура воды осенью отмечалась в Балтийском море за счет имеющегося теплозапаса водных масс. Соленость в верхнем и нижнем течении р. Преголи была минимальной, ее значения по сезонам варьировали незначительно (от 0.10‰ до 0.30‰) и были чуть выше осенью. Увеличение солености в оба сезона отмечалось на станции КМК 1, соленость возрастала по мере приближения к морскому проливу и имела максимальные значения на станции Балтийского моря (7.20–7.40‰).

### Фитопланктон

В фитопланктоне системы «р. Преголя – Вислинский залив – КМК – Балтийское море» в период исследований были обнаружены 173 таксона. Наибольшее число таксонов было выявлено среди диатомовых, зеленых, цианопрокариот, динофитовых и криптонад. В летний период

были встречены 143 таксона, в осенний – 130. Наибольшее число видов (110) было отмечено в Вислинском заливе и КМК, меньшее было выявлено в р. Преголя (88), минимальное – в Балтийском море (57). В реке наибольшим числом видов были представлены отделы диатомовых и зеленых водорослей. В КМК и Вислинском заливе, помимо диатомовых и зеленых водорослей, заметным числом видов были представлены цианопрокариоты. В прибрежной зоне Балтийского моря, помимо диатомовых и цианопрокариот, были многочисленны динофитовые (Рис. 3).

Анализ структуры фитопланктона по методу Брея-Кёртиса в летний период выявил три группы проб (на уровне сходства 40%), которые имели достаточно четкую приуроченность к различным районам исследованной акватории и были выделены в отдельные «сообщества» (Рис. 4). Доминантные таксоны в выделенных сообществах представлены на Рис. 5.

Сообщество 1 объединило станции, расположенные в р. Преголя. В состав доминирующего комплекса сообщества входил главным образом вид *Melosira varians* C. Agardh 1827 (его вклад в суммарную биомассу был наибольшим и в среднем для сообщества составил 30%). Для *Phacus caudatus* Hübner, 1886, *Gymnodinium* sp. F. Stein, 1878 и *Cryptomonas curvata* Ehrenberg, 1832 доля в биомассе в среднем для сообщества не превышала 8%. Доля *Skeletonema subsalsum* (A. Cleve) Bethge, 1928 и *Stephanodiscus hantzschii* Grunow, 1880 в среднем составляла по 5% от суммарной биомассы. Вклад *Kryptoperidinium triquetrum* (Ehrenberg) Tillmann et al., 2019 и *Surirella* sp. P.J.F. Turpin, 1828 составлял в среднем по 4%. Доля в биомассе *Stephanocyclus meneghinianus* (Kützinger) Kulikovskiy Genkal et Kociolek 2022 не превышала в среднем 2% ее суммарных значений (Рис. 5А). Биомасса фитопланктона в сообществе варьировала от 0.61 до 2.50 г/м<sup>3</sup> (Рис. 6). Среднее значение биомассы составляло 1.12±0.29 г/м<sup>3</sup>.

Сообщество 2 объединило станции КМК и Вислинского залива. Состав доминирующего комплекса этих акваторий определяли в основном *Woronichinia compacta* (Lemmermann) Komárek et Hindák, 1988 (в среднем 50% суммарной биомассы). Доля *Stephanocyclus meneghinianus* составила 12% от средней биомассы

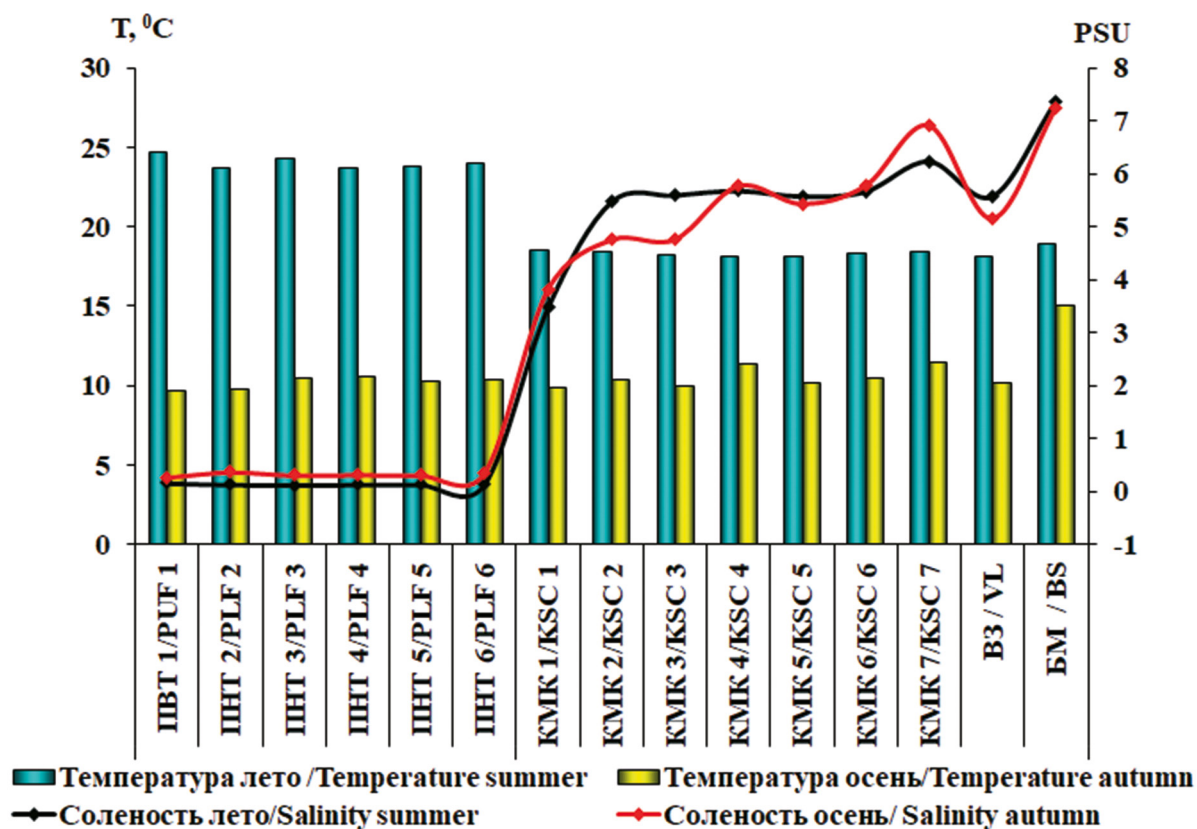


Рис. 2. Температура (T) и соленость (PSU) в системе «р. Преголя – КМК – Вислинский залив – Балтийское море» в 2021 г.  
Fig. 2. Temperature (T) and salinity (PSU) in the Pregolya River – KSC – Vistula Lagoon – Baltic Sea system in 2021.

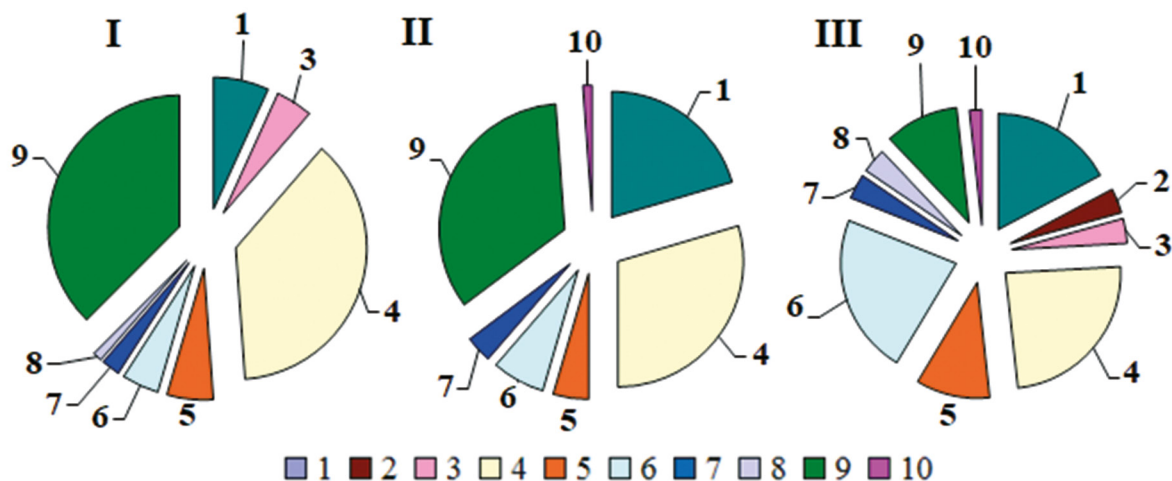


Рис. 3. Соотношение числа таксонов разных систематических отделов в системе река Преголя (I) – КМК – Вислинский залив (II) – Балтийское море (III) в 2021 г. Обозначения: 1 – Cyanoprokaryota, 2 – Haptophyta, 3 – Chrysophyta, 4 – Bacillariophyta, 5 – Cryptophyta, 6 – Dinophyta, 7 – Euglenophyta, 8 – Xanthophyta, 9 – Chlorophyta, 10 – Cercozoa.

Fig. 3. The ratio of the number of taxa of different systematic divisions in the Pregolya River (I) – KSC – Vistula Lagoon (II) – Baltic Sea (III) system in 2021. Abbreviations: 1 – Cyanoprokaryota, 2 – Haptophyta, 3 – Chrysophyta, 4 – Bacillariophyta, 5 – Cryptophyta, 6 – Dinophyta, 7 – Euglenophyta, 8 – Xanthophyta, 9 – Chlorophyta, 10 – Cercozoa.

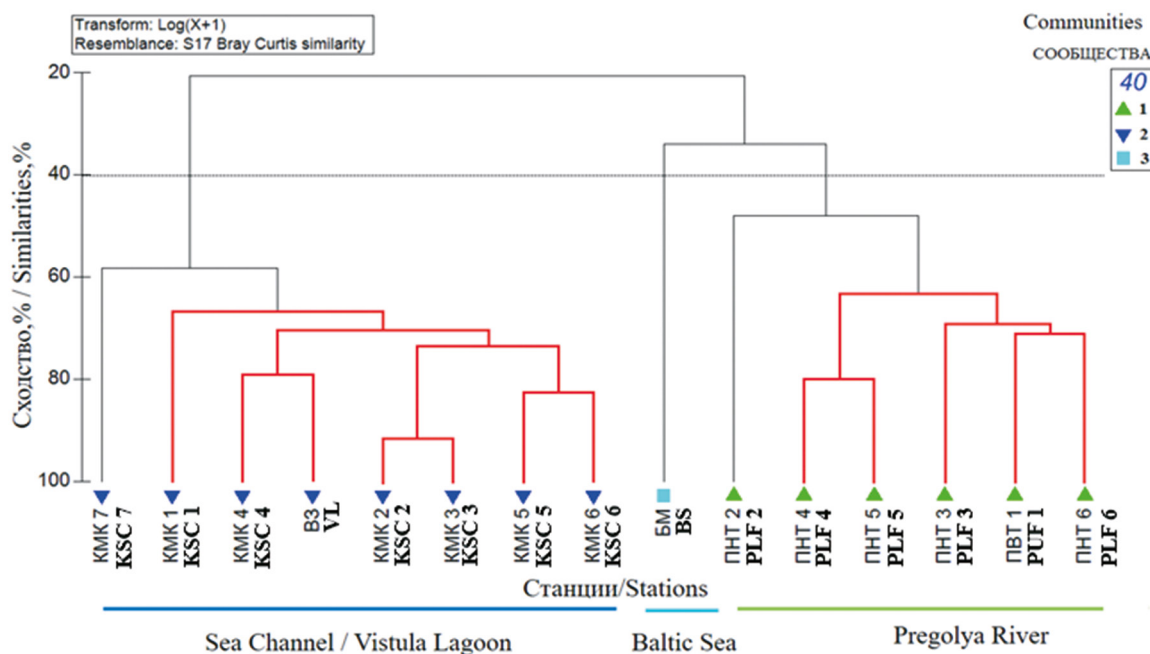


Рис. 4. Сообщества фитопланктона в системе «р. Преголя – КМК – Вислинский залив – Балтийское море» в летний период 2021 г.

Fig. 4. Phytoplankton communities in the Pregolya River – KSC – Vistula Lagoon – Baltic Sea system in the summer 2021.

сообщества, *Microcystis aeruginosa* (Kützing) Kützing, 1846 – 10% суммарной биомассы сообщества. Диатомеи *Actinocyclus octonarius* Ehrenberg, 1837 и *Skeletonema subsalsum* составляли не более 2% суммарной биомассы (Рис. 5А). Суммарная биомасса фитопланктона в сообществе варьировала от 2.45 до 11.89 г/м<sup>3</sup> (Рис. 6). Среднее значение биомассы составляло 6.92±1.06 г/м<sup>3</sup>. Доминирующими группами были цианобактерии и диатомеи.

Сообщество 3 было представлено одной станцией, расположенной в юго-восточной части Балтийского моря. В составе сообществ доминировали диатомовые водоросли, главным образом *Coscinodiscus granii* L.F. Gough, 1905, составлявший в среднем 40% суммарной биомассы сообщества, *Ebria tripartita* (Schumann) Lemmermann, 1899 (11% биомассы) и *Rhodomonas marina* (P.A. Dangeard) Lemmermann, 1903, составлявший 10% суммарной биомассы (Рис. 5А). Биомасса фитопланктона на этой станции была низкой и составила 0.42 г/м<sup>3</sup> (Рис. 6).

Анализ структуры фитопланктона по методу Брея-Кёртиса в осенний период выявил

три группы проб (на низком уровне сходства 15%), которые имели приуроченность к различным районам исследованной акватории и выделены нами в отдельные «сообщества». В р. Преголя станции, формирующие кластер, имели низкий уровень внутреннего сходства, поэтому отнесение их к «сообществу» условно. В сообщество входили все станции р. Преголя (Рис. 7). В состав доминирующего комплекса на станциях р. Преголя входили главным образом *Cryptomonas curvata*, *Stephanodiscus hantzschii*, *Melosira varians*, их вклад в среднюю для сообщества биомассу не превышал 13%. Доля *Stephanocyclus meneghinianus*, *Euglena* sp., *Cryptomonas ovata* Ehrenberg, 1832 в среднем для сообщества составляла 5–6%. По 4% в среднем для сообщества в биомассу вносили *Phacus caudatus* Hübner, 1886, *Aulacoseira islandica* (O. Müller) Simonsen, 1979, *Surirella librile* (Ehrenberg) Ehrenberg, 1845. Наименьший вклад (2%) был характерен для *Coelastrum astroideum* De Notaris, 1867 и *Dinobryon divergens* O.E. Imhof, 1887 (Рис. 5В). Биомасса фитопланктона в сообществе варьировала от 0.16 до

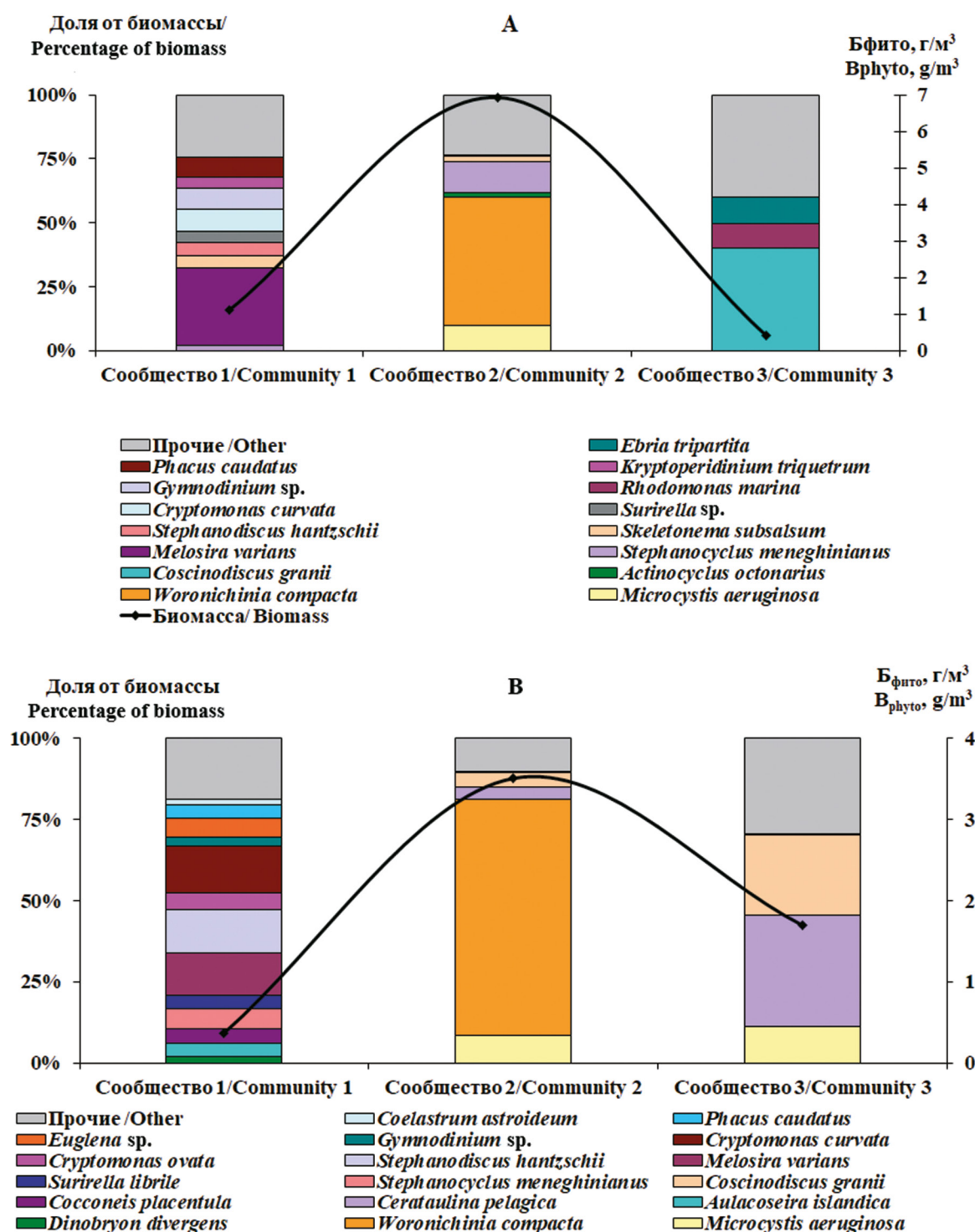


Рис. 5. Доминирующие таксоны сообществ фитопланктона в системе «р. Преголя – КМК – Вислинский залив – Балтийское море» летом (А) и осенью (В) 2021 г.

Fig. 5. Dominant taxa of phytoplankton communities in the Pregolya River – KSC – Vistula Lagoon – Baltic Sea system in summer (A) and autumn (B) 2021.

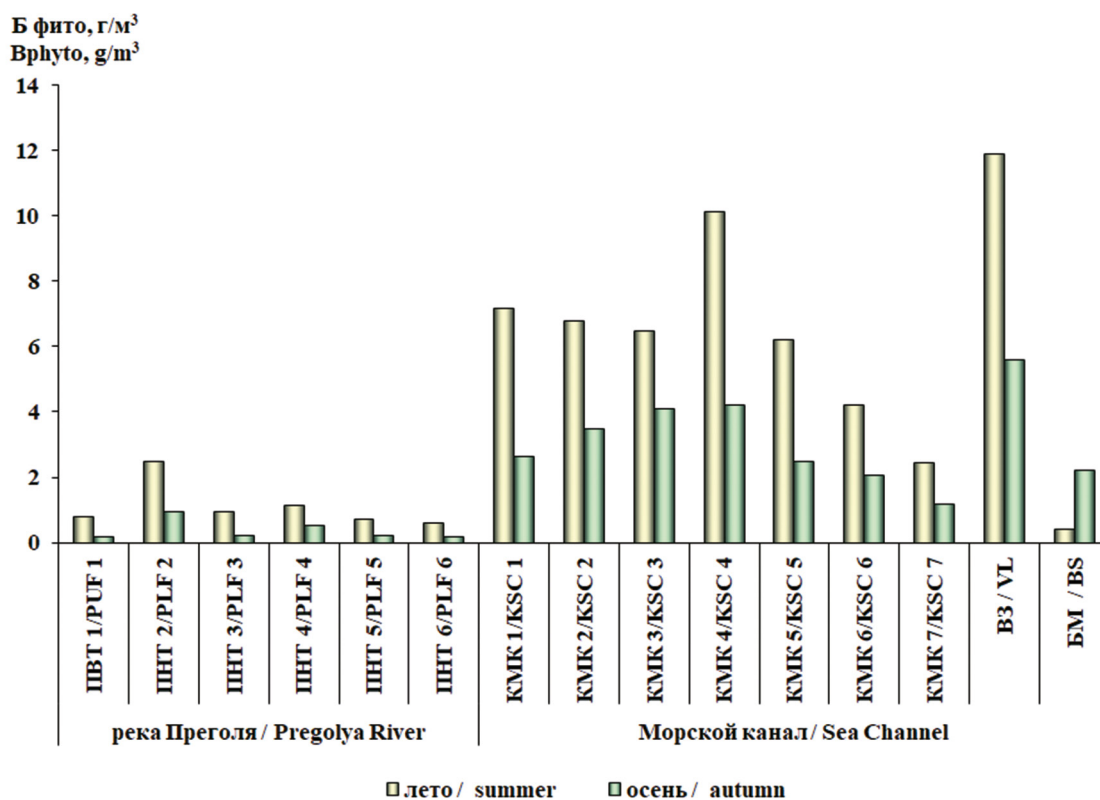


Рис. 6. Биомасса фитопланктона в системе «р. Преголя – КМК – Вислинский залив – Балтийское море» летом и осенью 2021 г.

Fig. 6. Phytoplankton biomass in the Pregolya River – KSC – Vistula Lagoon – Baltic Sea system in summer and autumn 2021.

0.94 г/м³ (Рис. 6). Среднее значение биомассы составляло  $0.37 \pm 0.13$  г/м³.

Сообщество 2 объединяло данные всех станций КМК и станцию Вислинского залива (Рис. 7). В составе сообществ доминировали цианобактерии и диатомовые водоросли, главным образом *Woronichinia compacta*, доля которой в суммарной биомассе составила в среднем 72%, и *Microcystis aeruginosa*, который составлял 9% суммарной биомассы. Вклад *Coscinodiscus granii* в среднем составил 5%, *Cerataulina pelagica* (Cleve) Hendey, 1937 – 4% (Рис. 5В). Биомасса фитопланктона варьировала от 2.07 до 5.61 г/м³ (Рис. 6). Средняя для сообщества биомасса составляла  $3.51 \pm 0.47$  г/м³.

В сообщество 3 вошли 2 станции: одна, расположенная на выходе из КМК, и вторая – в Балтийском море. Состав доминирующего комплекса здесь определяли в основном диатомеи *Cerataulina pelagica*, составлявшая 35%

суммарной биомассы и *Coscinodiscus granii*, доля которого была 25%. Вклад *Microcystis aeruginosa* составил 11% суммарной биомассы (Рис. 5В). Суммарная биомасса фитопланктона в сообществе изменялась от 1.19 до 2.21 г/м³ (Рис. 6). Среднее значение биомассы составляло  $1.70 \pm 0.51$  г/м³.

### Зоопланктон

В зоопланктоне системы «р. Преголя – Вислинский залив – КМК – Балтийское море» в период исследований были обнаружены 73 таксона, относящихся к коловраткам (Rotifera), ветвистоусым ракообразным (Cladocera) и веслоногим ракообразным (Copepoda). Также в зоопланктоне были встречены меропланктонные личинки двусторчатых моллюсков (Bivalvia) и многощетинковых червей (Polychaeta), а также радиолярии (Radiozoa). В летний период были встречены 63 вида, в осенний – 47; наибольшее

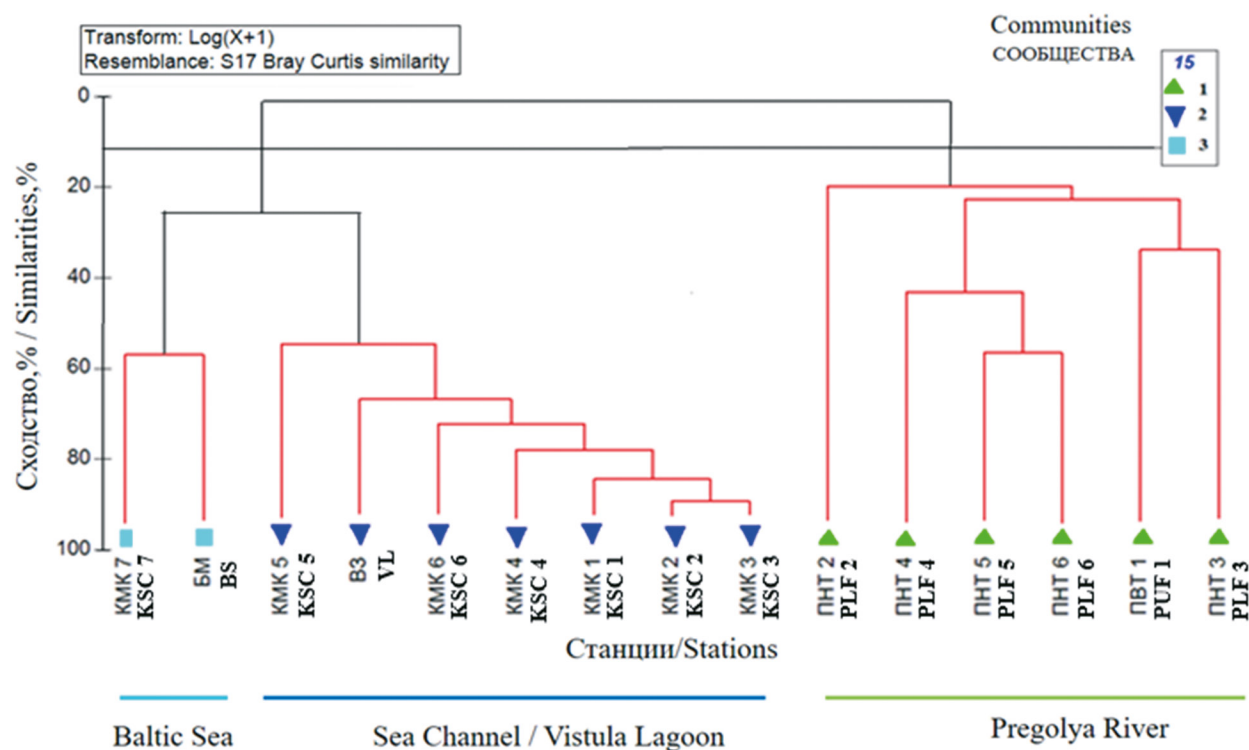


Рис. 7. Сообщества фитопланктона в системе «р. Преголя – КМК – Вислинский залив – Балтийское море» в осенний период 2021 г.

Fig. 7. Phytoplankton communities in the Pregolya River – KSC – Vistula Lagoon – Baltic Sea system in autumn 2021.

число видов летом относилось к ветвистоусым ракообразным, осенью – к веслоногим ракообразным. Наибольшее число видов (47) было встречено в р. Преголя, чуть меньшее число видов (43) – в Вислинском заливе и КМК, минимальное – в Балтийском море (20) (Рис. 8).

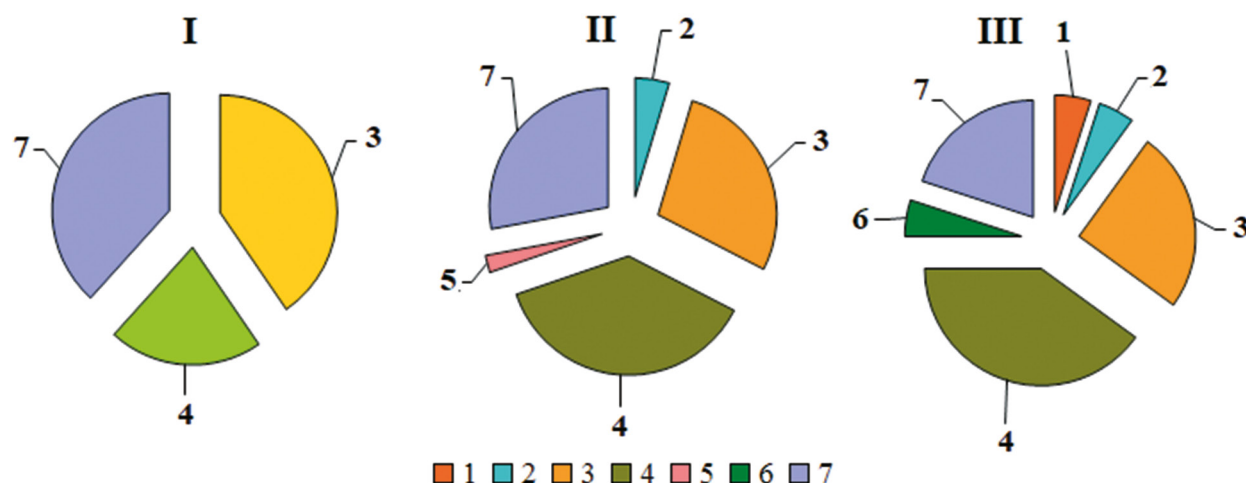
Отмеченные виды зоопланктона относились как к пресноводному комплексу видов, так и к солоноватоводным видам, но обитающим и при значительном распреснении, а также к морским видам, которые характерны для акватории Балтийского моря.

В результате проведенного кластерного анализа в зоопланктоне района исследований в летний период на уровне сходства 40% были выделены 4 сообщества: сообщество 1 – в верхнем течении р. Преголя, сообщество 2 – в нижнем течении р. Преголя, сообщество 3 – в Вислинском заливе и КМК и сообщество 4 – в Балтийском море (Рис. 9). Вклад массовых и доминирующих

видов в биомассу выделенных сообществ показан на Рис. 10.

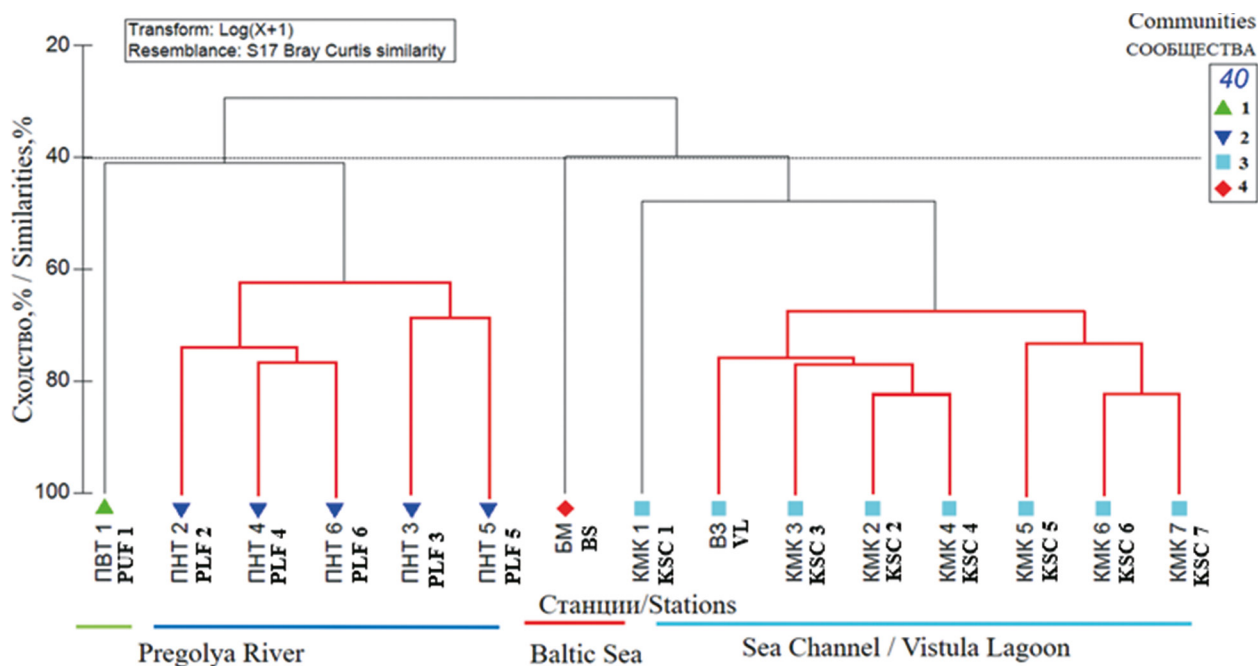
Сообщество 1 в летний период (выделено только для зоопланктона) было представлено 24 таксонами, больше всего видов (10) относилось к ветвистоусым ракообразным, все виды были пресноводными. Наиболее массового развития в этом сообществе достигали *Brachionus quadridentatus* Hermann, 1783, *Keratella cochlearis* (Gosse, 1851), *Keratella quadrata* (Müller, 1786), *Bosmina longirostris* (O.F. Müller, 1785), *Daphnia cucullata* G.O. Sars, 1862, *Scapholeberis mucronata* O.F. Müller, 1776 и молодь Cyclopoida (Рис. 10А). По численности доминировали коловратки, по биомассе – ветвистоусые ракообразные при высокой доле веслоногих ракообразных. Численность и биомасса составляли 28 тыс. экз./м<sup>3</sup> и 131 мг/м<sup>3</sup>.

Сообщество 2 в летний период (выделено только для зоопланктона) было представлено



**Рис. 8.** Соотношение числа таксонов зоопланктона в разных систематических группах в системе «река Преголя (I) – КМК – Вислинский залив (II) – Балтийское море (III)» в 2021 г. *Обозначения:* 1 – Appendicularia, 2 – Bivalvia, 3 – Cladocera, 4 – Copepoda, 5 – Polychaeta, 6 – Radiozoa, 7 – Rotifera.

**Fig. 8.** The ratio of the number of zooplankton taxa of different systematic groups in the Pregolya River (I) – KSC – Vistula Lagoon (II) – Baltic Sea (III) system in 2021. *Abbreviations:* 1 – Appendicularia, 2 – Bivalvia, 3 – Cladocera, 4 – Copepoda, 5 – Polychaeta, 6 – Radiozoa, 7 – Rotifera.



**Рис. 9.** Сообщества зоопланктона в системе «р. Преголя – КМК – Вислинский залив – Балтийское море» в летний период 2021 г.

**Fig. 9.** Zooplankton communities in the Pregolya River – KSC – Vistula Lagoon – Baltic Sea system in summer 2021.

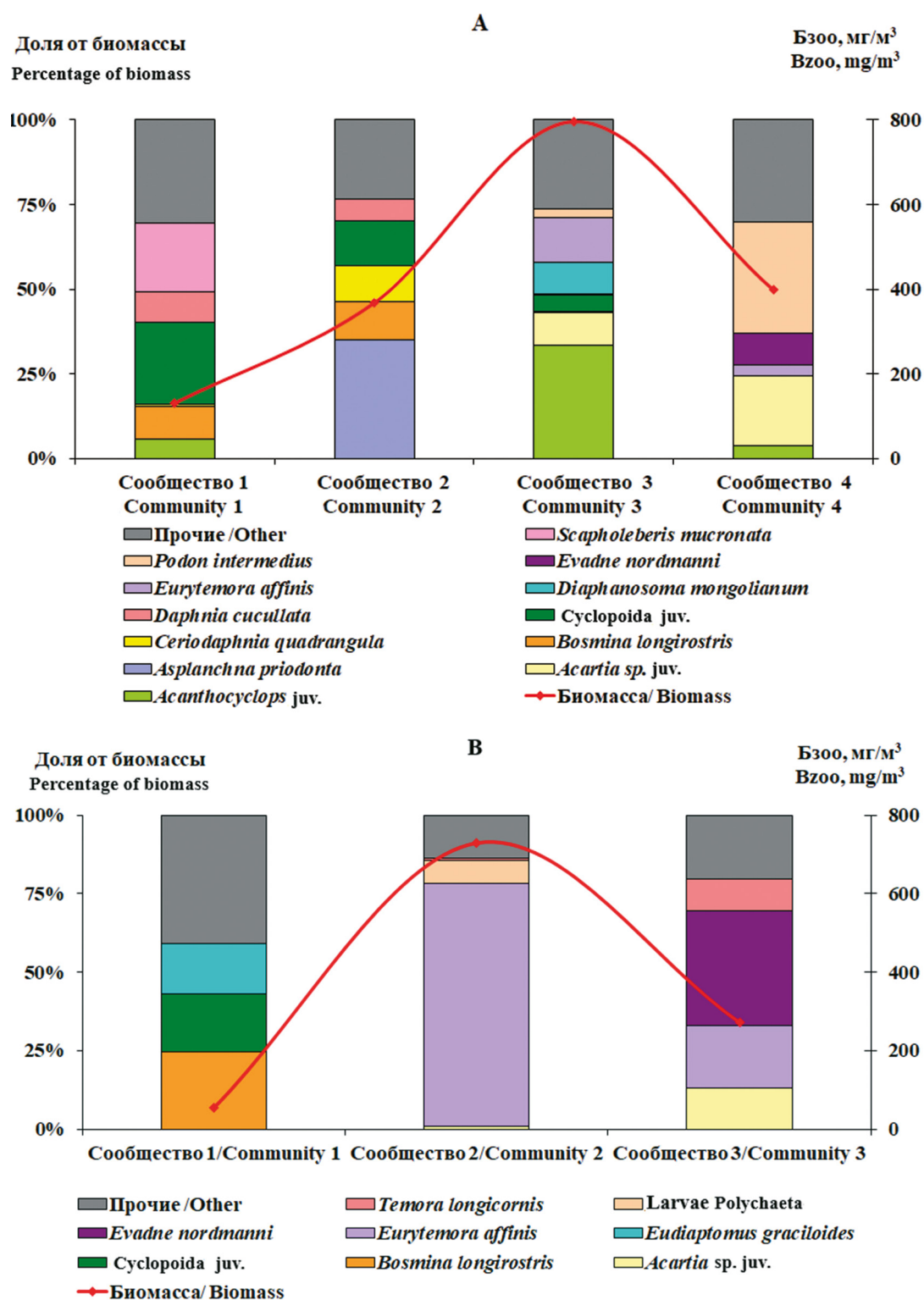
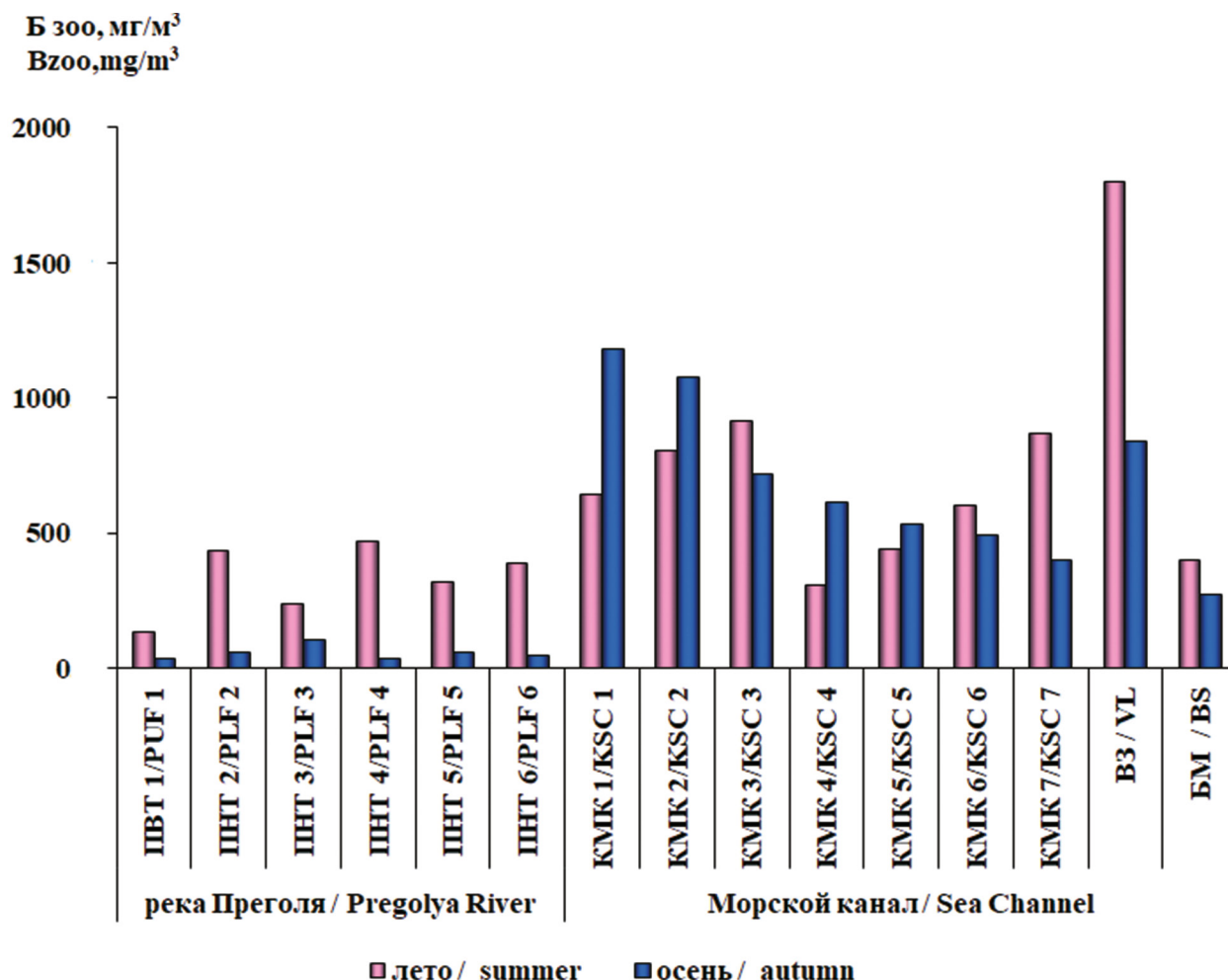


Рис. 10. Биомасса зоопланктона и доля массовых и доминирующих видов в биомассе летом (А) и осенью (В) 2021 г.

Fig. 10. Zooplankton biomass and the proportion of mass and dominant species in the total biomass in summer (A) and autumn (B) 2021.



**Рис. 11.** Изменения биомассы зоопланктона в системе «р. Преголя – КМК – Вислинский залив – Балтийское море» летом и осенью 2021 г.

**Fig. 11.** Changes in zooplankton biomass in the Pregolya River – KSC – Vistula Lagoon – Baltic Sea system in summer and autumn 2021.

27 таксонами, больше всего видов (11) также относилось к ветвистоусым ракообразным, большинство видов были пресноводными. Наиболее массово развивались *Asplanchna priodonta* Gosse 1850, *Keratella cochlearis*, *Keratella quadrata*, *Bosmina longirostris*, *Ceriodaphnia quadrangula* (O.F. Müller, 1785), *Daphnia cucullata*, науплиусы и молодь Cyclopoida (Рис. 10А). По численности и биомассе доминировали коловратки при высокой доле ветвистоусых ракообразных. Численность зоопланктона изменялась от 67 до 92 тыс. экз./м³, биомасса – от 234 до 468 мг/м³ (Рис. 11); в среднем численность и биомасса составили  $76.67 \pm 4.48$  экз./м³ и  $369 \pm 93$  мг/м³.

В сообществе 3 в летний период было встречено наибольшее число таксонов – 34, больше всего видов (12) относилось к веслоногим ракообразным, большинство видов были пресноводными и солоноватоводными, некоторые виды имели морское происхождение. Наиболее массово развивались *Keratella quadrata*, *Diaphanosoma mongolianum* Ueno, 1938, *Eurytemora affinis* Poppe, 1880, науплиусы и молодь Cyclopoida, *Acartia* и *Acanthocyclops* (Рис. 10А). По численности и биомассе доминировали веслоногие ракообразные. Численность зоопланктона изменялась от 72 до 162 тыс. экз./м³, биомасса – от 305 до 1801 мг/м³, в среднем численность и биомасса

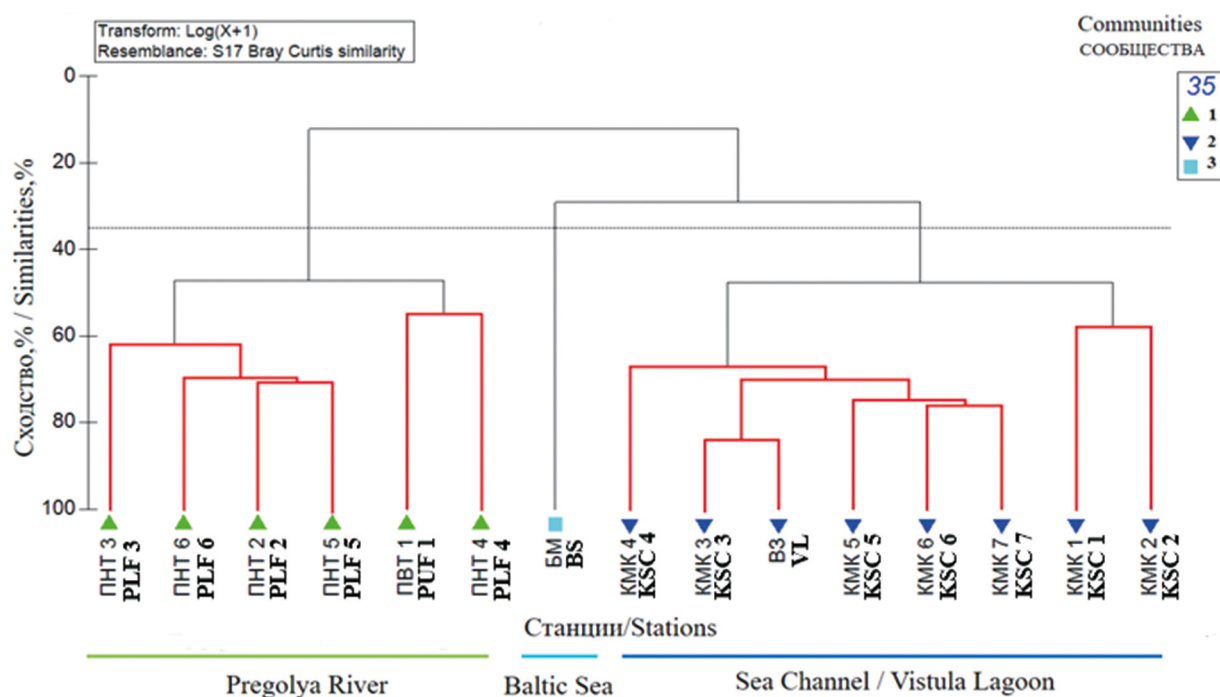


Рис. 12. Сообщества зоопланктона в системе «р. Преголя – КМК – Вислинский залив – Балтийское море» в осенний период 2021 г.

Fig. 12. Zooplankton communities in the Pregolya River – KSC – Vistula Lagoon – Baltic Sea system in the autumn 2021.

составили  $96.69 \pm 10.48$  экз./м<sup>3</sup> и  $797 \pm 162$  мг/м<sup>3</sup> соответственно.

Сообщество 4 в летний период было представлено 18 таксонами, больше всего видов (7) относилось к веслоногим ракообразным, большая часть видов имела морское происхождение. Наиболее массового развития в этом сообществе достигали *Keratella quadrata*, *Evadne nordmanni* Lovén, 1836, *Podon intermedius* Lilljeborg, 1853, науплиусы и молодь *Acartia* (Рис. 10А). По численности доминировали коловратки, по биомассе – ветвистоусые ракообразные при высокой доле веслоногих ракообразных. Численность и биомасса составляли 52 тыс. экз./м<sup>3</sup> и 398 мг/м<sup>3</sup>.

В осенний период на уровне сходства 35% были выделены 3 сообщества: сообщество 1, объединяющее все станции в р. Преголя, сообщество 2 в Вислинском заливе и КМК, и сообщество 3 в Балтийском море (Рис. 12).

Сообщество 1 в осенний период было представлено 24 таксонами, больше всего видов (10) относилось к коловраткам, большинство видов были пресноводными. Наиболее массово

развивались *Keratella quadrata*, *Bosmina longirostris*, *Eudiaptomus graciloides* (Lilljeborg, 1888) науплиусы и молодь Cyclopoida (Рис. 10В). По численности доминировали коловратки, по биомассе – веслоногие ракообразные. Численность зоопланктона изменялась от 12 до 24 тыс. экз./м<sup>3</sup>, биомасса – от 34 до 105 мг/м<sup>3</sup>, в среднем численность и биомасса составили  $18.06 \pm 1.78$  экз./м<sup>3</sup> и  $56 \pm 11$  мг/м<sup>3</sup>.

В сообществе 2 в осенний период было встречено наибольшее число таксонов – 33, больше всего видов (15) относилось к веслоногим ракообразным, большинство видов были пресноводными и солоноватоводными, некоторые виды имели морское происхождение. Наиболее массово развивались *Synchaeta baltica* Ehrenberg, 1834, *Eurytemora affinis*, науплиусы и молодь Cyclopoida, личинки многощетинковых червей (Polychaeta) (Рис. 10В). По численности и биомассе доминировали веслоногие ракообразные. Численность зоопланктона изменялась от 70 до 140 тыс. экз./м<sup>3</sup>, биомасса – от 397 до 1182 мг/м<sup>3</sup>, в среднем численность и биомасса составили  $96.07 \pm 7.99$  экз./м<sup>3</sup> и  $730 \pm 100$  мг/м<sup>3</sup>.

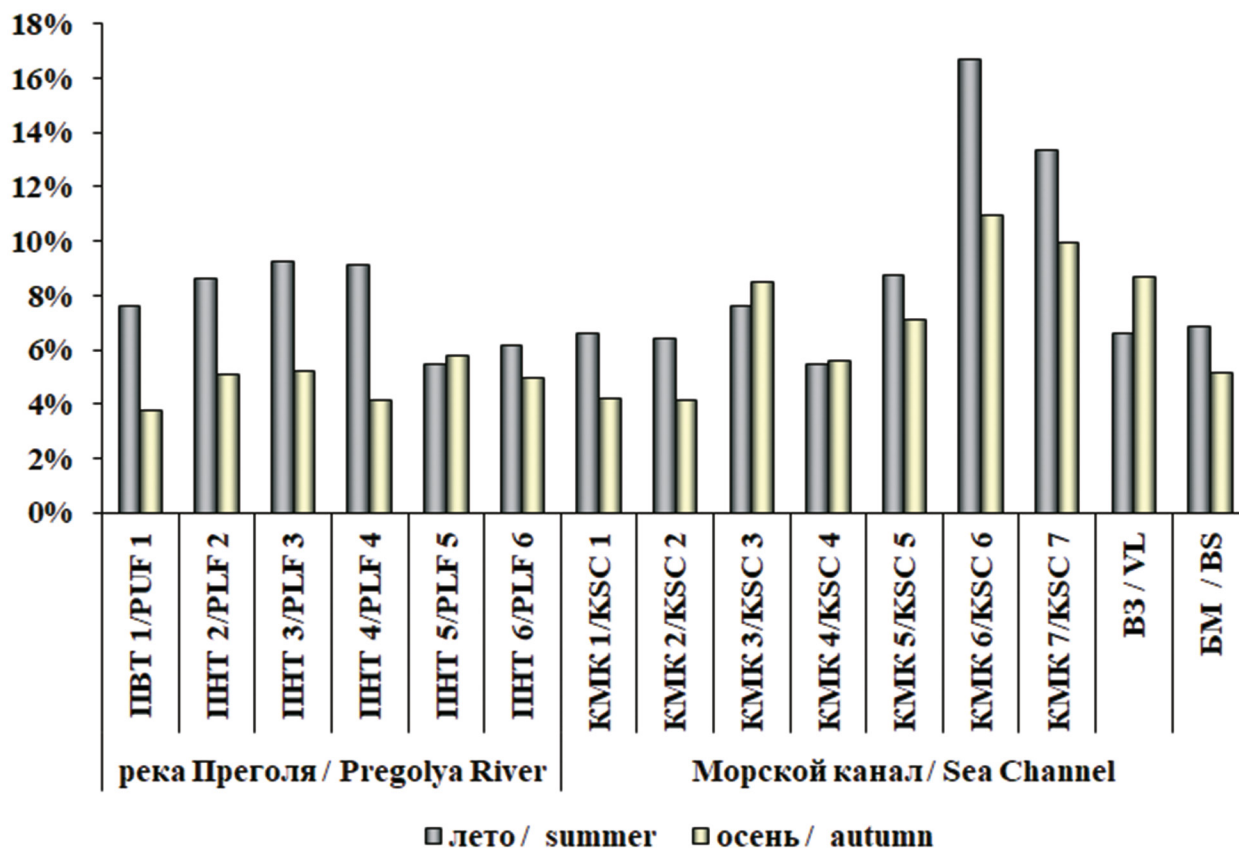


Рис. 13. Доля мертвых особей в численности зоопланктона летом и осенью 2021 г.

Fig. 13. The proportion of dead individuals in the total number of zooplankton in summer and autumn 2021.

Сообщество 3 в осенний период было представлено 14 таксонами, больше всего видов (7) относилось к веслоногим ракообразным, большинство видов имели морское происхождение. Наиболее массового развития в этом сообществе достигали *Evadne nordmanni*, науплиусы и молодь *Acartia* и *Eurytemora affinis* (Рис. 10В). По численности и биомассе доминировали веслоногие ракообразные. Численность и биомасса составляли 16 тыс. экз./м<sup>3</sup> и 272 мг/м<sup>3</sup>.

В целом в оба сезона исследований наибольшее число видов и таксонов и наибольшие количественные показатели зоопланктона были отмечены на станциях в Вислинском заливе и КМК, в оба периода исследований зоопланктон этих акваторий выделялся в обособленное сообщество (сообщество 3 летом и сообщество 2 осенью). На акватории р. Преголя зооплан-

ктон также был представлен большим числом таксонов, но имел более низкое количественное развитие, в Балтийском море в оба сезона было отмечено минимальное число таксонов, количественное развитие зоопланктона было сопоставимо с р. Преголя.

Кроме стандартных показателей, был исследован такой показатель, как доля мертвых особей зоопланктона в системе «р. Преголя – Вислинский залив – КМК – Балтийское море». Полученные результаты показали, что в летний период доля мертвых особей изменялась от 5.45 до 16.69%, в осенний период – от 3.80 до 10.94% от численности зоопланктона (Рис. 13). В оба периода максимальные доли мертвых особей были отмечены на станции КМК 6 в проливе. Также повышенные доли мертвых особей были отмечены и на соседних со станцией КМК 6 станциях, возрастание доли мертвых особей

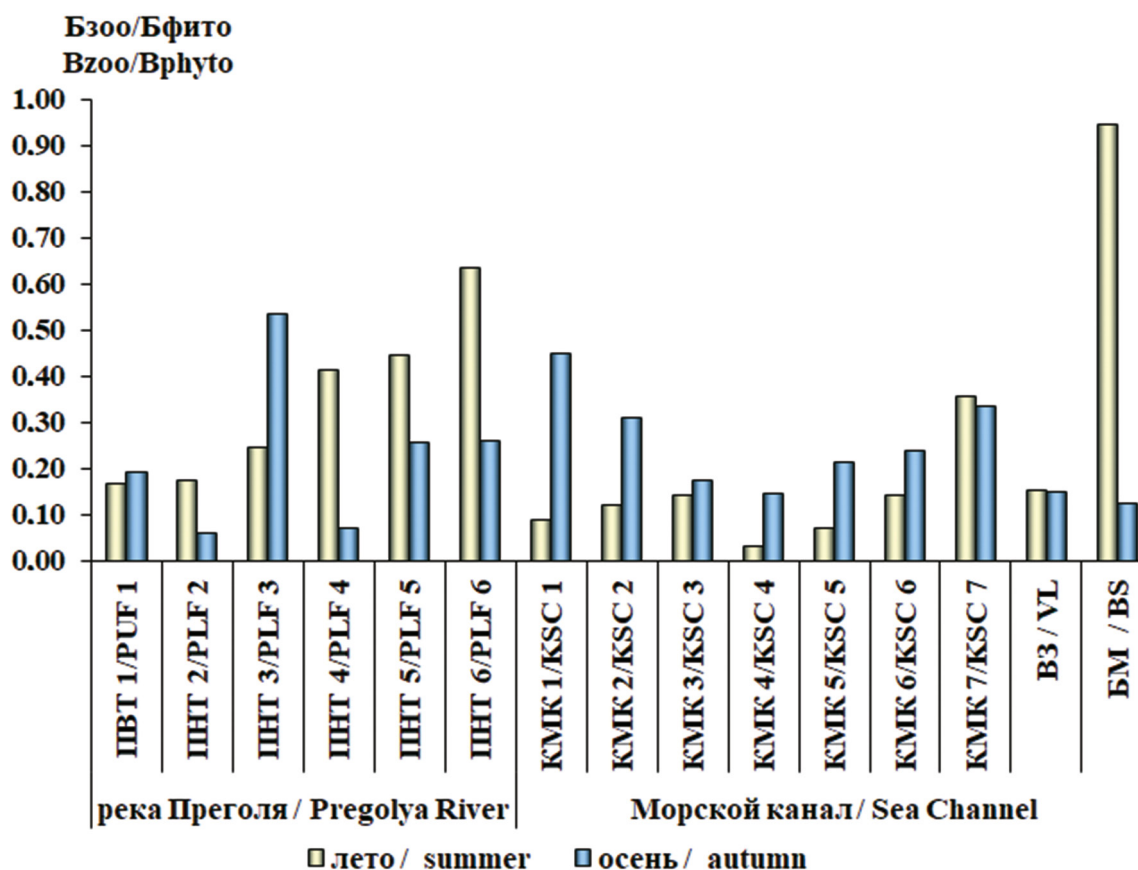


Рис. 14. Соотношение биомасс фитопланктона и зоопланктона летом и осенью 2021 г.

Fig. 14. Ratio of phytoplankton and zooplankton biomass in summer and autumn 2021.

в этом районе происходило за счет массовой гибели и накоплении на них некрофракции пресноводных и отчасти солоноватоводных видов зоопланктона.

Соотношение биомасс фитопланктона и зоопланктона ( $B_{\text{зоо}}/B_{\text{фито}}$ ) показало, что в летний период 2021 г. в р. Преголя показатель  $B_{\text{зоо}}/B_{\text{фито}}$  колебался от 0.17 до 0.63, в среднем составляя  $0.35 \pm 0.08$ , в Вислинском заливе и КМК – от 0.09 до 0.35, в среднем –  $0.14 \pm 0.04$ , в Балтийском море – 0.95 (Рис. 14). В осенний период в р. Преголя показатель  $B_{\text{зоо}}/B_{\text{фито}}$  колебался от 0.06 до 0.54, в среднем составляя  $0.23 \pm 0.07$ , в Вислинском заливе и КМК – от 0.15 до 0.45, в среднем –  $0.25 \pm 0.04$ , в Балтийском море – 0.12. В среднем для летнего и осеннего периода наибольшие значения показателя  $B_{\text{зоо}}/B_{\text{фито}}$  были отмечены в Балтийском море, минимальные – в Вислинском заливе и КМК.

## ОБСУЖДЕНИЕ

В 2021 г. значения солёности исследованных акваторий соответствовали среднегодовым (Дмитриева [Dmitrieva] 2017). По данным Gismeteo (<https://www.gismeteo.ru/>) температура воздуха в летний период была выше среднегодовой, что обеспечивало интенсивный прогрев воды исследованных акваторий. Отмеченные в летний и осенний период 2021 г. виды фитопланктона и зоопланктона относились как к пресноводному комплексу видов, так и к солоноватоводным, но обитающим и при значительном распреснении, видам, а также к морским видам, которые характерны для акватории Балтийского моря. Встреченные виды были типичны для р. Преголя, Вислинского залива, Калининградского морского канала и Балтийского моря (Науменко [Naumenko] 2008, 2010; Telesh

et al. 2009, 2015; Полунина и Терехова [Polunina and Terekhova] 2010; Dmitrieva and Semenova 2012; Ежова [Ezhova] 2013; Ланге [Lange] 2014; Дмитриева [Dmitrieva] 2017; Полунина и Родионова [Polunina and Rodionova] 2017; Semenova and Tchougounov 2018).

Сходный состав и доля доминирующих видов зоопланктона были отмечены и в польской части Вислинского залива (Karpowicz et al. 2023). Максимальное разнообразие планктонных сообществ в оба периода исследований было зафиксировано в солоноватоводных Вислинском заливе и КМК, высокое разнообразие наблюдалось и в пресноводной р. Преголя, минимальное разнообразие – в Балтийском море. Сходное изменение разнообразия планктонных видов в градиенте солености было отмечено и в других экосистемах Балтийского моря с переменной соленостью (Gasiūnaitė 2000; Алимов и Голубков [Alimov and Golubkov] 2008; Telesh and Khlebovich 2010; Telesh et al. 2013).

В летний период 2021 г. в фитопланктоне системы «р. Преголя – Вислинский залив – КМК – Балтийское море» выделялись 3 сообщества, в зоопланктоне – 4. Сообщества, которые выделялись для фито- и зоопланктона в Вислинском заливе, КМК и в Балтийском море, совпадали. В р. Преголя по фитопланктону было выделено одно сообщество, а по зоопланктону – 2 сообщества, соответствующие верхнему и нижнему течению реки. По-видимому, в летний период в верхнем и нижнем течении р. Преголя создавались пространственно-неоднородные условия для зоопланктона, которые и обусловили отмеченные различия, а именно – для зоопланктона в данном случае большую роль сыграло наличие хорошо развитой макрофитной растительности в летний период в верхнем течении р. Преголя. Как известно, макрофиты служат в качестве убежищ или рефугиумов для крупных видов зоопланктона, ряд видов зоопланктона также ассоциирован с макрофитной растительностью. В итоге в верхнем течении развивался ряд видов крупных ракообразных, тогда как в нижнем течении преобладали коловратки, что определило выделение разных сообществ в зоопланктоне, а для фитопланктона это оказалось не столь актуально, как для зоопланктона.

В осенний период 2021 г. как в фитопланктоне, так и в зоопланктоне были выделены

3 сообщества, которые практически совпадали и соответствовали пресноводной р. Преголя, солоноватоводным КМК и Вислинскому заливу и Балтийскому морю. Единственной отличительной особенностью был состав третьего сообщества, которое при анализе фитопланктона объединяло показатели точки, расположенной в Балтийском море, и данные станции, расположенной на выходе из морского пролива, а при анализе зоопланктона – только данные станции, расположенной в Балтийском море. Эти различия были обусловлены тем, что в составе сообществ фитопланктона на станции на выходе из морского пролива (КМК 7) были отмечены виды, характерные для прибрежной зоны Балтики. Морские диатомеи *Coscinodiscus granii* и *Cerataulina pelagica* могли попадать в этот район в результате заток вод в Вислинский залив из Балтийского моря, которые учащаются в осенний период (Polunina and Stont 2022).

Максимальный уровень количественного развития планктонных сообществ как летом, так и осенью отмечался в КМК и Вислинском заливе. По-видимому, в заливе и КМК складывались наиболее оптимальные условия для развития фито- и зоопланктонных организмов (главным образом, повышенное содержание биогенных элементов). В осенний период, по сравнению с летним, происходило снижение биомассы фитопланктона в КМК и заливе в 2 раза, в р. Преголя – почти в 3 раза. В Балтийском море, напротив, произошло увеличение биомассы фитопланктона в 5 раз за счет осеннего «цветения» воды нехарактерным для ЮВБ видом диатомеи *Cerataulina pelagica*, при этом происходило снижение пресса зоопланктона на фитопланктон из-за сезонного снижения численности и биомассы зоопланктона.

В р. Преголя и в Балтийском море в осенний период количественное развитие зоопланктона снижалось по сравнению с летним в 6 и 1.5 раза соответственно. При этом в Вислинском заливе и КМК биомасса зоопланктона осенью оставалась на уровне летних значений. В целом уровень количественного развития фито- и зоопланктона в р. Преголя, Вислинском заливе и КМК, а также в Балтийском море в 2021 г. был сопоставим с известным по литературным данным (Науменко [Naumenko] 2010; Dmitrieva and Semenova 2012; Ежова [Ezhova] 2013; Дмитриева

[Dmitrieva] 2017; Полунина и Родионова [Polunina and Rodionova] 2017). Вариации количественных и структурных показателей укладывались в сезонную, межгодовую и пространственную изменчивость развития планктонных сообществ.

Из сходных с р. Преголя, Вислинским заливом и КМК местообитаний можно выделить р. Неву, ее эстуарий и Финский залив, р. Неман и Куршский залив, а также ряд других эстуариев в Балтийском море, например Дарс-Зингстер Боден Чайн (цепь эстуариев с разной соленостью) (Gasiūnaitė 2000; Шука [Shchuka] 2002; Алимов и Голубков [Alimov and Golubkov] 2008; Telesh et al. 2013; Полунина и Родионова [Polunina and Rodionova] 2017). Ряд процессов, происходящих в этих водотоках и водоемах, сходен с тем, что наблюдается нами для р. Преголи и КМК, но есть и различия, определяемые различными климатическими условиями, разной гидрологией, соленостью и другими факторами. При сходстве ряда доминирующих видов коловраток и ракообразных есть и специфические, характерные только для определенных местообитаний виды (например, *Limnocalanus macrurus* G.O. Sars, 1863 для эстуария р. Невы), в то время как *Eurytemora affinis* – это общий вид для многих эстуариев Балтики. Количественное развитие фито- и зоопланктона также значительно варьировало.

Соотношение биомасс фито- и зоопланктона ( $B_{\text{зоо}}/B_{\text{фито}}$ ) – важный показатель, который отражает характер трофических взаимоотношений в планктонном сообществе, а также выступает как показатель трофности водоемов (Андроникова [Andronikova] 1996). Согласно этому показателю, наиболее напряженные трофические взаимоотношения складывались между фитопланктоном и зоопланктоном в Балтийском море в летний период, где были зафиксированы его максимальные величины и соответственно был отмечен самый большой пресс зоопланктона на фитопланктон. К осени он значительно снижался на фоне осеннего цветения фитопланктона и сезонного отмирания ряда видов зоопланктона. Сходные оценки были получены при исследовании пресса зоопланктона на фитопланктон при вычислении соотношения показателей первичной продукции и рациона зоопланктона (Mosharov et al. 2022). В р. Преголя

на отдельных станциях как летом, так и осенью пресс зоопланктона был значительным, но так же, как и в Балтийском море, к осени он снижался. В Вислинском заливе и КМК, напротив, пресс зоопланктона на фитопланктон увеличивался от лета, когда он был самым минимальным из всех изученных акваторий, к осени. Особенно высокие значения показателя  $B_{\text{зоо}}/B_{\text{фито}}$  и, соответственно, высокий пресс зоопланктона наблюдались на станции КМК 1 в месте впадения р. Преголи в КМК и на станции КМК 7 на выходе из Вислинского залива в Балтийское море. Согласно результатам исследований, проведенных в 2008–2010 гг., показатель  $B_{\text{зоо}}/B_{\text{фито}}$  в Вислинском заливе в среднем за сезон составлял 0.2 (Dmitrieva and Semenova 2012). Эта величина сопоставима с полученной в КМК и Вислинском заливе в 2021 г., несмотря на ряд изменений в видовом составе доминирующих видов зоопланктона в связи с недавним появлением новых инвазивных видов, что может свидетельствовать об отсутствии значимых изменений и стабильности состояния сообществ в лагунной экосистеме Вислинского залива.

Доля мертвых особей в зоопланктоне является важным показателем, который может свидетельствовать о различной степени нарушения экосистем, влиянии загрязнений различной природы, дефиците кислорода, влиянии турбулентности и многих других факторов (Семенова [Semenova] 2010; Tang et al. 2014). В изучаемой нами системе «р. Преголя – Вислинский залив – КМК – Балтийское море» с переменной соленостью и высокой степенью антропогенной нагрузки доля мертвых особей может быть неким результирующим показателем, отражающим гибель зоопланктона как в условиях переменной солености и высокой турбулентности, так и в условиях загрязнения, эвтрофирования и «цветения» воды. Дополнительной причиной, увеличивающей турбулентность, может быть судоходство, и рядом исследователей было показано, что это также служит фактором, увеличивающим гибель зоопланктона (Bickel et al. 2011). Исследования доли мертвых особей немногочисленны, работы же, посвященные изменению этого показателя в градиенте солености, практически отсутствуют. Для зоопланктона Балтийского моря рядом исследователей (Куликов [Kulikov] 1990; Шука [Shchuka] 2002)

предложено считать фоновым уровнем содержания мертвого зоопланктона 5–6% от суммарной численности. При превышении данного уровня содержания мертвых особей можно предполагать, что зоопланктонное сообщество находится в неблагоприятных условиях. В зоопланктоне повышенные доли мертвых особей были отмечены в р. Преголя в летний период, и в районе морского пролива как в летний, так и в осенний период 2021 г. Высокие доли мертвых особей в зоопланктоне в р. Преголя могут быть связаны с высоким уровнем ее загрязнения в черте г. Калининграда (Ежова [Ezhova] 2013), тогда как возрастание доли мертвых особей в районе морского пролива происходило за счет массовой гибели и накопления на них мертвых особей пресноводных и отчасти солоноватоводных видов. Соленость в 5–7‰ для большинства гидробионтов – критическая (Хлебович [Khlebovich] 1974). Соленость в районе морского пролива (станции КМК 5 – КМК 7) летом–осенью 2021 г. колебалась от 5.40 до 6.90‰, что, наряду с высокой турбулентностью и активным судоходством в этом районе, может служить причиной массовой гибели зоопланктона. Ранее высокие доли мертвых особей в зоопланктоне Вислинского залива недалеко от пролива фиксировались и другими исследователями (Kocheshkova and Matviy 2009).

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В фитопланктоне системы «р. Преголя – Вислинский залив – КМК – Балтийское море» в период исследований были обнаружены 173, в зоопланктоне – 73 таксона, наибольшим разнообразием планктонные сообщества характеризовались в летний период, к осени оно снижалось. Максимальное число таксонов как для фито-, так и для зоопланктона было отмечено в Вислинском заливе и КМК, минимальное – в Балтийском море. В фитопланктоне летом выделялись 3 сообщества, в зоопланктоне – 4, осенью выделялись по 3 сообщества как в фито-, так и в зоопланктоне. Сообщества были приурочены к акваториям с различной соленостью: р. Преголя, КМК и Вислинский залив, Балтийское море. Как летом, так и осенью планктонные сообщества Вислинского залива и КМК имели высокий уровень внутреннего сходства и характеризовались

повышенным уровнем количественного развития, поскольку на этой акватории складывались оптимальные трофические взаимоотношения фито- и зоопланктона. В р. Преголя количественное развитие планктонных сообществ имело ярко выраженную сезонную изменчивость, характеризующуюся резким снижением биомассы от лета к осени. Уровень внутреннего сходства планктонных сообществ реки был низким, особенно для фитопланктона осенью. Пресс зоопланктона на фитопланктон был выше в летний период за счет развития крупноразмерных фитофильных видов ветвистоусых ракообразных. К осени он снижался в связи с отмиранием летнего комплекса видов. В Балтийском море формировались специфические планктонные сообщества. Уровень их количественного развития соответствовал сезонным изменениям, наблюдающимся на акватории юго-восточной Балтики. В летний период в море складывались наиболее ярко выраженные напряженные трофические взаимоотношения фито- и зоопланктона ввиду развития в зоопланктоне крупноразмерных фитофагов. К осени происходила структурная перестройка в фито- и зоопланктоне. На фоне осеннего «цветения» диатомей отмечалось ослабление пресса зоопланктона за счет сезонного снижения его биомассы. Доля мертвых особей в зоопланктоне изученной системы в оба сезона была максимальна в зоне с критической для гидробионтов соленостью и высокой турбулентностью.

## БЛАГОДАРНОСТИ

Отбор проб и анализ полученных результатов выполнен в рамках государственного задания ФГБНУ «ВНИРО» (тема № 076-00007-22-00, часть II, раздел 5), государственного задания ИБВВ РАН № 121051100109-1: «Систематика, разнообразие, биология и экология водных и околоводных беспозвоночных, структура популяций и сообществ в континентальных водах» и государственного задания ИО РАН им. П.П. Ширшова (тема № FMWE-2021-0012).

Авторы выражают искреннюю признательность М.О. Ульяновой и Ю.В. Приставко за предоставленные данные по температуре и солености воды, а также всем, кто участвовал в организации рейсов и отборе проб.

## ЛИТЕРАТУРА

- Alimov A.F. and Golubkov S.M. (Eds). 2008.** Ecosystem of the Neva River estuary: Biodiversity and ecological problems. KMK, Moscow, 477 p. [In Russian].
- Andronikova I.N. 1996.** Structural and functional organization of zooplankton in lake ecosystems of different trophic types. Nauka, Saint Petersburg, 189 p. [In Russian].
- Bickel S.L., Hammond J.D.M. and Tang K.W. 2011.** Boat-generated turbulence as a potential source of mortality among copepods. *Journal of Experimental Marine Biology: Ecology*, **401**: 105–109. <https://doi.org/10.1016/j.jembe.2011.02.038>
- Clarke K.R. and Gorley R.N. 2006.** PRIMER, v. 6: User Manual – Tutorial. Plymouth Marine Laboratory, Plymouth, 190 p.
- Crippen R.W. and Perrier J.L. 1974.** The use of neutral red and Evans blue for live / dead determination of marine plankton. *Stain Technology*, **49**(2): 97–104. <https://doi.org/10.3109/10520297409116949>
- Dmitrieva O.A. 2009.** Phytoplankton of the Kaliningrad Sea Canal. In: V.A. Sushin, P.P. Chernyshkov, E.M. Gerber, Ch.M. Nigmatullin, E.I. Alekseeva, I.A. Polishchuk, N.M. Timoshenko and N.A. Nazarov (Eds). AtlantNIRO commercial and biological research in 2006–2007. Vol. 1. Baltic Sea and bays. AtlantNIRO Publishing House, Kaliningrad: 166–176. [In Russian].
- Dmitrieva O.A. 2017.** Investigation of regularities of spatio-temporal changes in structural and quantitative indicators of phytoplankton in various areas of the Baltic Sea. Abstract of the candidate of biological sciences thesis. VNIRO, Kaliningrad, 24 p. [In Russian].
- Dmitrieva O.A. and Semenova A.S. 2012.** Seasonal dynamics and trophic interactions of phytoplankton and zooplankton in the Vistula Lagoon of the Baltic Sea. *Oceanology*, **52**(6): 785–789. <https://doi.org/10.1134/S0001437012060033>
- Elliott D.T. and Tang K.W. 2009.** Simple staining method for differentiating live and dead marine zooplankton in field samples. *Limnology and Oceanography Methods*, **7**: 585–594. <https://doi.org/10.4319/lom.2009.7.585>
- Ezhova E.E. (Ed.). 2013.** Biological communities of the Pregolya River (Vistula Lagoon basin, Baltic Sea). Smartbooks, Kaliningrad, 246 p. [In Russian].
- Gasiūnaitė Z.R. 2000.** Coupling of the limnetic and brackishwater plankton crustaceans in the Curonian Lagoon (Baltic Sea). *International Review of Hydrobiology*, **85**(5–6): 653–661. [https://doi.org/10.1002/1522-2632\(200011\)85:5/6<653::aid-iroh653>3.0.co;2-w](https://doi.org/10.1002/1522-2632(200011)85:5/6<653::aid-iroh653>3.0.co;2-w)
- Gordeev V.V. and Lisitsyn A.P. 2014.** Geochemical interaction of freshwater and marine hydrospheres. *Geology and Geophysics*, **55**(5–6): 721–744. [In Russian]. <https://doi.org/10.1016/j.rgg.2014.05.004>
- Guiry M.D. and Guiry G.M. 2022.** AlgaeBase. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway. Available from: <http://www.algaebase.org> (accessed 22 January 2023).
- Haney J.F. and Hall D.J. 1973.** Sugar-coated *Daphnia*: A preservation technique for Cladocera. *Limnology and Oceanography*, **18**(2): 331–333. <https://doi.org/10.4319/lo.1973.18.2.0331>
- Harris R.P., Wiebe P.H., Lenz J., Skjoldal H.R. and Huntley M. (Eds). 2000.** ICES Zooplankton Methodology Manual. Academic Press, San Diego, 684 p.
- Hernroth L. (Ed.). 1985.** Recommendations on methods for marine biological studies in the Baltic Sea. Meso-zooplankton biomass assessment. Vol. 10. The Baltic Marine Biologists, Uppsala, 32 p.
- ITIS 2023.** Integrated Taxonomic Information System. Available from: <https://www.itis.gov/> (accessed 24 January 2023).
- Karpowicz M., Kornijów R. and Ejsmont-Karabin J. 2023.** Not a good place to live for most, but excellent for a few – diversity of zooplankton in a shallow coastal ecosystem. *Sustainability*, **15**(3): 2345. <https://doi.org/10.3390/su15032345>
- Khlebovich V.V. 1974.** Critical salinity of biological processes. Nauka, Leningrad, 235 p. [In Russian].
- Kocheshkova O.V. and Matviy S.G. 2009.** Distribution of *Streblospio benedicti* (Webster, 1879) and *Manayunkia aestuarina* (Bourne, 1883) (Annelida: Polychaeta) in the Vistula Lagoon of the Baltic Sea. *Inland Water Biology*, **2**: 327–335. <https://doi.org/10.1134/S1995082909040063>
- Krechik V., Krek A., Bubnova E. and Kapustina M. 2020.** Mixing zones within the complex transitional waters of the Baltic Sea Vistula Lagoon. *Regional Studies in Marine Science*, **34**: 101023. <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2019.101023>
- Kulikov A.S. 1990.** The content of dead copepods in the plankton of the open areas of the Baltic Sea in May–July 1987. In: A.V. Tsyban (Ed.). Research of the Baltic Sea Ecosystem. Vol. 3. Hydrometeoizdat, Leningrad: 128–135. [In Russian].
- Lange E.K. 2014.** Evaluation of phytoplankton productivity in the lower reaches of the Pregolya River. *Izvestiya KSTU*, **32**: 153–161. [In Russian].
- Lisitsyn A.P. 1994.** Marginal filter of the oceans. *Oceanology*, **34**(5): 735–747. [In Russian].
- Lukashin V.N., Krechik V.A., Klyuvitkin A.A. and Starodymova D.P. 2018.** Geochemistry of suspended particulate matter in the marginal filter of the Pregolya River (Baltic Sea). *Oceanology*, **58**: 856–869. <https://doi.org/10.1134/S0001437018060097>
- Mikhailov V.N. and Gorin S.L. 2012.** New definitions, zoning and typification of the mouth areas of rivers and their parts – estuaries. *Water Resources*, **39**(3): 243–257. <https://doi.org/10.1134/S0097807812030050>

- Mordukhay-Boltovskoy F.D. (Ed.). 1975.** Methodology for studying biogeocenoses of inland water bodies. Nauka, Moscow, 240 p. [In Russian].
- Mosharov S.A., Mosharova I.V., Dmitrieva O.A., Semenova A.S. and Ulyanova M.O. 2022.** Seasonal variability of plankton production parameters as the basis for the formation of organic matter flow in the southeastern part of the Baltic Sea. *Water*, **14**(24): 4099. <https://doi.org/10.3390/w14244099>
- Naumenko E.N. 2008.** Species composition of zooplankton in the Curonian and Vistula lagoons of the Baltic Sea. *Proceedings of the Zoological Institute of the Russian Academy of Sciences*, **312**(1/2): 155–164. [In Russian]. <https://doi.org/10.31610/trudyzin/2008.312.1-2.155>
- Naumenko E.N. 2010.** Structural and functional organization of zooplankton in the Vistula Lagoon of the Baltic Sea. AtlantNIRO, Kaliningrad, 198 p. [In Russian].
- Odum Yu. 1975.** Fundamentals of ecology. Mir, Moscow, 740 p. [In Russian].
- Polunina Ju.Ju. and Stont Zh.I. 2022.** Wind effect on zooplankton distribution in the estuary of the Pregolya River (the Baltic Sea basin) after technogenic transformation of its riverbed. *Marine Biological Journal*, **7**(1): 78–92. <https://doi.org/10.21072/mbj.2022.07.1.07>
- Polunina Yu.Yu. and Rodionova N.V. 2017.** Characteristics of the zooplankton community. System of the Baltic Sea. Scientific world, Moscow: 258–291. [In Russian].
- Polunina Yu.Yu. and Terekhova T.A. 2010.** Peculiarities of zooplankton of the lotic system “Pregolya River – Kaliningrad Sea Canal (KMK)”. *Izvestiya KSTU*, **17**: 25–29. [In Russian].
- Polunina Yu.Yu., Gerb M.A., Lange E.K., Volodina A.A., Kocheshkova O.V. and Ezhova E.E. 2019.** Preliminary results of hydrobiological studies of the lower reaches of the river Pregolya after technogenic transformation of the channel. *Regional Ecology*, **3**: 91–101. [In Russian]. <https://doi.org/10.30694/1026-5600-2019-3-91-101>
- Seepersad B. and Crippen R.W. 1978.** Use of aniline blue for distinguishing between live and dead freshwater zooplankton. *Journal of the Fish Research Board of Canada*, **35**(10): 1363–1366. <https://doi.org/10.1139/f78-213>
- Semenova A.S. 2010.** The indicator role of zooplankton in the assessment of the ecological state of the Curonian Lagoon. MS thesis. Institute Biology of Inland Water, Borok, 280 p. [In Russian].
- Semenova A.S. and Tchougounov V.K. 2018.** The distribution of *Moina micrura* Kurz, 1875 (Crustacea: Moinidae) in the Russian Part of the Vistula Lagoon (Baltic Sea). *Russian Journal of Biological Invasions*, **9**(2): 175–183. <https://doi.org/10.1134/S207511171802011X>
- Semenova S.N. 2000.** The current state of the phytocenosis of the water system Pregolya River – Canal – Kaliningrad Bay of the Baltic Sea. In: E.N. Naumenko, Z.A. Chesheva, S.M. Nikitina, A.G. Arkhipov, M.M. Khlopnikov and S.N. Semenova (Eds). Hydrobiological research in the Atlantic Ocean basin. Vol. 1. Freshwater Hydrobiology. AtlantNIRO, Kaliningrad: 20–36. [In Russian].
- Shchuka T.A. 2002.** Characteristics of the current state of zooplankton in the Baltic Sea: Abstract of the candidate of biological sciences thesis. Yu.A. Izrael Institute of Global Climate and Ecology, Moscow, 28 p. [In Russian].
- Shevelev M.S. (Ed.). 2004.** Instructions and guidelines for the collection and processing of biological information in the seas of the European North and the North Atlantic. VNIRO, Moscow, 300 p. [In Russian].
- Tang K.W., Gladyshev M.I., Dubovskaya O.P., Kirillin G. and Grossart H.-P. 2014.** Zooplankton carcasses and non-predatory mortality in freshwater and inland sea environments. *Journal of Plankton Research*, **36**(3): 597–612. <https://doi.org/10.1093/plankt/fbu014>
- Telesh I., Postel L., Heerkloss R., Mironova E. and Skarlato S. 2009.** Zooplankton of the open Baltic Sea: Extended atlas. BMB Publication, No. 21. *Meereswissenschaftliche Berichte*, **76**: 1–290.
- Telesh I., Schubert H. and Skarlato S. 2013.** Life in the salinity gradient: Discovering mechanisms behind a new biodiversity pattern. *Estuarine, Coastal and Shelf Sciences*, **135**: 317–327. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2013.10.013>
- Telesh I., Skarlato S., Kube S., Rohde H. and Schubert H. 2015.** Zooplankton of the Baltic Sea: Introduction to the distant learning module. Universität Rostock, Rostock–Saint Petersburg, 124 p.
- Telesh I.V. and Khlebovich V.V. 2010.** Principal processes within the estuarine salinity gradient: a review. *Marine Pollution Bulletin*, **61**(4–6): 149–155. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2010.02.008>
- Winberg G.G. and Lavrentieva G.M. 1984.** Methodical recommendations for the collection and processing of materials for hydrobiological studies. Zooplankton and its production. GosNIORKH, Leningrad, 33 p. [In Russian].
- WoRMS Editorial Board. 2023.** World Register of Marine Species. Available from: <http://www.marinespecies.org> (accessed 24 January 2023).