

Зоопланктон, зообентос, зооперифитон

УДК 574.587 (470.12)

МНОГОЛЕТНЯЯ ДИНАМИКА И ПРОСТРАНСТВЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ МАКРОЗООБЕНТОСА В ПРОФУНДАЛИ ОЗ. БЕЛОЕ (ВОЛОГОДСКАЯ ОБЛ.)

К. Н. Ивичева^{1*}, И. В. Филоненко²

¹Санкт-Петербургский филиал Всероссийского научно-исследовательского института
рыбного хозяйства и океанографии,

199053 Санкт-Петербург, ул. Набережная Макарова, 26, e-mail: *ksenya.ivicheva@gmail.com

²Вологодский филиал Всероссийского научно-исследовательского института
рыбного хозяйства и океанографии, 160014 г. Вологда, ул. Левичева, 5

Поступила в редакцию 30.11.2024

Белое озеро является частью Шекснинского водохранилища и входит в состав Волго-Балтийского водного пути. Озеро имеет блюдцевидную форму, около 90% дна озера покрыто илами, глубина 4–6 м. Исследования макрозообентоса в профундали Белого озера проводили в 2010–2020 гг. в конце сентября–начале октября и спорадически в другие сезоны. Сообщества зообентоса в профундали однотипны и представлены исключительно мелкими двустворчатыми моллюсками, олигохетами и хирономидами. Из 107 видов зообентоса, отмеченных для озера, только 10 постоянно встречаются в центральной части. Биомасса зообентоса в период 2010–2020 гг. в составила от 2.8 до 19.3 г/м². По сравнению с исследованиями второй половины XX в., значения биомассы в 2010–2020 гг. укладываются в диапазон колебаний биомассы. В 2010–2020 гг. наблюдается перестройка доминирующего комплекса зообентоса: замена *Tubifex newaensis* на *Limnodrilus hoffmeisteri*. Также наблюдается увеличение размеров осенней генерации *Chironomus plumosus* и выпадение *Stictochironomus*.

Ключевые слова: зообентос, биомасса, Белое озеро, ГИС, многолетняя динамика, пространственное распределение.

DOI: 10.47021/0320-3557-2025-53-63

ВВЕДЕНИЕ

Белое озеро является частью созданного в 1963 г. Шекснинского водохранилища. До затопления водохранилища оно было седьмым по площади озером Европы и крупнейшим водоемом, расположенным полностью в пределах Вологодской области [Литвинов, 2002 (Litvinov, 2002)]. Белое озеро входило в состав Мариинской водной системы, а с 1963 г. в составе Шекснинского водохранилища является частью созданного на ее основе Волго-Балтийского водного пути [Дворецкая и др., 2018 (Dvoreckaya et al., 2018)]. Исследования зообентоса Белого озера проводили до затопления водохранилища [Мордухай-Болтовской, Митропольский, 1959 (Mordukhay-Boltovskoy, Mitropolskiy, 1959); Стругач, 1968 (Strugach, 1968)], в период затопления [Поддубная, 1966 (Poddubnaya, 1966)] и после [Стальмакова, 1977; Выголова, 1979; Слепухина, Выголова, 1981; Баканов, 2002]. Последние десятилетия изучением донных сообществ озера занимается Вологодский филиал “ВНИРО” (ранее Вологодская лаборатория “ГосНИОРХ”) [Ивичева, Филоненко, 2018 (Ivicheva, Filonenko, 2018); Филоненко и др., 2021 (Filonenko et al., 2021), Лобуничева и др., 2023 (Lobunicheva et al., 2023)]. Озеро характеризуется округлой блюдцевидной формой. Примерно 80% дна занято глубинами 4–6 м и выслано илами [Литвинов,

2002 (Litvinov, 2002)]. Все исследователи отмечают однообразие видового состава бентоса в профундали озера на разных участках и в разные сезоны года и связывают это с однообразием биотопов. Сообщества зообентоса в профундали представлены исключительно моллюсками, олигохетами и хирономидами. В доминирующий комплекс видов входят: *Tubifex newaensis* (Michaelsen, 1903), *Limnodrilus hoffmeisteri* Claparède, 1862, *Chironomus plumosus* (Linnaeus, 1758), *Procladius* spp. По биомасса преобладают *Chironomus plumosus* и *Tubifex newaensis*, по численности — *Procladius* spp. Средняя биомасса зообентоса центральной части озера в 2010–2020 гг. составляет 9 г/м² [Филоненко и др., 2021 (Filonenko et al., 2021)]. При этом на разных участках озера в период одной съемки биомасса может различаться в десятки раз. Все авторы указывают на мозаичное распределение бентоса по акватории озера [Мордухай-Болтовской, Митропольский, 1959 (Mordukhay-Boltovskoy, Mitropolskiy, 1959); Баканов, 2002 (Bakanov, 2002)].

В последние 50 лет на территории Российской Федерации происходит повышение поверхностной температуры в среднем на 0.5°C за 10 лет [Третий..., 2022 (Tretij..., 2022)]. В крупных водоемах температура поверхностных вод также повышается.

Например, в прилегающем с юга к Белому озеру Рыбинском водохранилище это значение составляет 0.76°C за 10 лет [Законнова, Литвинов, 2016 (Zakonnova, Litvinov, 2016)]. Повышение температуры может приводить к дефициту кислорода и перестройке донных сообществ, что показано на примере

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Площадь озера на современном этапе составляет 1284 км^2 (включая р. Ковжу и водораздельный канал), площадь водосбора — 14195 км^2 [Филоненко и др., 2021 (Filonenko et al., 2021)]. В связи с затоплением водохранилища в 1963–1964 гг. уровень озера повысился на 1 м, но площадь озера фактически не изменилась. Озеро представляет собой почти правильный овал: длина его составляет 42 км, ширина — 32 км (рис. 1). Дно имеет правильную блюдцевидную форму: глубины увеличиваются равномерно от берега. Средняя глубина составляет 4 м, максимальная — 6.5 м. Берега озера слабо изрезаны, высшая водная растительность представлена лишь небольшими участками в устьях

водохранилищ Волжского каскада [Лазарева и др., 2018 (Lazareva et al., 2018); Перова, 2019 (Perova, 2019)].

Цель данной работы — проследить многолетние изменения зообентоса в профундали оз. Белое и оценить его пространственное распределение по акватории озера.

рек [Филоненко и др., 2021 (Filonenko et al., 2021)]. Грунты кольцеобразно сменяются с песчаных на илистые. На глубине более 4 м донные отложения представлены глинисто-илистыми грунтами, которые занимают около 90% всего дна озера [Филоненко и др., 2021 (Filonenko et al., 2021)] (рис. 1). После затопления Шекснинского водохранилища площади основных биотопов не изменились, мощность глинисто-илистых отложений осталась на том же уровне [Законнов, Литвинов, 2016 (Zakonnova, Litvinov, 2016)]. В розе ветров оз. Белое максимально выражено преобладание ветра с восточного направления [Литвинов, 2002 (Litvinov, 2002)].

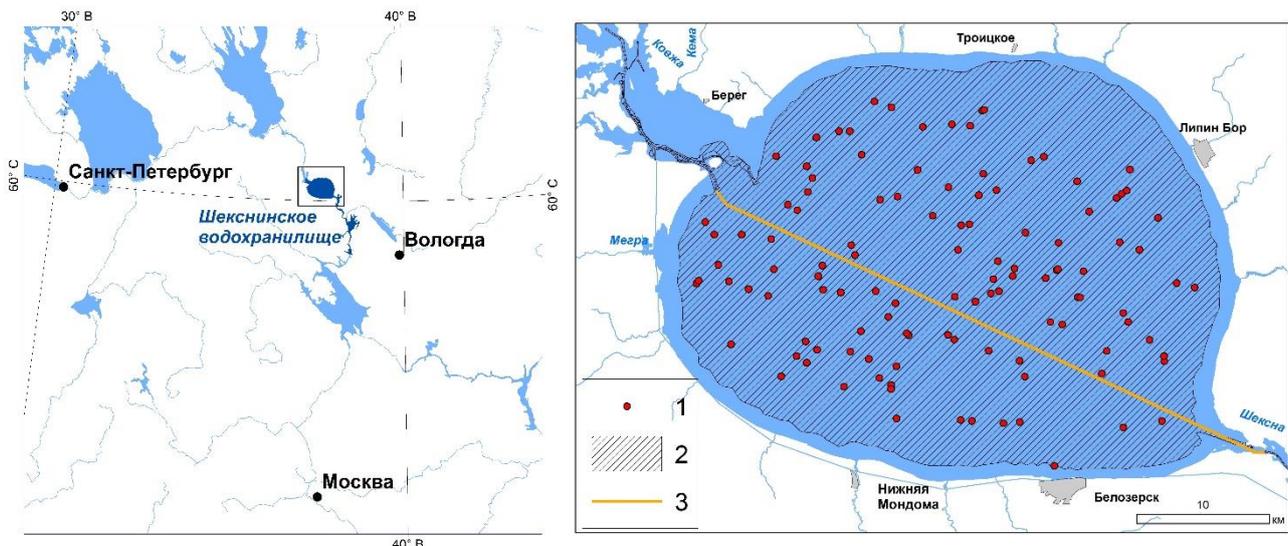


Рис. 1. Карта района исследований и станций отбора проб (1 — станции отбора проб, 2 — профундаль озера, 3 — судовой ход).

Fig. 1. Map of the research area and sampling stations (1 — sampling stations, 2 — profundal lakes, 3 — ship passage).

От истока р. Шексны в юго-восточной части оз. Белое до устья р. Ковжи в северо-западной части, идет интенсивное движение водного транспорта по системе Волго-Балтийского канала. На сегодня возможность для швартовки судов существует только по южному побережью оз. Белое, где имеются порты в г. Белозерск и Нижняя Мондома. Кроме двух последних, за исключением участка побережья в северной части, где находятся небольшие населенные пункты с. Липин Бор (административный центр) и с. Троицкое, водосбор озера

фактически не освоен и сильно заболочен [Филоненко и др., 2021 (Filonenko et al., 2021)].

Пробы зообентоса отбирали в период 2010–2020 гг. Даты отбора проб, количество отобранных проб и район озера приведены в таблице 1. Всего в профундали озера отобрано 164 пробы зообентоса. Все станции отмечены на рис. 1. Пробы зообентоса отбирались на глубинах свыше 5 м. Во все периоды наблюдений для отбора проб использовали дночерпатель Петерсена с площадью захвата 0.025 м^2 , пробы отбирали в двух повторностях на каждой станции. Грунт промывался через газ

с размером ячеи 250 мкм. Организмы извлекали из грунта, определяли до вида и взвешивали после просушивания на фильтровальной бумаге.

Для выявления многолетних изменений за весь период изучения Белого озера проводили сравнение с опубликованными данными разных авторов [Мордухай-Болтовской, Митропольский, 1959 (Mordukhay-Boltovskoy, Mitropolskiy, 1959); Стругач, 1968 (Strugach, 1968); Поддубная, 1966 (Poddubnaya, 1966); Стальмакова, 1977 (Stal'makova, 1977);

Слепухина, Выголова, 1981 (Slepuhina, Vygolova, 1981); Баканов, 2002 (Bakanov, 2002)] и архивными данными ВологодНИРО [Выголова, 1979 (Vygolova, 1979)]. Исследования зообентоса оз. Белое проводились разными авторами по сетке станций, предложенной Мордухай-Болтовским. Для отбора проб использовали разные дночерпатели (Петерсена, Экмана-Берджи и др.), газ с разной ячеей. Поэтому в многолетнем аспекте можно сравнивать между собой показатели биомассы.

Таблица 1. Периодичность, количество и район отбора проб

Table 1. Frequency, quantity and sampling area

Дата / Date	Количество проб / Number of samples	Район озера / Area of lake
03–05 X 2010	27	вся акватория
04–13 X 2011	21	вся акватория
19–21 X 2012	9	вся акватория
02–05 X 2013	13	вся акватория
14–19 X 2014	9	вся акватория
01–06 X 2015	9	вся акватория
27 IX–01 X 2016	16	вся акватория
13–14 VII 2017	8	вся акватория
03–05 X 2017	14	вся акватория
18–23 III 2018	6	г. Белозерск (юг), с. Липин Бор (северо-Восток)
14 V 2018	6	устье р. Ковжа (запад)
02 X 2018	3	г. Белозерск (юг)
18 III 2019	3	г. Белозерск (юг)
25–26 IX 2019	12	вся акватория
25 IX 2020	8	восточная часть озера

Обработку пространственных данных проводили в среде ArcGis10 и QGIS. С этой целью на площади оз. Белое была построена сетка с шагом 2 км. Показатели станций отбора зообентоса за период с 2010 г. по 2019 г. В профундальной зоне оз. Белое привязывались к центроидам полученных квадратов. Далее

вычисляли средний показатель для каждого центроида сетки и использовали его для интерполяции на площадь глубоководной зоны оз. Белое. Интерполяция выполнялась регуляризованным сплайном с натяжением (модуль v.surf.rst) с обрезкой по маске профундальной зоны.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Видовой состав зообентоса. В период 2010–2020 гг. в Белом озере авторами статьи отмечено 107 видов и таксонов более высокого ранга донных макробеспозвоночных. В профундали Белого озера на илистых грунтах встречено 47 видов. Из них Chironomidae — 17, Bivalvia и Oligochaeta — по 13, Hirudinea и Amphipoda — по 1, Hydrocarina и Hydra неидентифицированные до вида. Только 10 видов зообентоса ежегодно встречались в профундали озера на разных станциях. Хирономиды: *Procladius* spp. (отмечен в 100% проб), *Polypedilum scalaenum* (Schrank, 1803) (89%), *Chironomus plumosus* (81%), *Harnischia curtilamellata* (Malloch, 1915) (65%), *Cryptochironomus* gr. *defectus* (55%), *Microchironomus tener* (Kieffer, 1918) (43%), *Paralauterborniella nigrohalteralis* (Malloch, 1915) (42%). Олигохеты: *Limnodrilus hoffmeisteri*

(58%), *Tubifex newaensis* (48%), *Potamothrix hammoniensis* (Michaelsen, 1901) (45%).

В оз. Белое отмечено 3 инвазивных вида зообентоса. Единичные находки моллюска *Dreissena polymorpha* (Pallas, 1771) были еще в 1970-х гг. [Выголова, 1979 (Vygolova, 1979)]. По нашим наблюдениям, немногочисленные друзы ее отмечены только в прибрежье. Бокоплав *Gmelinoides fasciatus* (Stebbing, 1899) впервые был отмечен в оз. 1996 г. как массовый [Баканов, 2002 (Bakanov, 2002)]. В настоящее время он отмечается исключительно в прибрежье на глубинах до 2 м, на илах регистрируется только в зимнее время [Ивичева, Филоненко, 2022 (Ivicheva, Filonenko, 2022)]. Пиявка *Caspiobdella fadejewi* (Epshtein, 1961) отмечена в 2015 г. в Белозерском канале [Ивичева, Филоненко, 2022 (Ivicheva, Filonenko, 2022)].

Колебания биомассы основных групп осеннего зообентоса в 2010–2020 гг. Основу сообществ зообентоса составляют типичные лимнофильные группы: мелкие двустворчатые моллюски, олигохеты и хирономиды. Прочие таксоны встречены менее чем в 15% проб, биомасса их всегда незначительна. Средняя осенняя биомасса зообентоса в период с 2010 по 2020 гг. колебалась от 2.8 до 19.3 г/м² (табл. 2).

Таблица 2. Осенняя биомасса (г/м²) основных групп зообентоса в оз. Белое в период 2010–2020 гг. (приводятся средние значения с ошибкой среднего)

Table 2. Autumn biomass (g/m²) of the main groups of zoobenthos in the Beloe lake in 2010–2020 (average values with the error of the average)

Годы / Years	Bivalvia	Oligochaeta	Chironomidae	Всего / Total
2010	0.5±0.17	1.2±0.22	10.4±1.68	12.1±1.78
2011	1.2±0.43	1.3±0.45	3.0±0.44	5.5±0.72
2012	1.7±0.52	1.7±0.44	15.9±2.34	19.3±2.89
2013	0.6±0.16	2.4±0.59	3.9±0.89	6.9±1.13
2014	0.8±0.30	4.1±2.54	10.7±2.32	15.6±2.44
2015	1.2±0.37	3.8±1.02	7.6±1.59	12.6±1.48
2016	0.3±0.12	1.5±0.40	3.0±0.83	4.8±0.79
2017	0.1±0.04	2.1±0.50	1.9±0.90	4.1±1.20
2018	0.2±0.09	1.6±0.91	9.6±2.27	11.4±1.63
2019	0.6±0.19	0.8±0.35	6.5±1.46	7.9±1.74
2020	0.1±0.06	0.8±0.39	1.9±0.43	2.8±0.64

Из олигохет наибольший вклад в формирование донных сообществ вносят следующие виды: *Limnodrilus hoffmeisteri*, *Potamothenis hammoniensis*, *Tubifex newaensis*. Первые два имеют высокую численность, но небольшие размеры. Среди хирономид наибольшая биомасса зафиксирована для *Chironomus plumosus* и *Procladius* spp. *Chironomus plumosus* в осенних пробах стабильно характеризуются крупными размерами (18–24 мм), поэтому обычно доминируют по биомассе. Хищные *Procladius* при размерах 3–9 мм представлены несколькими десятками экземпляров в пробе. Высокая численность отмечена также для *Polypedilum scalaenum*, но биомасса его составляет <2% общей. *Cryptochironomus* gr. *defectus* встречается в пробах часто, имеет крупные размеры (<20 мм), но представлен единичными особями.

Пространственное распределение осеннего зообентоса в 2010–2019 гг. Распределение биомассы осеннего зообентоса за многолетний период, в целом, выглядит мозаично (рис. 2а). Во время осенних съемок максимальные показатели зообентоса фиксировались на разных участках озера. Высокие показатели биомассы бентоса наблюдаются в западной части озера по обе стороны от фарватера, в районе устья р. Мегра, вблизи г. Белозерска и с. Липин Бор.

Двустворчатые моллюски имели высокие показатели биомассы на северо-западе озера (рис. 2б). Участок на северо-западе озера

Наибольшая средняя биомасса зообентоса отмечена в 2012 г. Максимальная биомасса (35 г/м²) была отмечена в 2010 г. на двух станциях в северо-восточной части озера. Также высокая биомасса (31 г/м²) зафиксирована на трех станциях в северной части озера в 2012 г. В целом более 50% общей биомассы ежегодно составляли хирономиды.

на выходе из р. Ковжа наименее подвержен ветровому воздействию. Именно в этой части озера при создании водохранилища на дне были затоплены большие участки древесной растительности. На входе в оз. Белое с течениями из р. Кемы и р. Ковжи формируются субстраты с повышенным содержанием растительного детрита.

Основными группами, вносящими вклад в биомассу, являются хирономиды и олигохеты. Выявлена тенденция локализации хирономид в западной части озера (рис. 2д), может быть обусловлено преобладанием северо-восточных ветров, оказывающих влияние в периоды роения этих двукрылых. Для олигохет выражена концентрация вблизи районных административных центров — г. Белозерск (с действующим речным портом) и с. Липин Бор (рис. 2с). Вероятная причина высоких показателей тубифицид в данных районах озера — поступление органического загрязнения (как в виде коммунальных стоков, так и загрязнений от водного транспорта (в г. Белозерск существует действующий речной порт).

Наиболее высокие показатели биомассы *Chironomus plumosus* (рис. 3а) обнаружены для самого глубокого и наименее затрагиваемого ветрами района оз. Белого, а также вдоль фарватера в приустьевой зоне р. Ковжа. Сходные тенденции прослеживаются в распределении комаров *Procladius* (рис. 3б) — в стороне

от фарватера и на участке со стороны самой низкой ветро-волновой активности оз. Белого.

Многолетние изменения биомассы зообентоса с 1955 по 2020 гг. По данным авторов, исследовавших зообентос Белого озера, его

основную биомассу составляют *Chironomus plumosus* и *Tubifex newaensis*, однако соотношение их в одни и те же сроки сбора в разные годы изменяется.

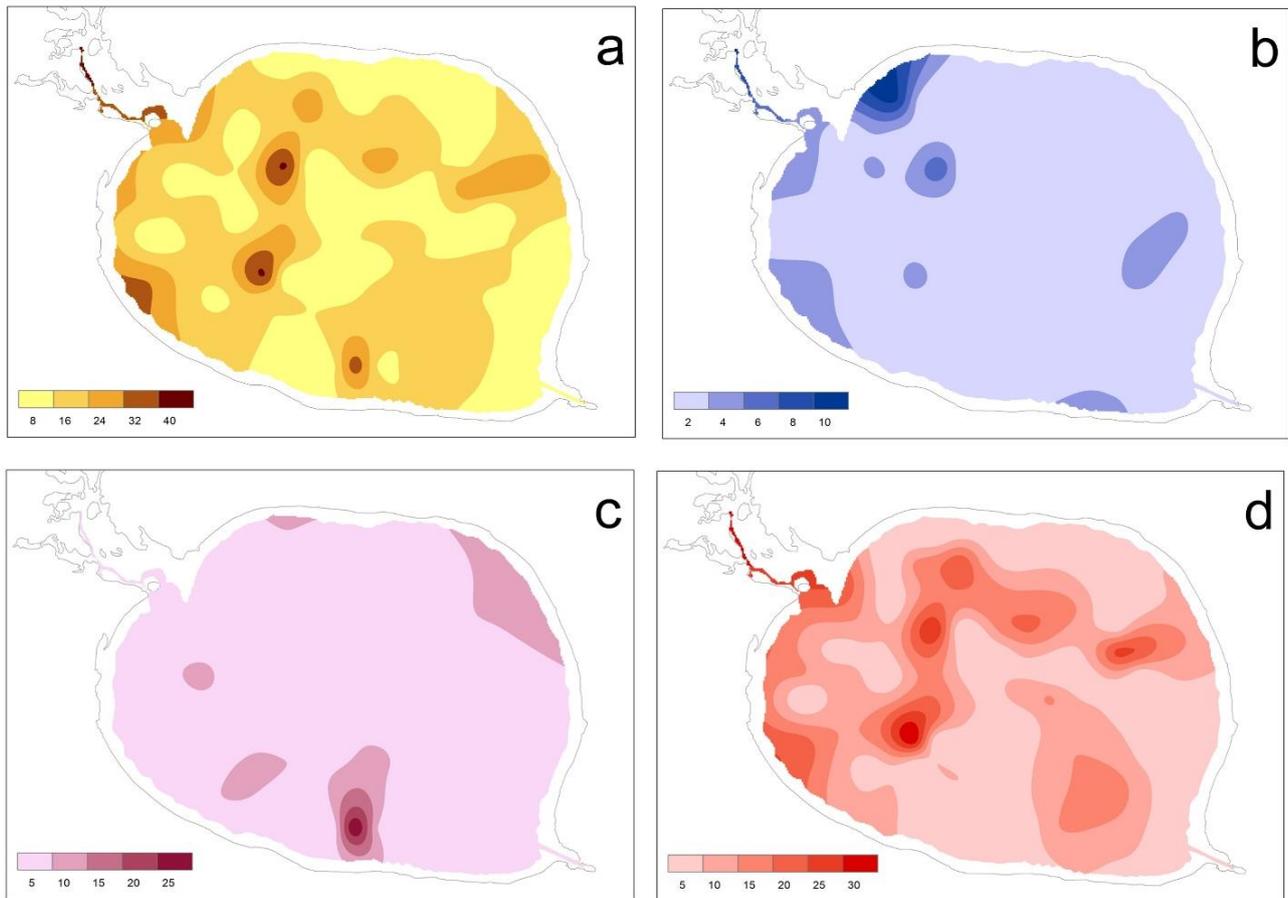


Рис. 2. Пространственное распределение (по биомассе) осеннего зообентоса по акватории оз. Белое в 2010–2019 гг.: а — всего зообентоса; б — моллюсков; с — олигохет; д — хирономид.

Fig. 2. Spatial distribution (by biomass) of autumn zoobenthos in the Beloye lake in 2010–2019: a — total zoobenthos; b — Mollusca; c — Oligochaeta; d — Chironomidae.

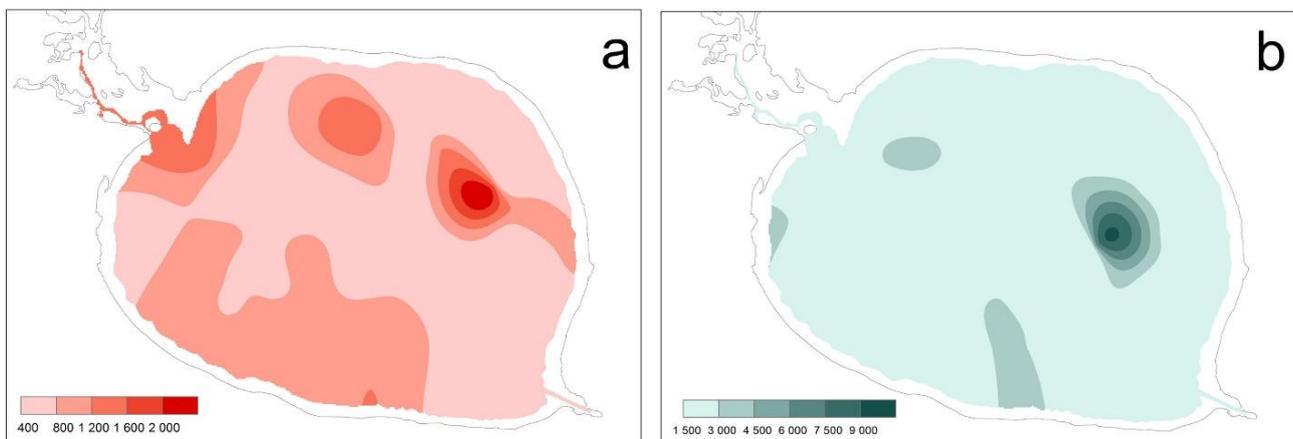


Рис. 3. Пространственное распределение (по численности) отдельных групп хирономид в 2010–2012 гг.: а — *Chironomus plumosus*, б — *Procladius* sp.

Fig. 3. Spatial distribution (by number) of individual groups of Chironomidae in 2010–2012: а — *Chironomus plumosus*, б — *Procladius* sp.

Так, Т.Л. Поддубная [1966 (Poddubnaya, 1966)] отмечала преобладание *Ch. plumosus* в середине июля 1963 г., *T. newaensis* — в 1964. Ф.Д. Мордухай-Болтовской [1978 (Mordukhay-Boltovskoy, 1978)] указывает на доминирование *Ch. plumosus* в последней декаде июля 1973 г., *T. newaensis* — в последней декаде июля 1974 и 1975 гг. В 2010–2020 гг. в осенних пробах *Ch. plumosus* составляли 30–50% общей биомассы, *Procladius* sp. — 25%, *T. newaensis* — 9–25%, *Limnodrilus hoffmeisteri* — 10–15%.

Весной (в мае—первой декаде июня) в разные годы биомасса различалась почти в 9 раз (рис. 4). Биомасса зообентоса в весенний период определяется климатическими показателями и зависит в первую очередь от периода вылета хирономид. Высокая биомасса зообентоса в 1976, 1977, 1995 гг. формировалась за счет хирономид. По нашим исследованиям, в мае 2018 и 2019 гг. биомасса зообентоса была низкой. *Chironomus plumosus* и в майских пробах отмечен не был — вероятно, сбор производился после вылета данного вида.

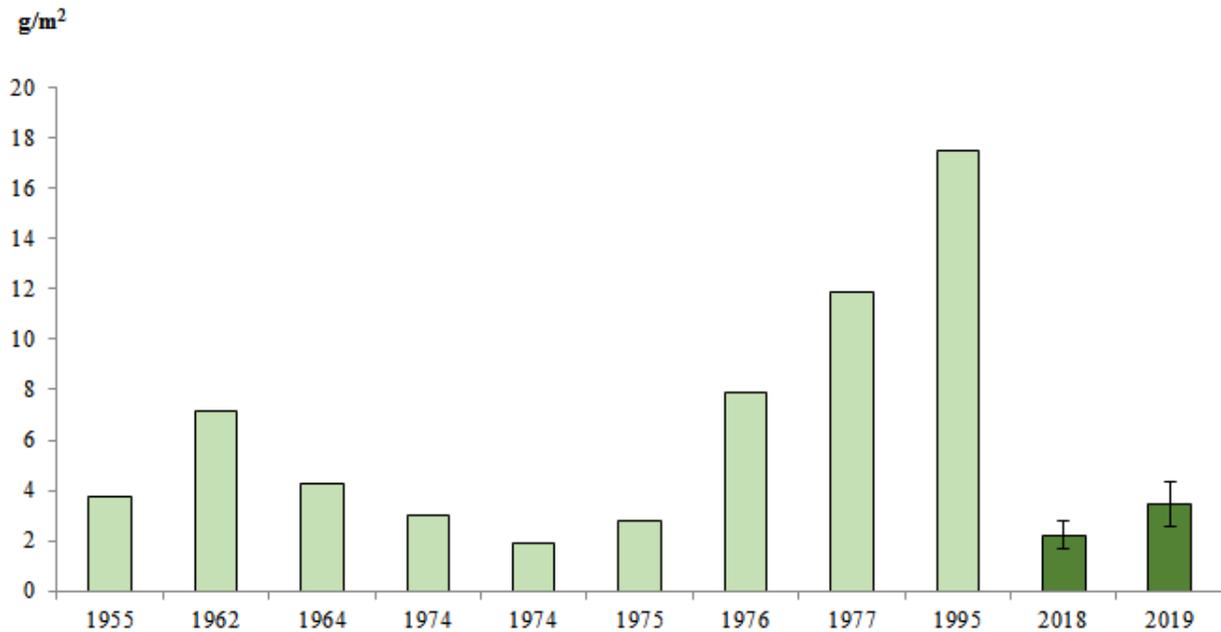


Рис. 4. Многолетние изменения биомассы (г/м²) кормового зообентоса оз. Белое весной (данные приводятся по: 1955 [Мордухай-Болтовской, Митропольский, 1959], 1962 [Стругач, 1968], 1964 [Поддубная, 1966], 1974 [Стальмакова, 1977], 1974–1977 [Слепухина, Выголова, 1981], 1995 [Баканов, 2001], 2018–2019 — данные авторов).

Fig. 4. Long-term changes in biomass (g/m²) of the zoobenthos of the Beloe lake in spring (data are given for: 1955 [Mordukhai-Boltovskaya, Mitropolsky, 1959], 1962 [Strugach, 1968], 1964 [Poddubnaya, 1966], 1974 [Stalmakova, 1977], 1974–1977 [Slepuhina, Vygolova, 1981], 1995 [Bakanov, 2001], 2018–2019 — data of the authors).

Летняя биомасса зообентоса (в июле и первой декаде августа) в разные годы также различалась более чем в 10 раз (рис. 5). Наименьшая летняя биомасса зафиксирована Т.Л. Поддубной [1966 (Poddubnaya, 1966)] в конце июля 1963 и 1964 гг. — в годы затопления водохранилища. Во время отбора проб автором наблюдался вылет *Ch. plumosus*. Низкую биомассу зообентоса Т.Л. Поддубная связывает с условиями года и неравномерностью распределения бентоса по дну, а не с затоплением озера. Наибольшие количественные показатели отмечены Ф.Д. Мордухай-Болтовским [1978 (Mordukhay-Boltovskoy, 1978)] в августе 1973 г. — в этот год наблюдалась высокая численность самого крупного представителя зообентоса *Ch. plumosus*. Высокая биомасса летнего зообентоса отмечена также в 1975–1977 гг. Т.Д. Слепухиной и О.В. Выголовой [1981

(Slepuhina, Vygolova, 1981)]. В 1976–1977 гг. очень подробные исследования летнего зообентоса Белого озера проводились О.В. Выголовой [1979 (Vygolova, 1979)] в рамках подготовки диссертации, что позволило уловить количественные показатели как до, так и после вылета *Ch. plumosus*. Даже в один и тот же год (1974 и 1975 гг.) у разных исследователей летняя биомасса зообентоса различается в несколько раз, что объясняется сроками сбора и неравномерностью распределения зообентоса по дну озера. В наших сборах в 2017 г. количественные показатели зообентоса были низкие вследствие отсутствия в пробах *Ch. plumosus*.

Осенняя биомасса зообентоса (сентябрь–октябрь) в разные годы различалась в 13 раз (рис. 6). Осенние показатели формируются за счет генераций текущего года. Осенние показатели разных лет можно сравнивать между

собой, так как размножения водных беспозвоночных уже не происходит в силу низких температур. Наименьшая биомасса — 1.5 г/м^2 — отмечена Т.Д. Слепухиной и О.В. Выголовой в 1975 г. [1981 (Slepuhina, Vygolova, 1981)], наибольшая — 19.5 г/м^2 — нами в 2012 г. В 1974 г. отмеченные Г.А. Стальмаковой [1977 (Stal'makova, 1977)] и О.В. Выголовой [1979 (Vygolova, 1979)] показатели биомассы

различались незначительно. Разница в биомассе следующих друг за другом лет, полученная одними и теми же исследованиями, может различаться в 5–10 раз [Слепухина, Выголова, 1981 (Slepuhina, Vygolova, 1981)]. Биомасса в 2010–2019 гг. не опускалась ниже 2.8 г/м^2 . В целом, показатели биомассы в этот период выше, чем в годы предыдущих исследований.

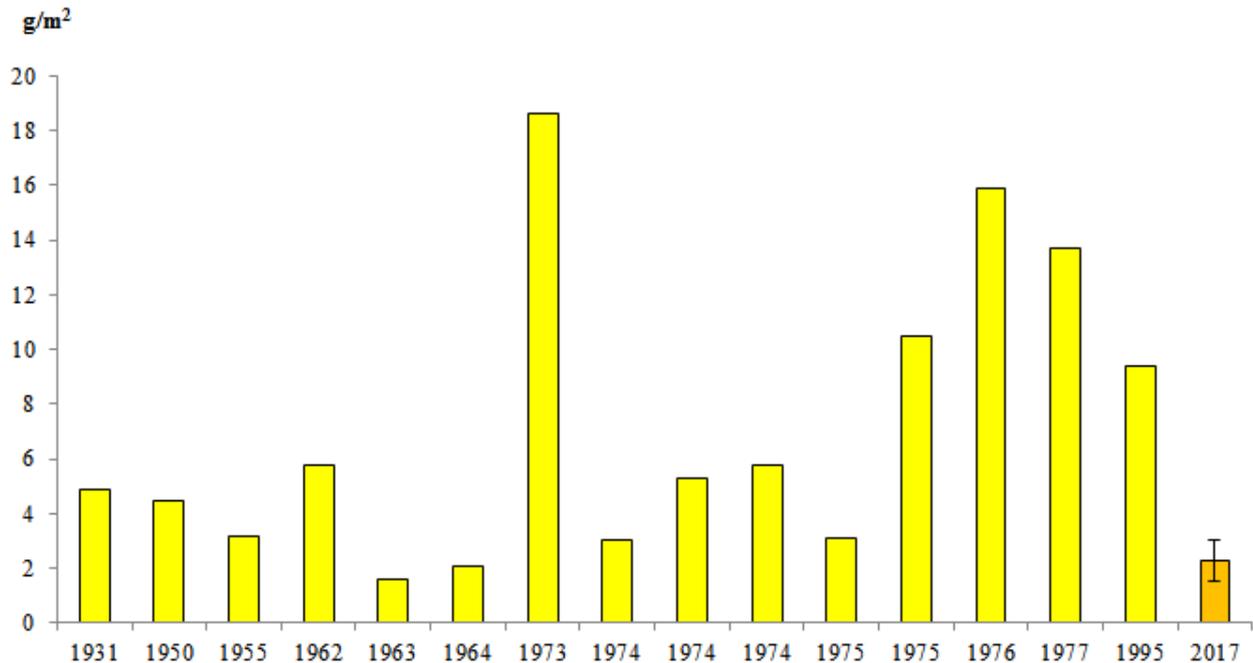


Рис. 5. Многолетние изменения биомассы (г/м^2) кормового зообентоса оз. Белое летом (данные приводятся по: 1931, 1950, 1962 [Стругач, 1968], 1955 [Мордухай-Болтовской, Митропольский, 1959], 1963–1964 [Поддубная, 1966], 1974 [Стальмакова, 1977], 1973–1974 [Мордухай-Болтовской, 1978], 1974–1977 [Слепухина, Выголова, 1981], 1995 [Баканов, 2001], 2017 — данные авторов).

Fig. 5. Long-term changes in biomass (g/m^2) of the zoobenthos of the Beloe lake in summer (data are given for: 1931, 1950, 1962 [Strugach, 1968], 1955 [Mordukhai-Boltovskaya, Mitropolskiy, 1959], 1963–1964 [Poddubnaya, 1966], 1974 [Stal'makova, 1977], 1973–1974 [Mordukhai-Boltovskaya, 1978], 1974–1977 [Slepuhina, Vygolova, 1981], 1995 [Bakanov, 2001], 2017 — data of the authors).

Зимний зообентос оз. Белое изучен менее всего. В 1977 г. по данным О.В. Выголовой [1979 (Vygolova, 1979)] биомасса составила 2.8 г/м^2 . В марте 2018 и 2019 гг. в наших сборах биомасса зообентоса составила 1.9 и 3.8 г/м^2 соответственно. Можно сказать, что количественные показатели зимнего зообентоса ниже, чем в другие периоды, а видовой состав определяется мигрирующими из литорали видами. Так, в наших исследованиях в зимних пробах фиксировался бокоплав *Gmelinoides fasciatus*, который, вероятно, перемещается зимой из литорали в более глубокие слои.

Нами отмечены незначительные изменения в видовом составе сообществ зообентоса в 2010–2020 гг. по сравнению с предыдущими исследованиями. Так, *T. newaensis*, указывавшийся всеми исследователями как один из

доминирующих вплоть до 1995 г., нами встречен менее чем на половине станций в виде единичных особей. Его место занял меньший по размерам *L. hoffmeisteri*. Такая же тенденция (замена *T. newaensis* на *L. hoffmeisteri*) описана для Рыбинского водохранилища [Перова, 2019 (Perova, 2019)]. Вид *Stictochironomus* gr. *histrion*, указываемый в качестве субдоминанта [Мордухай-Болтовской, Митропольский, 1959 (Mordukhai-Boltovskoy, Mitropolskiy, 1959); Стругач, 1968 (Strugach, 1968)], нами не отмечался ни в одной из проб. Ряд авторов [Мордухай-Болтовской, Митропольский, 1959 (Mordukhai-Boltovskoy, Mitropolskiy, 1959); Выголова, 1979 (Vygolova, 1979)] указывают, что своего максимального размера — 26 мм — личинки *Ch. plumosus* достигают во второй половине июля перед вылетом. Осенью на зимовку уходят особи весом 10 –

20 мг. В 2010–2019 гг. размер личинок в пробах составлял 18–24 мм, вес 35–45 мг, то есть

в октябре они уже достигают почти максимальных размеров.

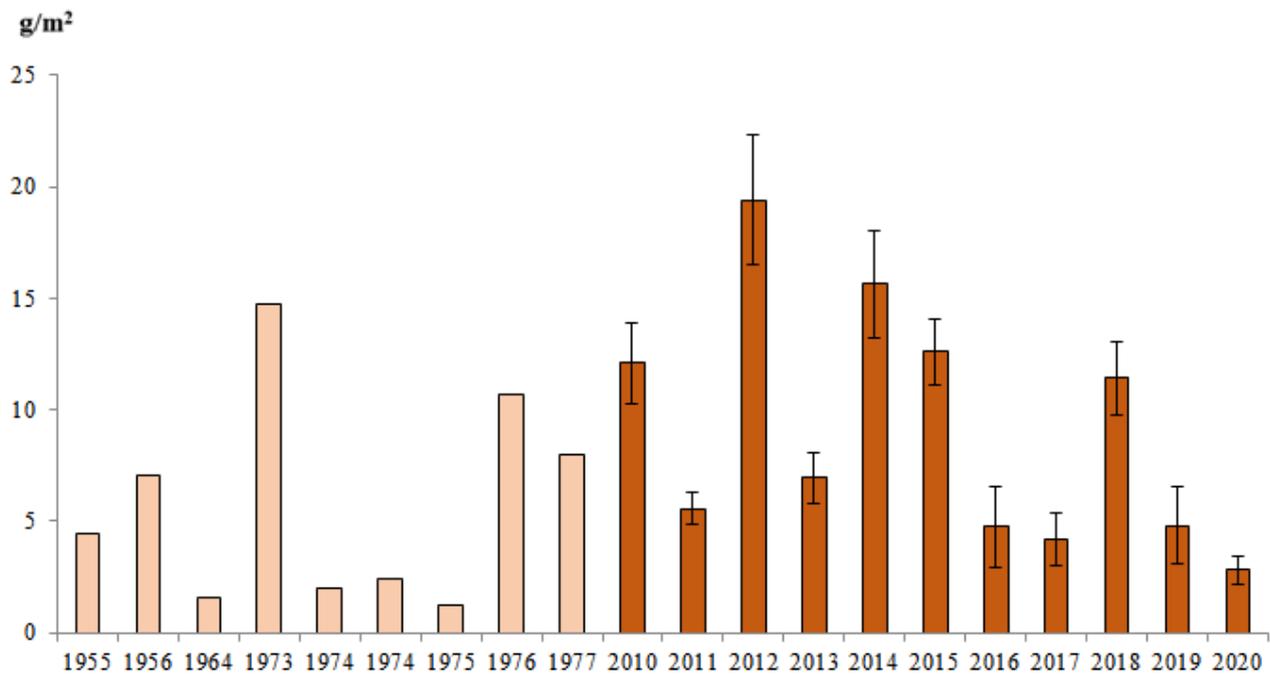


Рис. 6. Многолетние изменения биомассы (g/m^2) кормового зообентоса оз. Белое осенью (данные приводятся по: 1955–1956 [Мордухай-Болтовской, Митропольский, 1959], 1964 [Поддубная, 1966], 1973–1974 [Стальмакова, 1977], 1974–1977 [Слепухина, Выголова, 1981], 2010–2020 — данные авторов).

Fig. 6. Long-term changes in biomass (g/m^2) of the zoobenthos of the Beloe lake in autumn (the data are given for: 1955–1956 [Mordukhai-Boltovskaya, Mitropolsky, 1959], 1964 [Poddubnaya, 1966], 1973–1974 [Stalmakova, 1977], 1974–1977 [Slepukhina, Vygolova, 1981], 2010–2020 — data of the authors).

По показателям 2010–2020 гг. биомасса кормового зообентоса оз. Белое превосходит крупные озера Вологодской области Кубенское и Воже [Лобуничева и др., 2023 (Lobunicheva et al., 2023)], но уступает по биомассе Рыбинскому, Иваньковскому и Горьковскому водохранилищам [Щербина, 2002 (Shcherbina, 2002)]. В связи с созданием водохранилищ Верхней Волги в 1960-х гг. наблюдались изменения донных сообществ в речной части Шекснинского [Поддубная, 1966 (Poddubnaya, 1966)], а также в Рыбинском, Горьковском и других волжских водохранилищах [Щербина,

2002 (Shcherbina, 2002)]. На Белом озере изменений донных сообществ, связанных с затоплением Шекснинского водохранилища, не наблюдалось. Незначительное снижение биомассы в 1963–1964 гг. (по мнению Т.Л. Поддубной [1966 (Poddubnaya, 1966)]) носит случайный характер и, возможно, связано с небольшим количеством проб. Как мы можем наблюдать по более поздним исследованиям, полученные в 1963–1964 гг. результаты (сразу после затопления) в целом укладываются в многолетний диапазон колебаний биомассы зообентоса.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

За почти 90-летний период наблюдений отмечено увеличение биомассы осеннего зообентоса и смена соотношения доминирующих видов в донных сообществах центральной части Белого озера. За всю историю изучения озера структура сообществ была неизменной. Из хирономид доминировали *Chironomus plumosus* и *Procladius* sp. В 2010–2020 гг. крупная олигохета *Tubifex newaensis* уступила доминирующую роль более мелкой *Limnodrilus hoffmeisteri*. Наблюдается выпадение *Stictochironomus* gr.

histris из состава донных сообществ. Инвазионные виды зообентоса, расселившиеся по всему Шекснинскому водохранилищу, в центральной части Белого озера встречаются единично. Пространственное распределение зообентоса по акватории озера в целом носит мозаичный характер. Отмечается высокая концентрация олигохет и хирономид *Procladius* sp. вблизи крупнейшего населенного пункта и порта на берегах озера — г. Белозерска.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Баканов А.И. Зообентос // Современное состояние экосистемы Шекснинского водохранилища. Ярославль: Изд-во ЯГТУ, 2002. С. 165–180.
- Выголова О.В. Макрозообентос Череповецкого водохранилища, его продукция и потребление рыбами. Дис. ... канд. биол. наук. Вологда, 1979. 235 с.
- Дворецкая М.И., Жданова А.П., Лушников О.Г., Слива И.В. Возобновляемая энергия. Гидроэлектростанции России. СПб: Издательство Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого, 2018. 224 с.
- Законнов В.В. Донные отложения // Современное состояние экосистемы Шекснинского водохранилища. Ярославль: Изд-во ЯГТУ, 2002. С. 45–51.
- Законнова А.В., Литвинов А.С. Многолетние изменения гидроклиматического режима Рыбинского водохранилища // Гидролого-гидрохимические исследования водоемов бассейна Волги. Ярославль: Филигрань, 2016. С. 16–22.
- Ивичева К.Н., Филоненко И.В. Зообентос озера Воже // Известия Самарского научного центра РАН. 2015. Т. 17, № 4-4. С. 705–711.
- Ивичева К.Н., Филоненко И.В. Видовой состав зообентоса озера Белое (Вологодская область) в XXI веке // Всероссийская конференция “Волга и ее жизнь”: сб. тез. докл. Ярославль: Филигрань, 2018. С. 57.
- Ивичева К.Н., Филоненко И.В. Инвазионные виды зообентоса на территории Вологодской области // Современные проблемы и перспективы развития рыбохозяйственного комплекса: Материалы X международной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов. М.: Изд-во ВНИРО, 2022. С. 172–174.
- Лазарева В.И., Степанова И.Э., Цветков А.И., Пряничникова Е.Г., Перова С.Н. Кислородный режим водохранилищ Волги и Камы в период потепления климата: последствия для зоопланктона и зообентоса // Труды Института биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН. 2018. № 81(84). С. 47–84. DOI: 10.24411/0320-3557-2018-10005.
- Литвинов А.С. Общие сведения о водохранилище // Современное состояние экосистемы Шекснинского водохранилища. Ярославль: Изд-во ЯГТУ, 2002. С. 5–9.
- Мордухай-Болтовской Ф.Д., Митропольский В.И. Бентос Белого озера // Труды Института биологии водохранилищ АН СССР. 1959. Вып. 5(2). С. 85–101.
- Мордухай-Болтовской Ф.Д. Зообентос // Рыбинское водохранилище и его жизнь. Л.: Наука, 1972. С. 193–209.
- Мордухай-Болтовской Ф.Д. О бентосе Белого озера в 1973–1975 годах // Биология внутренних вод. Инф. Бюл. 1978. № 38. С. 44–48.
- Поддубная Т.Л. О донной фауне Череповецкого водохранилища в первые два года его существования // Планктон и бентос внутренних водоемов. М.–Л.: Наука, 1966. С. 21–33.
- Слепухина Т.Д. Зообентос и фитофильная фауна оз. Кубенского // Озеро Кубенское. Ч. III. Зоология. Л.: Наука, 1977. С. 51–86.
- Слепухина Т.Д., Выголова О.В. Зообентос // Гидробиология и донные отложения озера Белого. Л.: Наука, 1981. С. 215–232.
- Стальмакова Г.А. Бентос озера Белого Вологодской области (по наблюдениям 1973–1974 годов) // Известия Государственного научно-исследовательского института озерного и речного рыбного хозяйства. 1977. Т. 116. С. 128–137.
- Стругач М.Б. Бентос Белого озера // Известия Государственного научно-исследовательского института озерного и речного рыбного хозяйства. 1968. Т. 67. С. 261–269.
- Третий оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. СПб.: Научное издание, 2022. 124 с.
- Филоненко И. В., Комарова А. С., Ивичева К. Н. Анализ факторов, значимых для зообентоса озера Белое Вологодской области // Принципы экологии. 2021. № 3. С. 74. DOI: 10.15393/j1.art.2021.11902.
- Щербина Г.Х. Структура и функционирование биоценозов донных макробеспозвоночных верхневолжских водохранилищ // Динамика разнообразия гидробионтов во внутренних водоемах России. Ярославль: Изд-во ЯГТУ, 2002. С. 121–142.
- Lobunicheva E.V., Makarenkova N.N., Filonenko I.V. et. al. Modern state of plankton and benthos of large fishery water bodies in Vologda region // Ecosystem Transformation. Vol. 6 (4). P. 33–63. DOI: 10.23859/estr230410.
- Perova S.N. Changes in the Structure of Macrozoobenthos in the Rybinsk Reservoir under Conditions of Rising Temperature // Inland Water Biol. 2019. Vol. 12, № 2. P. 49–59. DOI: 10.1134/S1995082919040102.

REFERENCES

- Bakanov A.I. The current state of the Sheksna reservoir ecosystem. *Zoobenthos* [Zoobenthos]. Yaroslavl, Yaroslavl State Technological University Publishing House, 2002, pp. 165–180. (In Russian)
- Dvoreckaya M.I., Zhdanova A.P., Lushnikov O.G., Sliva I.V. Renewable energy. Hydroelectric power plants in Russia. SPb, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University Publishing House, 2018. 224 p. (In Russian)
- Filonenko I.V., Komarova A.S., Ivicheva K.N. Analysis of factors significant to zoobenthos of Lake Beloye, Vologda Oblast. *Principles of Ecology*, 2021, vol. 3, pp. 74–86. doi: 10.15393/j1.art.2021.11902. (In Russian)
- Ivicheva K.N., Filonenko I.V. Invasive species of zoobenthos in the Vologda region. *Sovremennye problemy i perspektivy razvitiya rybohozyajstvennogo kompleksa: materialy X mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii molodyh uchyonyh i specialistov* [Modern problems and prospects for the development of the fisheries complex: materials of

- the X International scientific and practical conference of young scientists and specialists]. M., VNIRO publ., 2022, pp. 172–174. (In Russian)
- Ivicheva K.N., Filonenko I.V. Species composition of zoobenthos of lake Beloye (Vologda Oblast) in XXI century. *Sbornik tezisov dokladov Vserossijskoj konferencii "Volga i ee zhizn"* [Book of abstracts of All-Russian conference "Volga and its life"]. Yaroslavl, Filigran, 2018, p. 57. (In Russian)
- Ivicheva K.N., Filonenko I.V. Zoobenthos of Vozhe lake. *Izvestiya of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*, 2015, vol. 17 (4), pp. 705–711. (In Russian)
- Lazareva V.I., Stepanova I.E., Tsvetkov A.I., Prianichnikova E.G., Perova S.N. Oxygen regime of the Volga and Kama reservoirs during the period of climate warming: consequences for zooplankton and zoobenthos. *Transactions of Papanin Institute for Biology of Inland Waters RAS*, 2018, is. 81(84), pp. 47–84. doi: 10.24411/0320-3557-2018-10005. (In Russian)
- Litvinov A.S. The current state of the Sheksna reservoir ecosystem. *General information about the reservoir* [Obshchie svedeniya o vodohranilishche]. Yaroslavl, Yaroslavl State Technological University Publishing House, 2002, pp. 5–9. (In Russian)
- Lobunicheva E.V., Makarenkova N.N., Filonenko I.V. et al. Modern state of plankton and benthos of large fishery water bodies in Vologda region. *Ecosystem Transformation*, 2023, vol. 6 (4), 33–63. doi: 10.23859/estr230410.
- Mordukhay-Boltovskoy F.D. About benthos of lake Beloye in 1973–1975. *Inland Water Biology: Information Bulletin*, 1978, vol. 38, pp. 44–48. (In Russian)
- Mordukhay-Boltovskoy F.D. Life of the Rybinskoe reservoir. *Zoobenthos* [Zoobenthos]. Leningrad, Nauka, 1972, pp. 193–209. (In Russian)
- Mordukhay-Boltovskoy F.D., Mitropolskiy V.I. Benthos of lake Beloye. *Transactions of the Institute for Biology of Water Reservoirs of the Academy of Sciences of the USSR*, 1959, vol. 2(5), pp. 85–101. (In Russian)
- Perova S.N. Changes in the Structure of Macrozoobenthos in the Rybinsk Reservoir under Conditions of Rising Temperature. *Inland Water Biol.*, 2019, vol. 12, no. 2, pp. 49–59. doi: 10.1134/S1995082919040102.
- Poddubnaya T.L. The bottom fauna of the Cherepovets reservoir in the first two years of its operation. *Transactions of the Institute for Biology of Water Reservoirs of the Academy of Sciences of the USSR*. Moskva–Leningrad, Nauka, 1966, vol. 12 (15), pp. 21–33. (In Russian)
- Shcherbina G.Kh. Dynamics of the diversity of aquatic organisms in inland waters of Russia. *Struktura i funkcionirovanie biocenozov donnyh makrobespozvonochnyh verhnevolzhskih vodohranilishch* [Structure and functioning of biocoenoses of bottom macroinvertebrates of the Upper Volga reservoirs]. Yaroslavl, Yaroslavl State Technological University Publishing House, 2002, pp. 121–142. (In Russian)
- Slepuhina T.D. Lake Kubenskoye. Part III. Zoology. *Zoobenthos i fitofil'naya fauna oz. Kubenskogo* [Zoobenthos and phytophilic fauna of the Kubenskoye lake]. Leningrad, Nauka, 1977, pp. 51–86. (In Russian)
- Slepuhina T.D., Vygolova O.V. Hydrobiology and bottom sediments of Beloe Lake. *Zoobenthos* [Zoobenthos]. Leningrad, Nauka, 1981, pp. 215–232. (In Russian)
- Stal'makova G. A. [Benthos of the Beloe Lake in the Vologda region (according to observations from 1973–1974)]. *Issue of the State Scientific Research Institute of Lake and River Fisheries*, 1977, vol. 116, pp. 128–137. (In Russian)
- Strugach M.V. Benthos of Beloe Lake. *All-Union Research Institute of Lake and River Fisheries*, 1968, vol. 67, pp. 261–269. (In Russian)
- Tretij ocenochny`j doklad ob izmeneniyax klimata i ix posledstviyax na territorii Rossijskoj Federacii [The third assessment report on climate change and its consequences on the territory of the Russian Federation]. SPb., Naukoemkie tekhnologii, 2022. 124 p. (In Russian)
- Vygolova O.V. Makrozoobentos Cherepoveckogo vodohranilishcha, ego produkciya i potreblenie rybami [Macrozoobenthos of the Cherepovets reservoir, its production and consumption by fish]. *Cand. Biol. Sci. Diss.* Vologda, 1979. 235 p. (In Russian)
- Zakonov V.V. The current state of the Sheksna reservoir ecosystem. *Donnye osadki* [Bottom sediments]. Yaroslavl, Yaroslavl State Technological University Publishing House, 2002, pp. 45–51. (In Russian)
- Zakonova A.V., Litvinov A.S. Hydrological studies of reservoirs of the Volga basin. *Mnogoletniye izmeneniya gidroklimaticeskogo rezhima Rybinskogo vodokhranilishcha* [Long-term changes in the hydroclimatic regime of the Rybinsk Reservoir]. Yaroslavl, Filigran, 2016, pp. 16–22. (In Russian)

LONG-TERM DYNAMICS AND SPATIAL DISTRIBUTION OF MACROZOOBENTHOS IN THE PROFUNDALE OF THE WHITE LAKE (VOLOGDA REGION)

K. N. Ivicheva^{1,*}, I. V. Filonenko²

¹*Saint Petersburg branch of VNIRO (GosNIORKH named after L.S. Berg), 199053 Saint Petersburg, Russia, e-mail: *ksenya.ivicheva@gmail.com*

²*Vologda branch of VNIRO (VologodNIRO), 160014 Vologda, Russia*

Revised 30.11.2024

Beloe Lake is part of the Sheksninsky reservoir and is part of the Volga-Baltic Waterway. The lake has a saucer-shaped shape, about 90% of the lake bottom is covered with silt, the depth is 4–6 m. Studies of macrozoobenthos in the profundale of the White Lake were carried out in 2010–2020 in late September — early October and

sporadically in other seasons. The communities of zoobenthos in profundalia are of the same type and are represented exclusively by small bivalves, oligochaetes and chironomids. Of the 107 species of zoobenthos recorded for the lake, only 10 are constantly found in the central part of the lake. The biomass of zoobenthos in the period 2010–2020 ranged from 2.8 to 19.3 g/m². Compared with the studies of the second half of the 20th century, the biomass values in 2010–2020 fit into the range of biomass fluctuations. In 2010–2020, a restructuring of the dominant zoobenthos complex was observed: *Tubifex newaensis* was replaced by *Limnodrilus hoffmeisteri*. There is also an increase in the size of the autumn generation of *Chironomus plumosus* and loss of *Stictochironomus*.

Keywords: zoobenthos, biomass, White Lake, GIS, long-term dynamics, spatial distribution