

УДК 574.587

СЕЗОННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ СТРУКТУРЫ ЗООБЕНТОСА В оз. ЮЖНЫЙ ВОЛОС (БЕЛАРУСЬ)

© 2022 г. И. И. Лапука*

Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по биоресурсам, Минск, Беларусь

*e-mail: ilya.lapuka@yandex.ru

Поступила в редакцию 31.05.2022 г.

После доработки 06.06.2022 г.

Принята к публикации 25.06.2022 г.

Изучена пространственная структура зообентоса в оз. Южный Волос в разные сезоны года. Установлены особенности сезонного распределения общей численности и биомассы макрозообентоса, его основных таксономических групп и отдельных видов и влияние на них ключевых экологических факторов (кислорода и температуры). Зарегистрировано два пика количественных показателей зообентоса: первый – в границах подводной растительности, где максимальные значения в общем зообентосе определяла дрейссена, а в “мягком” бентосе, в зависимости от сезона года, – разные виды хирономид и водяные ослики; второй обусловлен развитием реликтового рачка монопарея род-ственная.

Ключевые слова: зообентос, пространственная структура, сезонные изменения, численность, биомасса

DOI: 10.31857/S0320965222060110

ВВЕДЕНИЕ

Изучение пространственной неоднородности макрозообентоса, ее масштабы, характерные особенности, способы формирования и методы анализа – важнейшая, но до сих пор еще недостаточно разработанная область экологии (Смуров, Полищук, 1983; Greig-Smith, 1983; Гиляров, 1990). В то же время исследования в установлении пространственной структуры макрозообентоса относятся к актуальным, поскольку макрозообентос зарекомендовал себя как эффективная группа индикаторов в мониторинге качества воды и экологической целостности экосистемы (Covich et al., 1999; Vanni, 2002; Saxena, 2014) – они чувствительны к изменениям среды обитания, проявляют слабую миграцию и способны отражать долгосрочные изменения в экосистемах (Chen et al., 2009; Zhang et al., 2011, 2015; Ekingen, Kazanci, 2021).

Цель работы – выявить особенности пространственного распределения зообентоса в оз. Южный Волос в разные сезоны года и оценить влияние основных факторов среды (температуры и кислорода).

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Материалом для работы послужили пробы зообентоса, отобранные один раз в ноябре, де-

кабре, марте и июле 2019–2021 г. в оз. Южный Волос на станциях разной глубины (1, 6, 8, 10, 12, 15, 20, 40 м) (рис. 1). Пробы отбирали дночерпателем системы Боруцкого с площадью захвата 0.0225 м² (не менее трех дночерпателей на станции). Одновременно, на каждом метре глубины, измеряли температуру и концентрацию кислорода термомоксиметром Hanna HI 9143. Прозрачность определяли по диску Секки.

Учет и измерение животных проводили под бинокулярным микроскопом МБС-10 при увеличении $\times 56$. Детали морфологии уточняли с помощью микроскопа Jenaval при увеличении до $\times 250$. Для определения животных использовали работы (Черновский, 1949; Винберг и др., 1977; Wallace et al., 1990; Edington, Hildrew, 1995; Андреева и др., 1999; Timm, 2015; Цалолихин и др., 2016).

Для оценки состояния сообществ макрозообентоса использовали: численность (N), биомассу (B), частоту встречаемости (P), количество видов (S) и индексы видового разнообразия Шеннона–Уивера, индекс Симпсона, рассчитанные по численности с помощью программы BioDiversity Pro. Дисперсионный анализ (ANOVA) использовали для определения достоверности влияния основных экологических факторов (кислорода и температуры) и изменений сезонов года на абсолютные величины изученных показателей, а

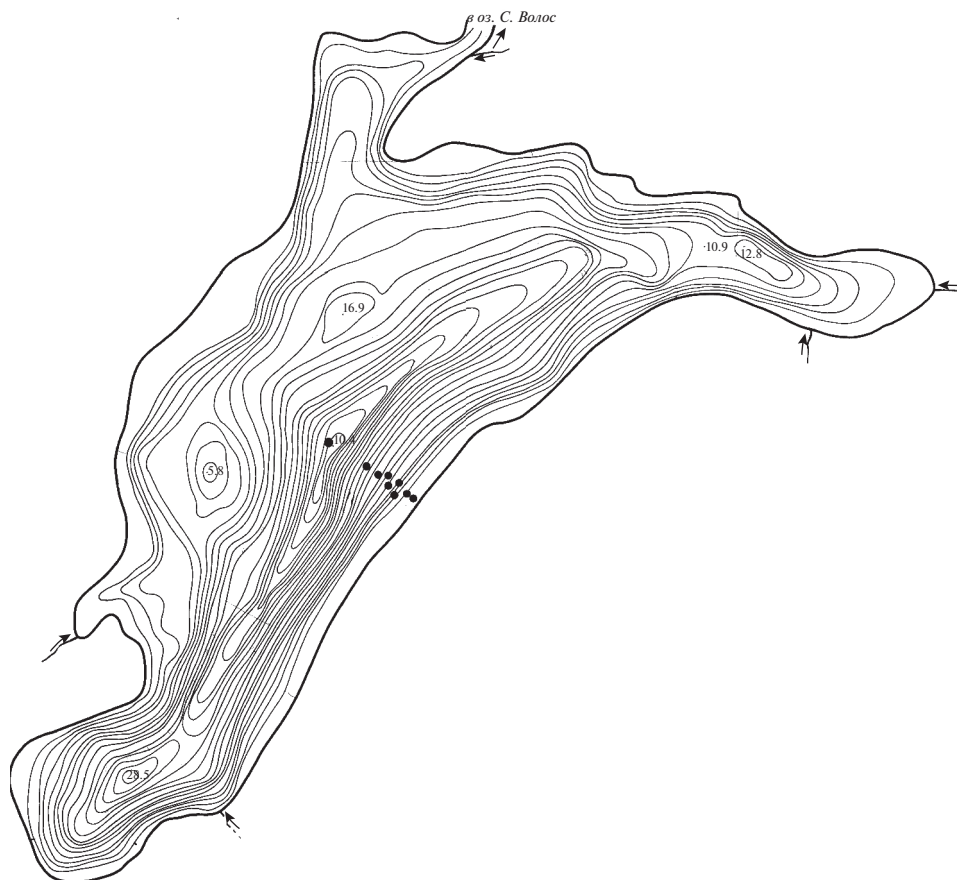


Рис. 1. Карта-схема отбора проб зообентоса в оз. Южный Волос. Стрелками обозначено движение воды, впадающие ручьи, протоки и т.д.

также тест Колмогорова—Смирнова для оценки нормальности распределения данных.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Озеро Южный Волос имеет высокую (7.5–10 м) прозрачность воды. Летом температура колебалась от 5.1°C у дна, до 21.4°C у поверхности. Эпилимнион занимал верхний 5-метровый слой, металимнион заканчивался на глубине 16 м. В зимний и весенний периоды года была отмечены температуры 2.6–3.6 и 2.6–2.8°C соответственно. Осенью (в ноябре) толща воды была разделена на две почти равные части: от поверхности до глубины 17 м температура была 7.7°C, с глубины 19 м и до дна – 5.9–5.3°C (рис. 2а), что указывает на еще не заверченный процесс осеннего перемешивания.

Содержание кислорода в июле изменялось от 7.7 мг/л у поверхности до 1.9 мг/л у дна (рис. 2б). В зоне металимниона шло увеличение концентрации кислорода до 12.4 мг/л. Зону оксиклина наблюдали до глубины 21 м, далее шло постепен-

ное снижение концентрации кислорода до дна. В ноябре толща воды была разделена на две части: до глубины 17 м содержание кислорода колебалось от 9.2 до 9.8 мг/л, ниже глубины 18 м кислород отсутствовал. По-видимому, это связано с затянувшейся осенью и неполным перемешиванием толщи воды. В декабре наблюдали полное насыщение воды кислородом (14.5 мг/л).

В марте в зоне эпилимниона содержание кислорода постепенно уменьшалось от поверхности (12.4 мг/л) до глубины 5 м (10.5 мг/л). По всей зоне металимниона шло постепенное увеличение содержания растворенного кислорода до 11.3 мг/л. На глубине 16–19 м концентрация растворенного кислорода резко снижалась, и наступала гомооксигения в гиполимнионе с достаточно высоким содержанием кислорода (9.2 мг/л).

За время наблюдений в оз. Южный Волос выявлено 72 таксона видового и надвидового рангов донных макробеспозвоночных (представителей олигохет, мокрецов и слепней не определяли). По видовому богатству лидировали личинки хироно-

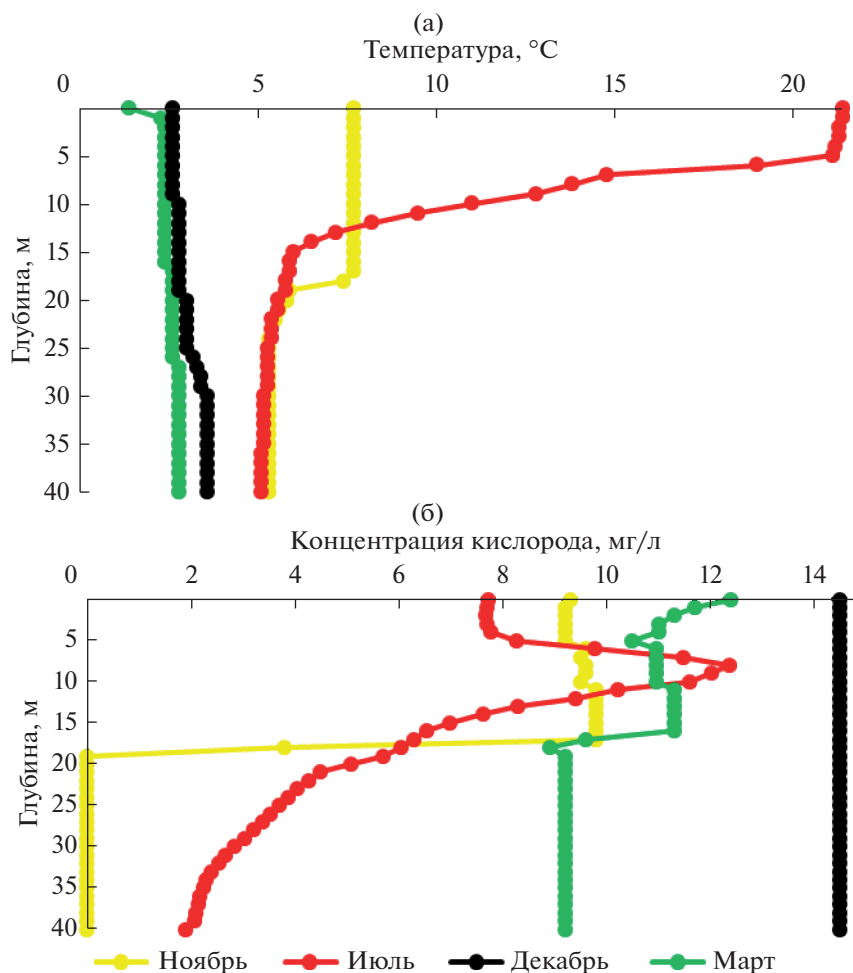


Рис. 2. Распределение температуры (а) и кислорода (б) по глубине (м) в оз. Южный Волос.

мид (32 таксона) и моллюски (9). Остальные таксономические группы встречались в относительно небольших количествах видов.

Наибольшее количество таксонов зарегистрировано в ноябре (56), наименьшее – в июле (25). Самое высокое таксономическое обилие (45) отмечено ст. 6 м, отличавшейся обильным развитием подводной растительности.

Расчет индекса Шеннона–Уивера, характеризующий разнообразие и выравненность в структуре сообщества, и индекс Симпсона, оценивающий степень выраженности доминирования определенных видов в структуре сообщества (Пузнецките, Марушкина, 2005; Шитиков и др., 2011), показал, что и в среднем за год, и по сезонам идет уменьшение доминирования определенных видов и увеличение выравненности от литорали до глубин подводной растительности (6–8 м), где зафиксировано во все сезоны года максимальное

количество таксонов, при продвижении к максимальным глубинам увеличивается доминирование и уменьшается выравненность таксономического разнообразия (рис. 3а). Пространственно-временное распределение разнообразия зообентоса во все сезоны повторяло среднегодовую динамику распределения (рис. 3б).

Во все сезоны отмечены наибольшая выравненность разнообразия по численности в зоне подводной растительности и увеличение доминирования по численности некоторых таксонов с увеличением глубины. Выравненность нарушалась доминированием с 10 до 20 м, по численности преобладала *Monoporeia affinis* Lindström, 1885, на максимальных глубинах – *Oligochaeta* gen. spp. и представители сем. Chironomidae. Установлено достоверное влияние сезонов года на индекс Шеннона ($F = 3.01, p = 0.05$).

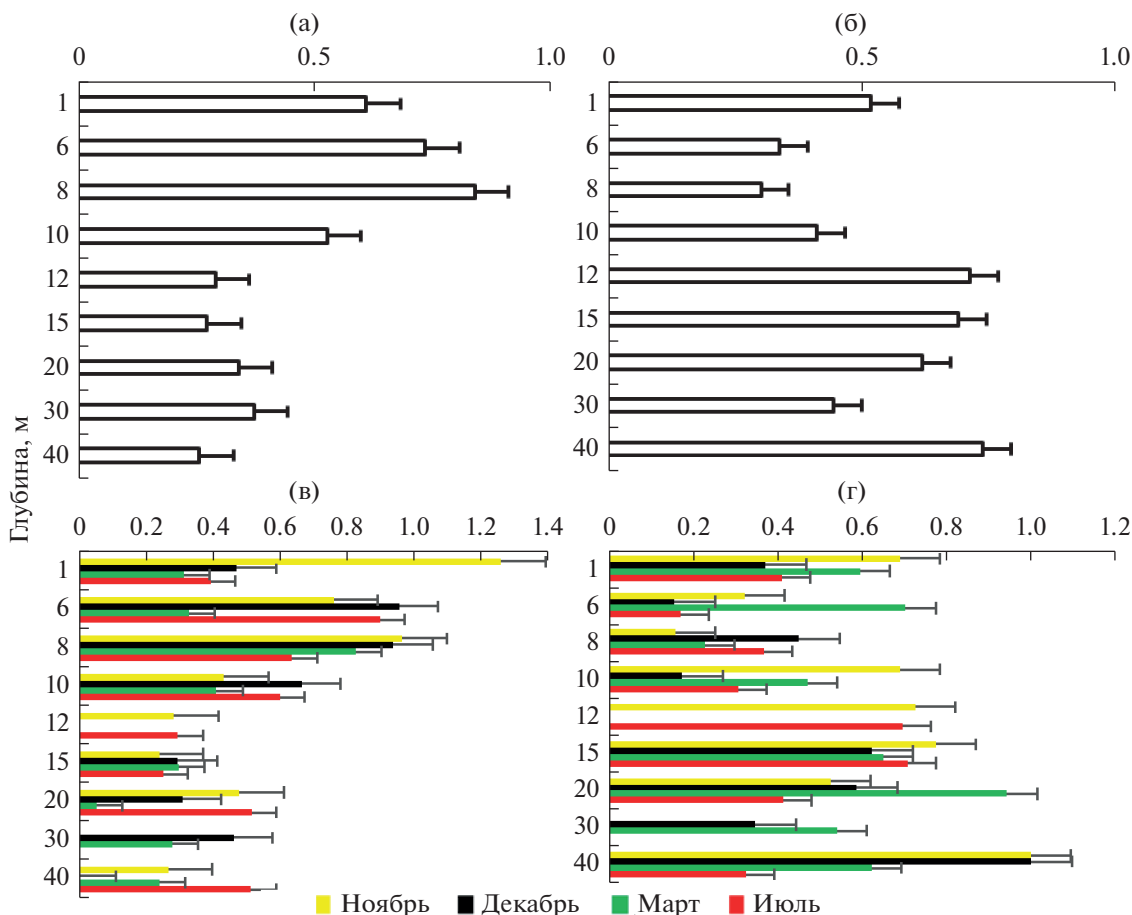


Рис. 3. Пространственное (а, б) и пространственно-временные (в, г) изменения разнообразия зообентоса в оз. Южный Волос: а, в – индекс Шеннона, б, г – индекс Симпсона.

В пространственном распределении численности зообентоса в оз. Южный Волос наблюдали ее волнообразное изменение с увеличением на двух горизонтах – 6–8 и 12–15 м. Причем, эти два пика численности были характерны и для общего зообентоса, и для “мягкого” зообентоса (рис. 4).

Высокая численность зообентоса на глубине 6 м обусловлена развитием дрейссены на подводной растительности, как единственного субстрата для прикрепления в озере. Максимальная численность “мягкого” бентоса зависела от развития некоторых видов хирономид (*Chironomus* f.l. *plumosus* (Meigen, 1830), *Endochironomus impar* (Walker, 1856), *Dicrotendipes nervosus* (Staeger, 1839), *Polypedilum nubeculosum* (Meigen, 1804), *Tanytarsus* gr. *gregarius* (Kieffer, 1909), *Procladius* sp.) и обильного развития *Asellus aquaticus* (L., 1758). Последующее увеличение численности на глубинах 12–15 м было вызвано развитием *Monoporeia affinis*. В пространственно-временном распределении численности зообентоса наблюдали те же тенденции, что и в

распределении общей средней численности зообентоса (рис. 5). Во все сезоны было два пика численности зообентоса, до 6–8 м она возрастала до максимальных значений. Максимальная численность в зоне подводной растительности (6–8 м) зависела от доминирования различных таксонов: в ноябре – от *Dreissena polymorpha* (Pallas, 1771) (8459 экз./м²), *Asellus aquaticus* (2178 экз./м²), *Polypedilum nubeculosum* (356 экз./м²), в декабре – *Dreissena polymorpha* (47 экз./м²), *Asellus aquaticus* (22 экз./м²), в марте – *Dreissena polymorpha* (12415 экз./м²), *Endochironomus impar* (341 экз./м²), в июле – *Dreissena polymorpha* (207 экз./м²), *Tanytarsus* gr. *gregarius* (104 экз./м²). Далее шло постепенное снижение численности и дальнейший ее подъем на глубине 12–15 м за счет увеличения численности *Monoporeia affinis*, которая колебалась от 5 (в декабре) до 2133 экз./м² (в ноябре).

Установлено статистически значимое влияние на пространственно-временное распределение

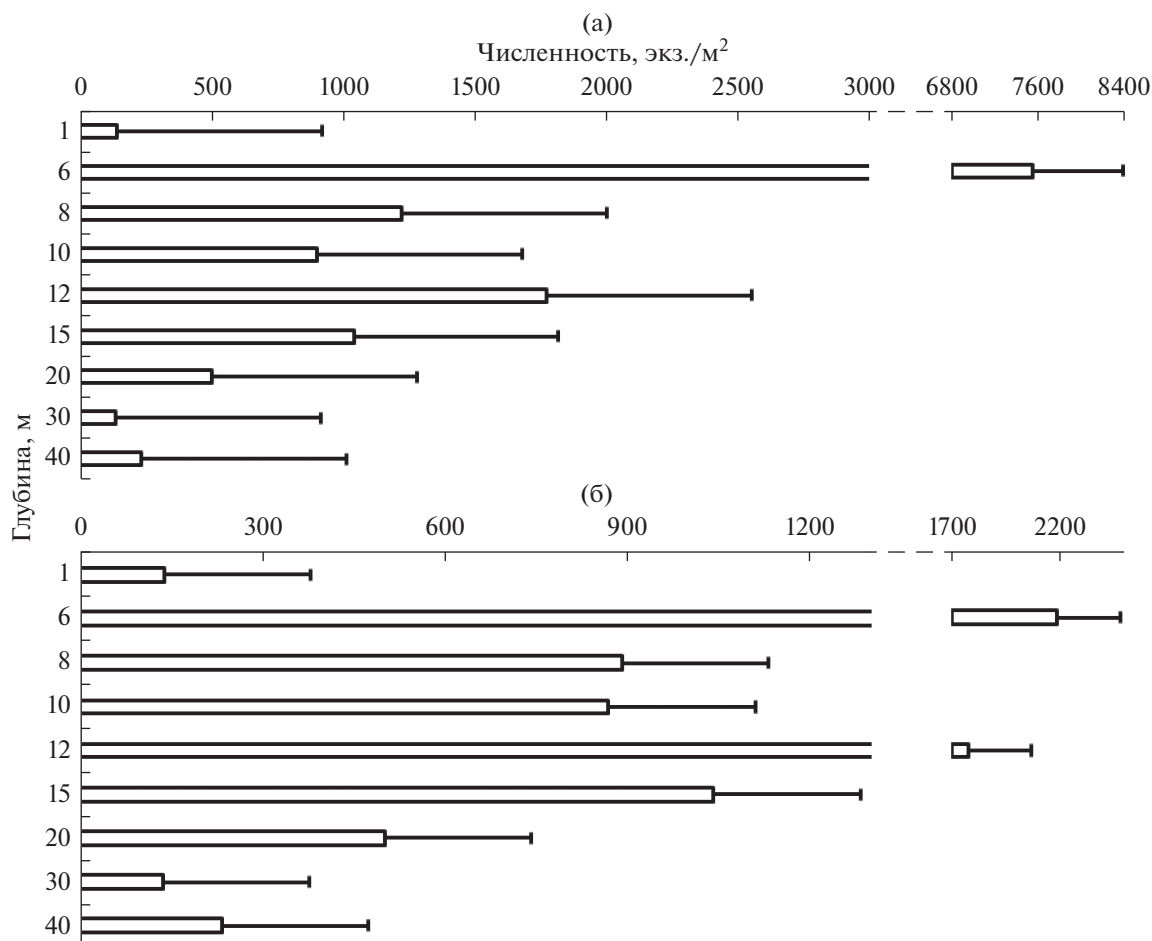


Рис. 4. Пространственное распределение численности (экз./м²) зообентоса в оз. Южный Волос: а – общий зообентос, б – “мягкий” зообентос.

численности зообентоса температуры воды – на класс Diptera ($F = 8.1$; $p = 0.05$) и класс Malacostraca ($F = 3.01$; $p = 0.05$) и влияние концентрации растворенного кислорода на те же классы: ($F = 15.3$; $p = 0.05$) и ($F = 15.05$; $p = 0.05$), соответственно.

Пространственное распределение биомассы имело небольшие отличия от такового численности зообентоса (рис. 6). Максимум общей биомассы зарегистрирован на глубине 6 м из-за преобладания на этой глубине дрейссены, а в “мягком зообентосе” – *Asellus aquaticus*, кроме июля, когда доминировали представители *Oligochaeta* gen. spp. Ниже глубины 6 м шло постепенное снижение биомассы с минимумом на максимальных глубинах.

Пространственно-временное распределение биомассы во все сезоны имело сходные черты – увеличение биомассы от литорали до глубины подводной растительности, с резким дальней-

шим уменьшением на максимальных глубинах (рис. 7).

Во все месяцы исследования максимальная биомасса зообентоса была в зоне подводной растительности (6–8 м) и зависела от обилия моллюсков (от 84.7 г/м² в июле до 1026.8 г/м² в декабре). В “мягком” зообентосе, в декабре и марте, в зоне подводной растительности доминировали представители *Oligochaeta* gen. spp. 220.75 и 1030.4 г/м² соответственно, в ноябре – представители класса Malacostraca (355.12 г/м²), в июле – *Oligochaeta* gen. spp. и Malacostraca с почти равными массами (3.05 и 3.03 г/м² соответственно). После глубин подводной растительности во все сезоны наибольшей биомассой обладают представители класса Malacostraca, в частности за счет численного доминирования *Monoporeia affinis*, на которую приходится основная доля биомассы зообентоса.

Установлено влияние температуры на пространственное распределение биомассы предста-

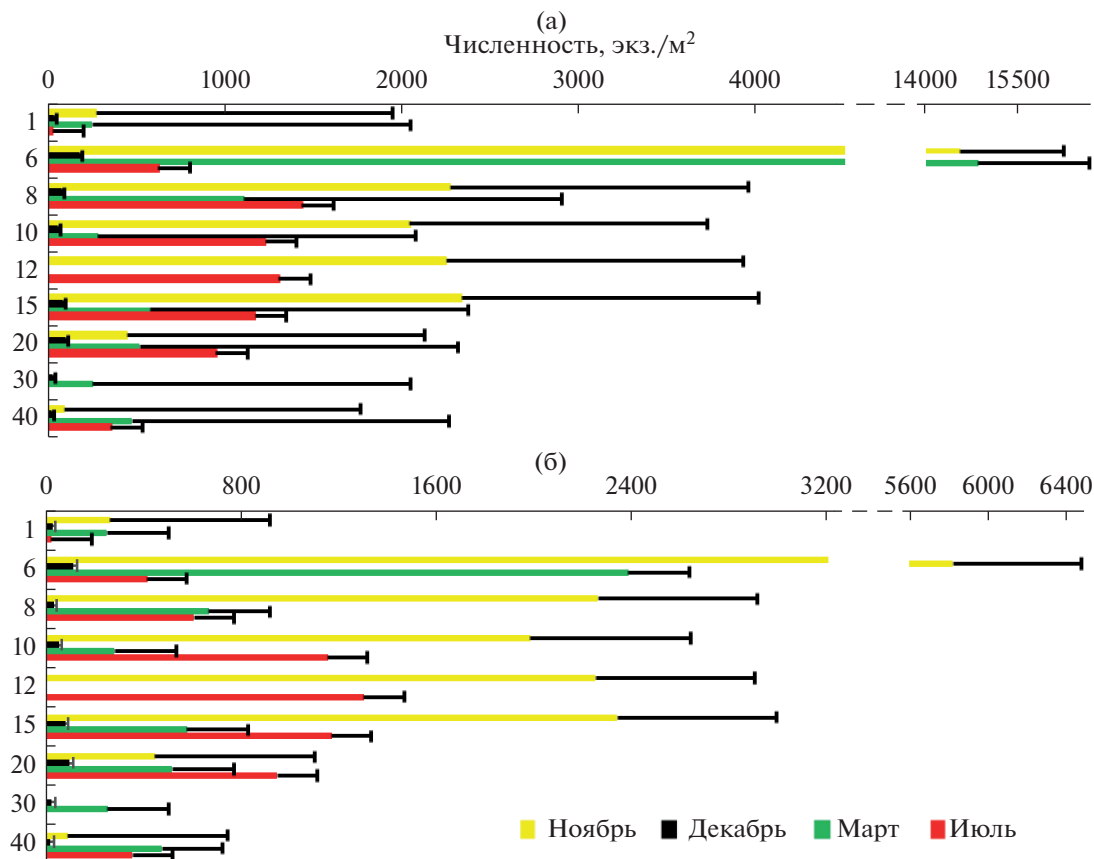


Рис. 5. Пространственно-временное распределение численности (экз./м²) зообентоса в оз. Южный Волос: а – общий зообентос, б – “мягкий” зообентос.

вителей Diptera ($F = 16.56; p = 0.05$), прочих насекомых ($F = 14.7; p = 0.05$).

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Различия в видовом составе и численности макрозообентоса часто связаны с морфометрическими показателями водоема: глубиной и формой (Olenin et al., 1997; Laine, 2003; Coleman et al., 2007; Алимов, 2008, 2012), а также с типом донных отложений (Charman et al., 1997; Reynoldson et al., 1995). Кроме того, макрофиты создают пространственную гетерогенность, как защиту от хищников (Gong et al., 2000; Clemente et al., 2019). Для оз. Южный Волос максимальные значения разнообразия, численности и биомассы характерны для глубин, которые являются верхней границей термоклина, и где располагается верхняя граница металимнионного максимума. Помимо температуры и кислорода, на максимальные значения влияло и произрастание макрофитов на глубинах 6–8 м. Наибольшее таксономическое разнообра-

зие отмечено в ноябре, наименьшее – в июле, что соответствует жизненным циклам большинства насекомых. Из-за вылета насекомых и создание последующих генераций, в зависимости от сезонов года, происходит смещение выровненности разнообразия, на которую и влияет изменение сезонов года.

Известно, что биологическое разнообразие в сообществах водных животных также зависит от факторов внешней среды: температуры, содержания кислорода, количества взвешенных веществ, гидрохимических характеристик, глубины, pH и др., соответственно и структура сообществ макрозообентоса под воздействием этих факторов должна меняться во времени и пространстве. В оз. Южный Волос пространственная структура зообентоса относительно стабильна. Во все сезоны на глубине произрастания макрофитов, независимо от сезона года, всегда доминирует дрейсена. В “мягком” зообентосе различные доминантные виды сем. Chironomidae в зависимости

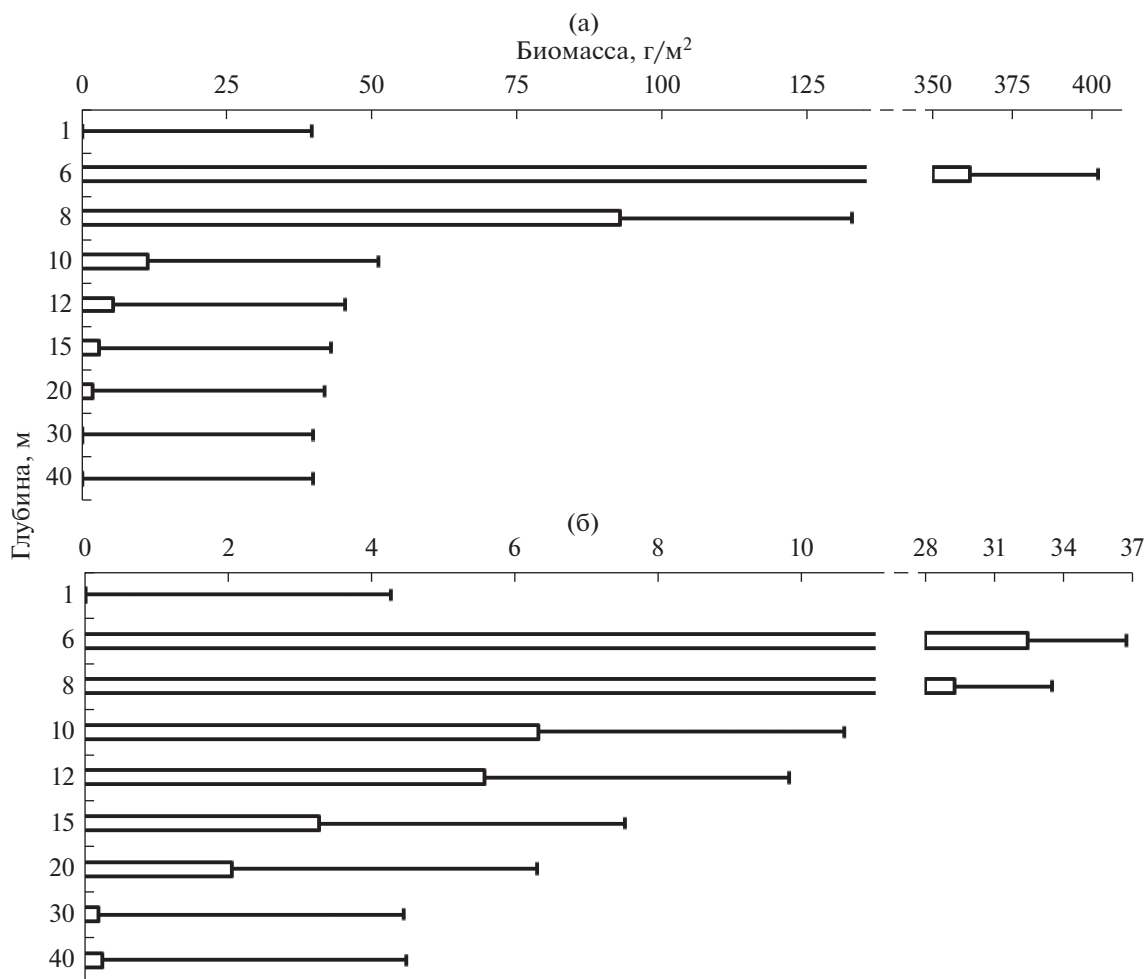


Рис. 6. Пространственное распределение биомассы зообентоса в оз. Южный Волос: а – общий зообентос, б – “мягкий” зообентос.

от месяца исследования меняются: в ноябре – *Polypedilum nubeculosum*, декабре – *Chironomus* f. l. *plumosus*, марте – *Endochironomus impar*, июле – *Tanytarsus* gr. *gregarius*. Такое изменение структуры по сезонам связано с влиянием основных экологических факторов (температуры и кислорода) на численность хирономид. Однако, выявленное влияние экологических факторов на пространственное распределение представителей класса Malacostraca, в основном, связано с предпочтением реликтового ракообразного *Monoporeia affinis*, располагаться в оз. Южный Волос на глубинах от 12 до 30 м в зависимости от температурного и кислородного режимов (Сушения и др., 1986).

Выводы. Таксономическая структура оз. Южный Волос включает в себя 72 таксона видового и надвидового рангов. В зависимости от сезона года ядром таксономической структуры являются представители сем. Chironomidae (в ноябре – *Polypedilum nubeculosum*, декабре – *Chironomus* f.l.

plumosus, марте – *Endochironomus impar*; июле – *Tanytarsus* gr. *gregarius*). Наиболее высокие показатели видового разнообразия зарегистрированы в зоне подводной растительности. Пространственное распределение численности и биомассы имели схожий характер – их увеличение от литоральной зоны до верхней границы термоклина и металимнионного скачка концентрации кислорода, где произрастают макрофиты. Однако, численность повторно увеличивалась, в зависимости от сезона года, благодаря развитию *Monoporeia affinis*. Изменения в пространственной структуре зообентоса вызваны влиянием основных экологических факторов (кислорода и температуры) на некоторые группы зообентоса.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Работа частично поддержана грантом НАН Беларуси № 2022-28-010.

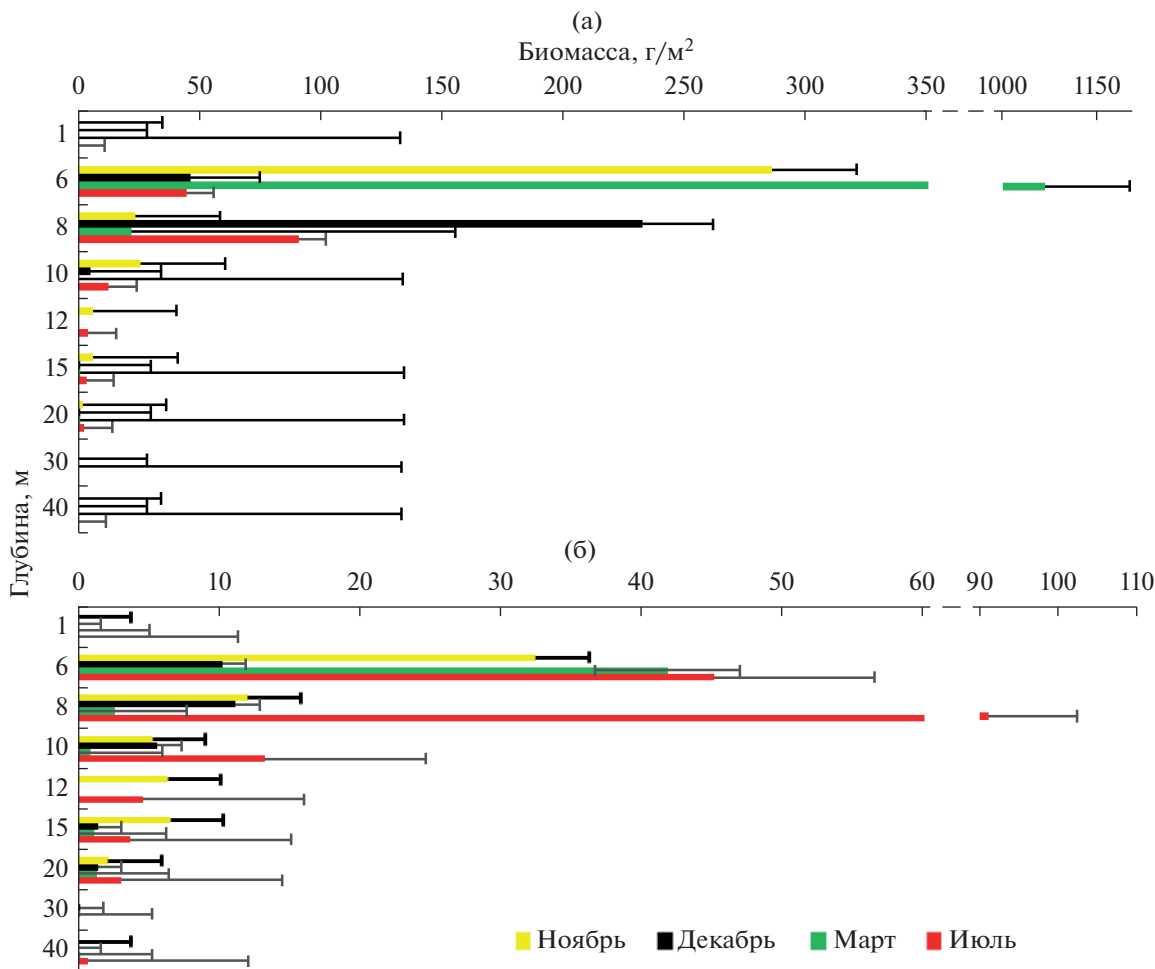


Рис. 7. Пространственно-временное распределение биомассы зообентоса в оз. Южный Волос: а – общий зообентос, б – “мягкий” зообентос.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Алимов А.Ф. 2008. Связь биологического разнообразия в континентальных водоемах с их морфометрией и минерализацией вод // Биология внутр. вод. № 1. С. 3.

Алимов А.Ф. 2012. Морфометрия водоемов и биологическое разнообразие // Динамика биологического разнообразия и биоресурсов континентальных водоемов. Санкт-Петербург: Наука. С. 16.

Андреева Р.В., Бродская Н.К., Глухова В.М. и др. 1999. Определитель пресноводных беспозвоночных России и сопредельных территорий. Т. 4. Санкт-Петербург: Наука.

Винберг Г.Г., Чибисова О.И., Гаевская Н.С. и др. 1977. Определитель пресноводных беспозвоночных Европейской части СССР: Планктон и бентос. Ленинград: Гидрометеиздат.

Гиляров А.М., 1990. Популяционная экология. Москва: Изд-во МГУ.

Пузнецките К.С., Марушкина Е.В. 2005. Применение индексов альфа-разнообразия зоопланктонных сообществ для оценки трофического статуса водоемов (на примере некоторых озер чебаркульской

группы) // Вестник Челябинского гос. ун-та. Т. 12. № 1. С. 22.

Смуров А.В., Полищук Л.В. 1989. Количественные методы оценки основных популяционных показателей: статистический и динамический аспекты. Москва: Изд-во МГУ.

Сушеня Л.М., Семенченко В.П., Вежновец В.В. 1986. Биология и продукция ледниковых реликтовых ракообразных. Минск: Наука и техника.

Цалолыхин С.Я., Пржиборо А.А., Кияшко П.В. и др. 2016. Определитель зоопланктона и зообентоса пресных вод Европейской России. Т. 2. Москва: Товарищество науч. изданий КМК.

Черновский А.А. 1949. Определитель личинок комаров семейства Tendipedidae // Определители по фауне СССР. Ленинград: Зоол. ин-т АН СССР.

Шитиков В.К., Зинченко Т.Д., Розенберг Г.С. 2011. Макроэкология речных сообществ: концепции, методы, модели. Тольятти: Кассандра.

Chapman P.M., Anderson B., Carr S. et al. 1997. General guidelines for using the sediment quality triad // Mar. Poll. Bull. V. 34. P. 368.

Chen K.N., Bao C.H., Zhou W.P. 2009. Ecological restoration in eutrophic Lake Wuli: A large enclosure exper-

- iment // Ecological Engineering. V. 35. P. 1646. <https://doi.org/.ecoleng.2008.10.009>
<https://doi.org/10.1016/j>
- Clemente J.M., Boll T., Teixeira-de Mello F., Iglesias C. et al.* 2019. Role of plant architecture on littoral macroinvertebrates in temperate and subtropical shallow lakes: a comparative manipulative field experiment // *Limnetica*. V. 38(2). P. 759.
- Coleman N., Cuff W., Moverley J. et al.* 2007. Depth, sediment type, biogeography and high species richness in shallow water benthos // *Mar. Freshwater Res.* V. 58. P. 293.
- Covich A.P., Palmer M.A., Crowl T.A.* 1999. The role of benthic invertebrate species in freshwater ecosystems: Zoobenthic species influence energy flows and nutrient cycling // *BioScience*. V. 49. P. 119. <https://doi.org/10.2307/1313537>
- Edington J.M., Hildrew A.G.* 1995. A Revised Key to the Caseless Caddis Larvae of the British Isles with Notes on Their Ecology. Ambleside, Cumbria. Freshwater Biological Association Scientific Publications. № 53.
- Ekingen P., Kazanci N.* 2021. Environmental factors affecting distribution of caddisfly (trichoptera) larvae in mountain streams of northeastern Turkey // *Inland Water Biol.* V.14. № 5. P. 581–589. <https://doi.org/10.1134/S1995082921050047>
- Gong Z., Xie P., Wang S.* 2000. Macrozoobenthos in 2 shallow, mesotrophic Chinese lakes with contrasting sources of primary production // *J. North Am. Benthol. Soc.* V. 19. P. 709.
- Greig-Smith P.* 1983. Quantitative plant ecology. Oxford: Blackwell.
- Laine A.O.* 2003. Distribution of soft-bottom macrofauna in the deep open Baltic Sea in relation to environmental variability // *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. V. 57. P. 87.
- Olenin S.* 1997. Benthic zonation of the Eastern Gotland Basin. Netherlands // *J. Aquat. Ecol.* V. 30. № 4. P. 265.
- Reynoldson T.B., Bailey R.C., Day K.E., Norris R.H.* 1995. Biological guidelines for freshwater sediment based on Benthic Assessment of Sediment (BEAST) using a multivariate approach for predicting biological state // *Austr. J. Ecol.* V. 20. P. 198.
- Saxena S.* 2014. The Role of Benthic Invertebrate Species in Freshwater Ecosystem Zoobenthic species influence energy flows and nutrient cycling in Shahpura Lake, Bhopal (M.P.) // *Int. J. Adv. Res.* V. 8. P. 686.
- Timm H.* 2015. Eesti sisevete suurselgrootute määraja. Identification guide to freshwater macroinvertebrates of Estonia. Tartu: KUMA Kirjastus.
- Vanni M.J.* 2002. Nutrient cycling by animals in freshwater ecosystems // *Annual Review of Ecology and Systematics*. V. 33. P. 341. <https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.33.010802.150519>
- Wallace I.D., Wallace B., Philipson G.N.* 1990. A key to the case-bearing caddis larvae of Britain and Ireland. Ambleside, Cumbria. Freshwater Biological Association Scientific Publication № 51. P. 237.
- Zhang M., Cai Q., Tang T. et al.* 2011. Macrozoobenthos community structure and its spatial distribution in Erhai watershed lakes // *Chinese J. Ecol.* V. 30. № 8. P. 1696.
- Zhang Z.X., Chen X., Xu C.Y. et al.* 2015. Examining the influence of river lake interaction on the drought and water resources in the Poyang Lake basin // *J. Hydrol.* V. 522. P. 510. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.01.008>

Seasonal Changes in the Spatial Structure of Zoobenthos in Lake South Volos (Belarus)

I. I. Lapuka*

Scientific and Practical Centre of the National Academy of Sciences of Belarus on Bioresources, Minsk, Republic of Belarus

*e-mail: ilya.lapuka@yandex.ru

The spatial structure of the zoobenthos in Lake South Volos studied in the different seasons of the year. The types of the seasonal distribution total abundance and biomass of macrozoobenthos, its main taxonomic groups and individual species, related with key environmental factors (dissolved oxygen and temperature). There are two peaks of quantitative metrics of zoobenthos. The first peak was due to macrophytes, where *Dreissena polymorpha*, *Asellus aquaticus* and different types of chironomids dominated on all seasons. The second peak was due to development of relict crustacean *Monoporeia affinis*.

Keywords: zoobenthos, spatial structure, seasonal changes, abundance, biomass