

^{1,3}М.В. Косова, ¹О.Ю. Деревенская, ²Е.Н. Унковская,
³Н.В. Шурмина, ³Ф.М. Мухаметзянова

¹Казанский (Приволжский) федеральный университет, mary.burunina96.5@yandex.ru

²Волжско-Камский государственный природный биосферный заповедник

³Институт проблем экологии и недропользования АН РТ

СЕЗОННАЯ И МЕЖГОДОВАЯ ДИНАМИКА ХАРАКТЕРИСТИК ЗООПЛАНКТОННОГО СООБЩЕСТВА ЗАРАСТАЮЩЕГО ВОДОЕМА (НА ПРИМЕРЕ ОЗЕРА ИЛАНТОВО ВОЛЖСКО-КАМСКОГО ЗАПОВЕДНИКА)

Представлены результаты сезонных гидрохимических и гидробиологических исследований озера Илантово, расположенного на территории Волжско-Камского государственного природного биосферного заповедника. Рассмотрено распределение беспозвоночных организмов в литорали и пелагиали озера, влияние высшей водной растительности на формирование сообществ зоопланктона и сезонная изменчивость его структурных показателей. Таксономический состав зоопланктона озера насчитывал 110 видов и в основном был представлен коловратками. В зарослях макрофитов отмечен 41 вид фитофильного зоопланктона. В различных по видовому составу зарослях зоопланктоценозы имеют относительно низкое видовое сходство. В литоральной части отмечены высокое видовое разнообразие, но низкие численность и биомасса сообществ зоопланктона по сравнению с пелагиалью. Существенные колебания численности и биомассы зоопланктона обусловлены массовым развитием отдельных видов, особенно при благоприятных гидротермических условиях. С увеличением трофического статуса озера индекс видового разнообразия зоопланктона снижается.

Ключевые слова: зоопланктон; структура; видовое разнообразие; высшая водная растительность; трофность; Волжско-Камский заповедник.

DOI: <https://doi.org/10.24852/2411-7374.2023.4.50.59>

Введение

Одной из основных задач заповедных территорий является изучение естественного хода природных процессов, в том числе связанных с изменением гидрологического режима.

Заболачивающееся озеро Илантово входит в систему 12 разнотипных озер, расположенных на территории Волжско-Камского государственного природного биосферного заповедника (Республика Татарстан). По происхождению оно является суффузионным. По версии А.С. Тайсина (2006), озеро относительно молодое, возникло на месте заболоченного леса путём просадки грунта (о чем свидетельствуют многочисленные пни). Заросшая макрофитами часть водоема глубиной менее 0.5 м занимает больше половины площади, что скорее напоминает озеро-болото. Одновременно с заилением происходит опускание отдельных участков дна, в открытой части ранее фиксировались ямы глубиной до 3.0 м. Мощность донных отложений озера достигает 1.2–1.3 м, часть из них представлена глинистым аллювием – показателем связи с рекой Сумка в период разлива (Тайсин, 2006).

Питание оз. Илантово осуществляется в весенний период поверхностным стоком талых вод, в летний – исключительно атмосферными осадками. После вскрытия озера во второй половине апреля вода в нем быстро прогревается, и уже в конце второй декады июня максимальная температура воды может достигать 29 °С. Вода в озере не стратифицирована. Уровень воды обычно понижается в августе-сентябре на 0.2 м и более вследствие испарения с поверхности на фоне недостаточного количества выпадающих осадков.

Площадь озера (без заболоченных участков в северо-восточной части) составляет 4.8 га, максимальная глубина 2.5 м отмечена в северной части, средняя не превышает 0.66 м. Водоем характеризуется присутствием различных экотопов, которые представлены детерминированными биоценозами.

В 1970–1990 гг. озеро испытывало хроническое загрязнение из-за поступления сточных вод с территории зверосовхоза «Раифский». Нарушились процессы самоочищения озера, отмечались признаки деградации экосистемы (Косова

и др., 2021).

Донные отложения литоральной части озера сформированы мелкопесчанистым серым илом с преобладанием тонкой пелитовой фракции, включающей полуразложившиеся остатки высших водных растений, зоопланктона и диатомовых водорослей рода *Diatoma*. Глубоководная часть водоема (до 2.5 м) – пелагиаль, представлена зеленовато-серым мелкоалевритовым илом, состоящим из тонкого детрита водорослей (Шерышева и др., 2011).

В середине июня начинается интенсивное развитие высшей водной растительности, которая на 65–70% покрывает водное зеркало (рис. 1). В северо-западной части озера свободно от зарослей макрофитов. Здесь нет возможности для прикрепления корневищ кубышки желтой (*Nuphar lutea* (L.) Smith), которая занимает ведущую роль в фитоценозе оз. Илантово.

Значительную часть акватории занимают другие представители гидрофлоры: рдест пронзеннолистный (*Potamogeton perfoliatus* L.), кувшинка белоснежная (*Nymphaea candida* J. Presl), элодея канадская (*Elodea canadensis* Michx.), роголистник погруженный (*Ceratophyllum demersum* L.). В литоральной части представлены другие виды: тростник обыкновенный (*Phragmites communis* Trin.), сальвиния плавающая (*Salvinia natans* (L.) All.), водокрас обыкновенный (*Hydrocharis morsur-ranae* L.), рогоз узколистный (*Typha angustifolia* L.), осоки (*Carex rostrata* Stokes, *C. acuta* L.), ряски (*Lemna minor* L., *L. trisulca* L.) (Шерышева и др., 2011).

Мониторинговые исследования зоопланктона оз. Илантово проводятся сотрудниками Волжско-Камского заповедника с 1984 г. Также имеются отдельные публикации по таксономическому составу фитофильного комплекса зоопланктона (Мухортова и др., 2012), структурным характеристикам сообщества зоопланктона в межгодовой динамике (Деревенская и др., 2016; Косова и др., 2021). Малоисследованными остаются фауна коловраток и ракообразных, сезонная и многолетняя динамика количественных показателей зоопланктона разных биотопов озера.

Цель исследования – выявить структуру сообществ зоопланктона оз. Илантово в сезонной и межгодовой динамике для различных биотопов (литораль, пелагиаль, заросли макрофитов).

Материалы и методы исследования

Периодичность гидробиологических отборов отличалась по годам. В 2019 г. пробы зоопланктона отбирали однократно в начале июля с 9 станций. Среди них мониторинговые станции за-

поведника (ст. 1, ст. 2), станции, расположенные в сообществах высших водных растений: ст. 3 – заросли кубышки и элодеи, ст. 4 – заросли элодеи, ст. 5 – заросли кубышки, ст. 6 – заросли рдеста; а также станции, расположенные в прибрежной зоне в зарослях макрофитов, но без выраженного доминирования (ст. 7–9). Станция 7 расположена в юго-восточной части озера в 5 м от берега, в зарослях тростника, элодеи, сальвинии и роголистника, станция 8 – в восточной части озера в 2 м от берега, в ассоциации роголистника, элодеи, осоки ср. Станция 9 расположена в северо-восточной части озера в 3 м от берега, представлена ассоциациями тростника, водокраса, элодеи и осоки ср. (рис. 2).

В 2020 г. пробы отбирали в начале июля с одной контрольной станции (ст. 2), в 2021–2022 гг. – с двух контрольных станций: в литорали (ст. 1) и пелагиали (ст. 2) на протяжении всего вегетационного периода подекадно (с мая по сентябрь в 2021 г. и с июня по сентябрь в 2022 г., соответственно). В литорали пробы зоопланктона отбирали путем процеживания 50 л воды через сеть Апштейна. В пелагиали облавливали весь столб воды при помощи сети Джеди (размер ячеи 90 мкм, диаметр входного отверстия 12 см). Камеральную обработку проб проводили согласно общепринятым гидробиологическим методикам (Методические ..., 1982). Пробы зоопланктона просматривали под микроскопом Биолам и Микромед, встреченные организмы определяли до вида (в некоторых случаях до подвида) по определителям (Алексеев и др., 2010; Кутикова, 1970). Планктонные виды рода *Synchaeta* в просмотренных пробах были редки и не всегда определимы до вида, так как требуют идентификации *in situ*. Всего было



Рис. 1. Заросли макрофитов в оз. Илантово (фото М.В. Косовой)

Fig. 1. Macrophyte thickets in Ilantovo lake (photo by M.V. Kosova)

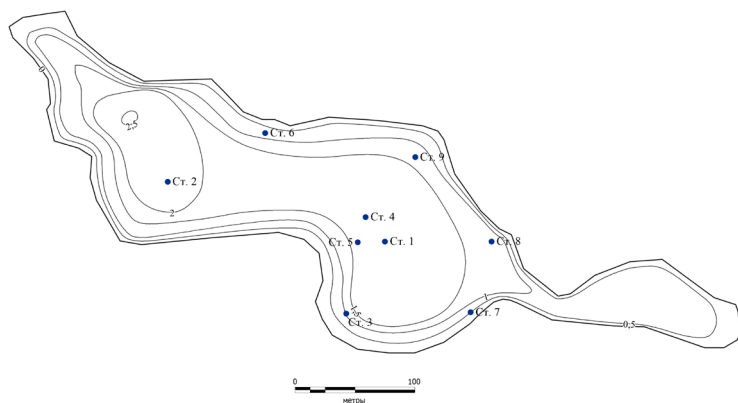


Рис. 2. Схема-карта расположения станций отбора в оз. Илантово
Fig. 2. Schematic map of the location of sampling stations in Ilantovo lake

отобрано и обработано 30 количественных проб зоопланктона.

Для оценки степени разнообразия и сложности сообществ зоопланктона использовали индекс Шеннона (рассчитанный по биомассе). Определяли индекс доминирования Симпсона (Макрушин и др., 1976). Степень сходства видового состава сообществ зоопланктона оценивали по коэффициенту Серенсена-Чекановского. Определяли трофическое состояние озера по биомассе зоопланктона (Китаев, 1984) и по индексу Карлсона (TSI), рассчитанному по величине прозрачности. Кластерный анализ проводили методом одиночной связи, используя в качестве меры евклидово расстояние.

Параллельно были отобраны гидрохимические пробы. Пробы воды отбирали на контрольных станциях в июле 2019–2020 гг., в мае–сентябре 2021 г. и в июне–сентябре 2022 г. Отбор гидрохимических проб проводился из поверхностного и придонного горизонтов; всего обработано 14 проб по 24 показателям. При отборе гидрохимических проб фиксировали физические показатели воды *in situ*: прозрачность (по диску Секки), температуру по горизонтам. Гидрохимические исследования выполнены по стандартным методикам. Тип воды определялся по шкале О.А. Алекина (Алекин, 1970). Оценка качества воды выполнена в соответствии с РД 52.24.643–2002 по обязательному перечню из 15 загрязняющих веществ с включением 3 специфических показателей, имеющих локальное значение (рН, фосфат-ионы, сероводород и сульфиды).

Результаты и их обсуждение

По результатам гидрохимических исследований вода в озере относилась к гидрокарбонатному классу кальциевой группы второго типа,

сумма главных ионов (минерализация) в сезонной и межгодовой динамике варьировалась от 31.7 до 121.4 мг/дм³. Среднегодовые концентрации анионов увеличивались с 2019 по 2022 гг. и составляли: HCO_3^- 27.5–62.1 мг/дм³, SO_4^{2-} 1.2–10 мг/дм³, Cl^- 0.3–10 мг/дм³ при постоянных значениях катионов: Ca^{2+} 7.8 мг/дм³ и Mg^{2+} 3.3 мг/дм³.

Водородный показатель соответствовал нейтральной реакции среды (6.7–7.3 ед. рН), только в осенний период снижаясь до слабокислой – 5.9. Общая жесткость соответствовала категории «мягкая» по всей толще воды, изменяясь в диапазоне 0.49–1.01 ммоль/дм³.

Газовый режим характеризовался нормальным насыщением кислорода. В поверхностных слоях содержание растворенного кислорода изменялось в пределах 7.3–8.7 мг/дм³ (95.5–112.6% насыщения), снижалось до 2.7–5.5 мг/дм³ (46.2–57.5% насыщения) в придонных слоях. Накопления на дне сероводорода и сульфидов не выявлено (<0.002 мг/дм³).

Уровень биогенной нагрузки и количество органических веществ (по величине БПК₅ и ХПК) различались по сезонам и в межгодовой динамике. Величина БПК₅ составляла в среднем 4.14 мгО₂/дм³ у поверхности и 5.61 мгО₂/дм³ у дна (2–2.8 ПДК_{рх}), ХПК составляло, соответственно, 47.2 и 55.0 мг О/дм³ (табл. 1). За весь период исследований максимальные значения показателей содержания органических веществ (БПК₅ 8.0 мгО₂/дм³, ХПК 80.0 мг О/дм³) были отмечены в августе 2022 г.

Среди биогенных элементов среднегодовые концентрации нитритов и нитратов не превышали 0.02 мг/дм³ и 0.7 мг/дм³, соответственно. Концентрация ионов аммония составляла в поверхностных слоях 0.05–0.73 мг/дм³, в придонных – 0.05–0.78 мг/дм³ (до 1.6 ПДК_{рх}). Концентрация фосфат-ионов практически всегда во всей толще составляла 0.05 мг/дм³, и только в июле 2020 г. в придонных слоях достигала 0.74 мг/дм³ (1.2 ПДК_{рх}).

За период наблюдений в воде озера фиксировались превышения рыбохозяйственных нормативов по марганцу – 3.5–9.9 ПДК, железу общему – 1.4–4.4 ПДК, меди – 1.9–5.3 ПДК; концентрации цинка, никеля, свинца не превышали допустимых.

Результаты расчета удельного комбинаторного индекса загрязненности воды (УКИЗВ) показали, что качество воды в оз. Илантово соответствова-

Таблица 1. Содержание органических и биогенных веществ в оз. Илантово
Table 1. Content of organic and biogenic substances in Ilantovo lake

Горизонт Horizon	pH	БПК ₅ , мгО ₂ /дм ³ BOD ₅ , mgO ₂ /dm ³	ХПК, мгО/дм ³ COD, mgO/dm ³	NH ₄ ⁺ , мг/дм ³ mg/dm ³	NO ₂ ⁻ , мг/дм ³ mg/dm ³	NO ₃ ⁻ , мг/дм ³ mg/dm ³	PO ₄ ³⁻ , мг/дм ³ mg/dm ³	Fe общ., мг/дм ³ Fe total, mg/dm ³
Поверхность Surface	6.0-7.3* 6.7±0.1	1.4-7.9 4.1±2.1	33.7-67.0 47.2± 4.0	0.05-0.73 0.27± 0.07	0.02-0.03 0.02±0.0	0.10-0.79 0.45±0.09	0.05-0.05 0.05±0.0	0.15-1.02 0.58±0.08
Глубина 1.5-2.0 м Depth 1.5-2.0 m	5.9-6.9 6.4±0.1	4.0-8.0 5.6±0.5	38.8-80.0 55.0± 5.4	0.05-0.78 0.35± 0.09	0.02-0.02 0.02±0.0	0.10-0.93 0.51±0.11	0.05-0.74 0.14±0.09	0.10-2.80 1.08±0.29

Примечание: числитель – минимальные и максимальные значения, знаменатель – среднее ± ошибка средней (n=14)
Note: numerator – minimum and maximum values, denominator – mean ± mean error (n=14)

ло 2 классу «слабо загрязнённая». Коэффициент комплексности загрязнённости изменялся от 23.5 до 52.9%. Критических показателей загрязнённости ($S_{ij} > 9$) не отмечено. Экстремально высокий уровень загрязнённости был отмечен по таким показателям как БПК₅, ХПК, железо общее, фенолы, медь и марганец, средний уровень загрязнённости – по аммонии и растворенному кислороду. По повторяемости случаев загрязнённости загрязнённость воды по всем рассматриваемым ингредиентам определялась как «характерная».

Озеро Илантово отличается относительно богатой фауной зоопланктона. За период исследования в озере было встречено 110 видов. В 2006 г. такое же высокое видовое разнообразие зоопланктона озера отмечала О.В. Мухортова (Мухортова и др., 2012). Более половины – 74 вида (67%) составляют коловратки (Rotifera). Менее разнообразны по составу ветвистоусые

(Cladocera) и веслоногие (Copepoda) ракообразные – 24 вида (22%) и 12 видов (11%), соответственно.

Коловратки были представлены 2 отрядами и 17 семействами. Значительным разнообразием видов отличались семейства Synchaetidae (12), Trichocercidae (12) и Brachionidae (10). Постоянно из коловраток встречались *Asplanchna priodonta* (Gosse, 1850), *Brachionus angularis* (Gosse, 1851), *Keratella cochlearis* (Gosse, 1851), *Polyarthra dolichoptera* (Idelson, 1925), *Polyarthra major* (Burckhardt, 1900), *Trichocerca similis* (Wierzejski, 1893).

Ветвистоусые ракообразные принадлежали к 1 отряду и к 6 семействам. К семействам Chydoridae (10) и Daphniidae (8) относилось наибольшее число видов. Виды *Bosmina longirostris* (Muller, 1776), *Ceriodaphnia quadrangula* (Muller, 1785), *Leptodora kindtii* (Focke, 1844) отмечались

на протяжении всего периода исследований.

Наименее разнообразны веслоногие ракообразные, они относились к одному отряду и были представлены одним семейством – Cyclopidae (12). Наиболее часто встречались *Thermocyclops crassus* (Fischer, 1853) и *Thermocyclops oithonoides* (Sars, 1863).

В 2019 г. при изучении приуроченности видов зоопланктона к различным биотопам, в разных ассоциациях высшей водной растительности был выявлен 41 вид зоопланктона, в том числе 31 вид коловраток, 8 видов ветвистоусых и 2 вида веслоногих рачков. Фактор мелководности озера и наличие в нем высшей водной растительности влияют на формирование фитофильного

Таблица 2. Доминирующие виды зоопланктона в сообществах высших водных растений оз. Илантово в 2019 г.
Table 2. Dominant zooplankton species in higher aquatic plant communities of Ilantovo lake in 2019

Заросли макрофитов Macrophyte thickets	Доминантные виды Dominant species	
	по численности abundance	по биомассе biomass
Кубышка + элодея	<i>Gastropus hyptopus</i> <i>Asplanchna priodonta</i>	<i>Asplanchna priodonta</i>
Элодея	<i>Asplanchna priodonta</i> <i>Keratella cochlearis</i>	<i>Asplanchna priodonta</i>
Кубышка	<i>Keratella cochlearis</i> <i>Bosmina longirostris</i>	<i>Thermocyclops crassus</i> <i>Diaphanosoma brachyurum</i> (Lievin, 1848) <i>Bosmina longirostris</i> <i>Asplanchna priodonta</i>
Рдест	<i>Keratella cochlearis</i> <i>Gastropus hyptopus</i>	<i>Thermocyclops crassus</i> Копеподитные стадии (Copepoditii II)
Тростник + элодея + сальвиния + роголистник	<i>Syncheta</i> sp.	<i>Trichocerca cylindrica</i> (Inhof, 1891)
Осока + элодея + роголистник	Науплиальная стадия (Nauplii)	<i>Asplanchna priodonta</i> , <i>Thermocyclops crassus</i>
Тростник + водокрас + элодея + осока	<i>Keratella cochlearis</i>	<i>Thermocyclops oithonoides</i>

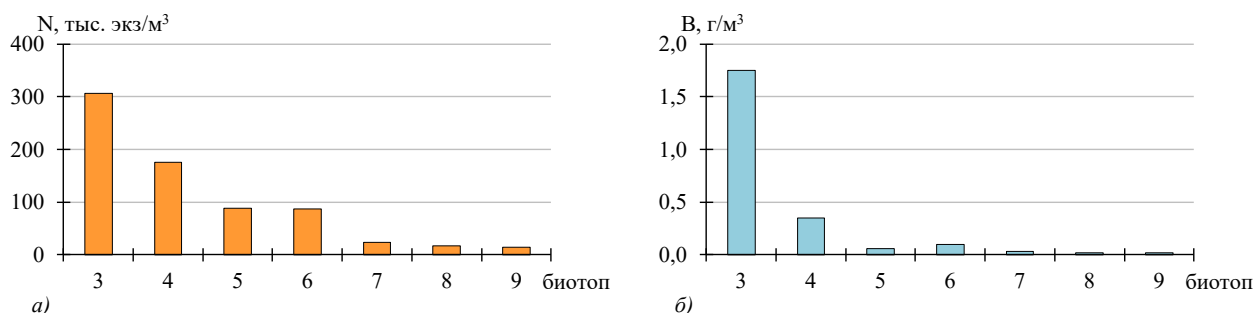


Рис. 3. Численность (N) (а) и биомасса (B) (б) зоопланктона в сообществах высшей водной растительности в 2019 г.: 3 – кубышка и элодея; 4 – элодея канадская; 5 – кубышка желтая; 6 – рдест пронзеннолистный; 7 – тростник, элодея, сальвиния и роголистник; 8 – осока, элодея и роголистник; 9 – тростник, водокрас, элодея и осока

Fig. 3. Zooplankton abundance (N) (a) and biomass (B) (b) in communities of higher aquatic vegetation in 2019: 3 – yellow water-lily and elodea; 4 – elodea; 5 – yellow water-lily; 6 – pondweed; 7 – reed, elodea, salvinia and hornwort; 8 – sedge, elodea and hornwort; 9 – reed, vodokras, elodea and sedge

зоопланктона и его разнообразие.

Для определения трофических групп организмов использовались классификации И.Ф. Кривенковой (Кривенкова, 2018), М.Г. Борисович и В.А. Яковлева (Борисович и др., 2011).

Основу трофической группы зоопланктона составляют вертикаторы: виды родов *Brachionus*, *Euchlanis*, *Keratella*, *Lecane*, *Polyarthra*, *Syncheta*, *Trichotria truncata* (Whitelegge, 1889), *Pompholix complanata* (Gosse, 1851), *Scaridium longicaudum* (Muller, 1786), *Lepadella rhomboides* (Gosse, 1886), *Mytilina ventralis* (Ehrenberg, 1832), *Paradiceranophorus hudsoni* (Glascott, 1893), *Platyias quadricornis* (Ehrenberg, 1832), *Eudactylota eudactylota* (Gosse, 1886), *Gastropus hyptopus* (Ehrenberg, 1838), *Conochilus unicornis* (Rousselet, 1892). Хвататели-всасыватели родов *Cephalodella*, *Trichocerca*. Первичные фильтраторы: *Bosmina longi-*

rostris (Muller, 1776) и *Ceriodaphnia quadrangula* (Muller, 1785). Присутствовали также вторичные фильтраторы: *p. Alona*, *Disparalona rostrata* (Koch, 1841), *Graptoleberis testudinaria* (Fischer, 1848), *Pleuroxus truncatus* (Muller, 1785). Хвататели – рачки рода *Thermocyclops* и хвататели-всасыватели – *Asplanchna priodonta* (Gosse, 1850).

Наибольшее разнообразие видов было в зарослях кубышки желтой (20%), наименьшее – в зарослях тростника, элодеи, сальвинии и роголистника (10%). Состав доминирующих комплексов видов, ассоциированных с различными фитоценозами приведен в таблице 2.

Отмечалась высокая численность организмов, обитающих в зарослях макрофитов. Особенно высока численность была у *Gastropus hyptopus* и *Asplanchna priodonta*, последний является одним из массовых видов, часто доминирует по биомассе. Это связано с их хорошей пищевой обеспеченностью, коловратки рода *Asplanchna* могут питаться как фитопланктоном, так и другими коловратками. Количественные характеристики гидробионтов отображены на рисунке 3.

В ассоциациях высших водных растений разных видов складываются различные условия для обитания зоопланктона, и это оказывает существенное влияние на видовое богатство и количественные показатели сообществ, обитающих в разных биотопах, но в пределах одной водной экосистемы. Коэффициент Серенсена-Чекановского выявил невысокую степень сходства видового состава зоопланктона в разных ассоциациях растений и изменялся от 34% до 67%. Наибольшее сходство по составу видов было выявлено для зарослей кубышки желтой и рдест пронзеннолистного (67%) (рис.4).

Зоопланктон зарослей макрофитов (литораль) отличался по видовому составу от незаросших

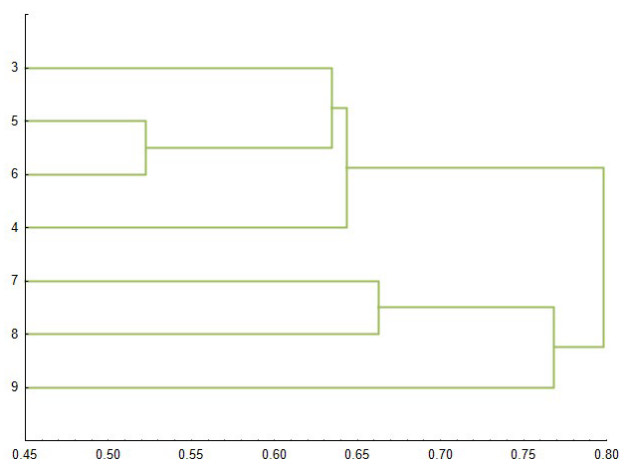


Рис. 4. Дендрограмма видового сходства фитофильного комплекса зоопланктона оз. Илантово. Нумерацию зарослей макрофитов см. на рисунке 3

Fig. 4. Dendrogram of species similarity of the phytophilic zooplankton complex of Ilantovo lake. Numbering of macrophyte thickets as in figure 3

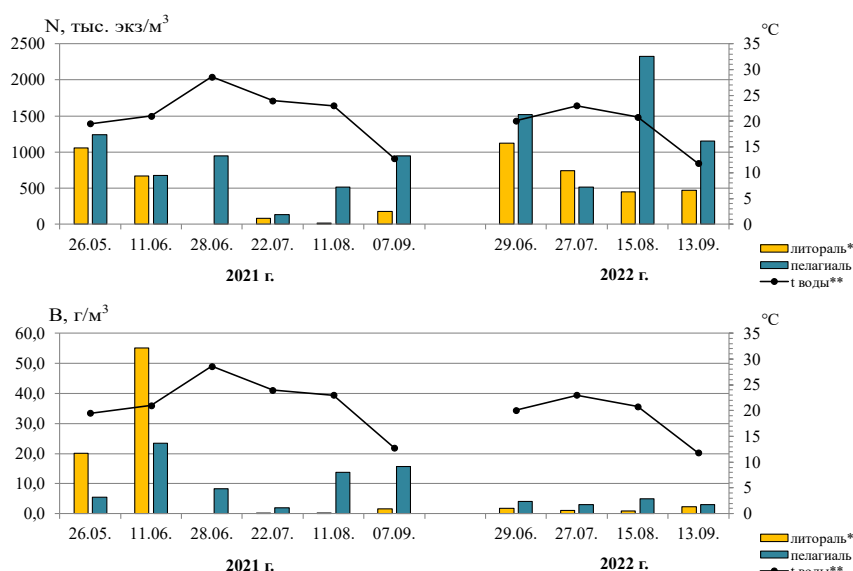


Рис. 5. Сезонная межгодовая динамика численности (N , тыс. экз./м³) (а) и биомассы (B , г/м³) (б) зоопланктона оз. Илантово

* не отражены количественные показатели от 28.06.2021 г.;

** температура воды в пелагиали – усредненная по всему столбу воды

Fig. 5. Seasonal interannual dynamics of zooplankton abundance (N , ths. sp./m³) (a) and biomass (B , g/m³) (b) of Ilantovo lake

* quantitative indicators from 28.06.2021 are not reflected;

** water temperature in pelagial – averaged over the whole water column

участков водоёма (пелагиаль). Степень видового сходства организмов составляет 60%. В литоральной части озера обитает 86% (95) от общего числа встреченных за все время исследования видов зоопланктона. В пелагиали – 52% (57 видов). Учитывая этот факт, становится ясной причина отрицательной связи между числом видов зоопланктона и глубиной озера (Семенченко, 2013). Многие авторы напрямую связывают высокое видовое богатство зоопланктона в озере с хорошо развитой водной растительностью (Зимбалева, 1987; Мухортова, 2007).

В литоральной зоне оз. Илантово создаются особые условия для развития зоопланктона. Высокое функциональное и видовое разнообразие сообщества в мелководной зоне складывается благодаря гетерогенности среды (морфология дна, наличие разнообразной водной растительности). К тому же в литорали сконцентрировано большое количество мальков и молоди рыб, что чаще всего является значимым фактором в распределении зоопланктона в озерных экосистемах (Семенченко, 2013). В открытой части водоёма, пелагиали, показатели температурного и гидрохимического режимов поверхностных и придонных слоев воды отличаются. Наличие даже небольшой глубины в пелагиали приводит к меньшему прогреву воды по сравнению с литоральной частью озера. Имеются данные, которые указывают

на достоверную связь числа видов зоопланктона, обитающего в пелагиали, с прозрачностью, глубиной и площадью озера (Семенченко и др., 2003).

Сезонная динамика количественных показателей зоопланктона была различна. С наступлением благоприятных гидротермических условий весеннего периода в 2021–2022 гг. происходило увеличение численности организмов, начиная со второй половины мая и до второй половины июня во всех рассматриваемых биотопах. Минимум численности приходился на вторую половину июля (рис. 5). В сентябре отмечался осенний подъем численности организмов.

Несмотря на сходную динамику количественных показателей на протяжении вегетационных периодов 2021–2022 гг., между ними есть и существенные отличия. В 2022 г. значения численности и биомассы были чрезвычайно низкими (рис. 5). Вероятно, определенную роль могло сыграть и повышение минерализации воды в озере. В целом, для сообществ зоопланктона оз. Илантово характерны периодические и обычно кратковременные увеличения численности отдельных видов зоопланктона, приводящие к росту суммарных значений количественных показателей. Обычно эти виды являлись доминирующими (табл. 3). Массовые вспышки численности отдельных видов имели место главным образом при повышении температуры воды и в целом характерны для эвтрофных озер.

В литорали озера в 2021 г. можно увидеть ярко выраженную сезонную смену по схеме: коловратки – ветвистоусые – веслоногие рачки. По численности и биомассе обычно доминировали коловратки, среди них наиболее часто встречаемый вид – *A. priodonta*.

В оз. Илантово сильно выражена горизонтальная неоднородность в распределении зоопланктона как по видовому составу, так и по количественным характеристикам. Значения численности и биомассы зоопланктона в литоральной зоне намного ниже, чем в пелагической (рис. 5). Одним из факторов, сдерживающих развитие зоопланктона в литорали, может быть эффект затенения, вызванный макрофитами и ограни-

Таблица 3. Виды-доминанты в оз. Илантово в 2021–2022 гг.
Table 3: Dominant species in Ilantovo lake in 2021–2022

Даты отбора проб Sampling dates	Доминантные виды Dominant species			
	по численности abundance		по биомассе biomass	
	литораль littoral zone	пелагиаль pelagial zone	литораль littoral zone	пелагиаль pelagial zone
2021				
26.05	<i>Keratella cochlearis</i> (39%)	<i>Keratella cochlearis</i> (74%)	<i>Conochilus unicornis</i> (70%)	<i>Conochilus unicornis</i> (55%)
11.06	<i>Conochilus unicornis</i> (30%)	<i>Keratella cochlearis</i> (27%) <i>Nauplii</i> (25%) <i>Conochilus unicornis</i> (21%)	<i>Conochilus unicornis</i> (99%)	<i>Conochilus unicornis</i> (98%)
28.06	–	<i>Gastropus hyptopus</i> (44%)	–	<i>Conochilus unicornis</i> (88%)
22.07	<i>Hexarthra mira</i> (Hudson, 1871) (51%)	<i>Asplanchna priodonta</i> (40%) <i>Nauplii</i> (25%)	<i>Asplanchna priodonta</i> (40%)	<i>Asplanchna priodonta</i> (64%)
11.08	<i>Bosmina longirostris</i> (21%)	<i>Asplanchna priodonta</i> (27%) <i>Trichocerca cylindrica</i> (25%)	<i>Polyphemus pediculus</i> (Linnaeus, 1761) (38%)	<i>Conochilus unicornis</i> (79%)
07.09	<i>Copepoditii</i> (I) (34%)	<i>Asplanchna priodonta</i> (40%)	<i>Euchlanis dilatata</i> (Ehrenberg, 1832) (35%)	<i>Conochilus unicornis</i> (78%)
2022				
29.06	<i>Keratella cochlearis</i> (29%) <i>Conochiloides natans</i> (30%)	<i>Keratella cochlearis</i> (36%)	<i>Asplanchna priodonta</i> (73%)	<i>Asplanchna priodonta</i> (71%)
27.07	<i>Gastropus hyptopus</i> (25%) <i>Keratella cochlearis</i> (20%)	<i>Nauplii</i> (24%)	<i>Polyphemus pediculus</i> (54%)	<i>Asplanchna priodonta</i> (57%)
15.08	<i>Nauplii</i> (38%)	<i>Keratella cochlearis</i> (48%)	<i>Asplanchna priodonta</i> (34%) <i>Trichocerca similis</i> (25%)	<i>Asplanchna priodonta</i> (76%)
13.09	<i>Asplanchna priodonta</i> (35%)	<i>Asplanchna priodonta</i> (35%)	<i>Asplanchna priodonta</i> (84%)	<i>Asplanchna priodonta</i> (84%)

Примечание: в скобках указан вклад вида в общую численность и биомассу; – не исследовались

Note: the contribution of the species to total abundance and biomass is given in parentheses; – not investigated

чивающий рост фитопланктона. Поэтому в литорали для коловраток, питающихся бактериями и водорослями, и рачков-фильтратов может быть меньше корма. Кроме того, рыбное население литоральной зоны может являться решающим биотическим фактором, определяющим динамику структурных показателей сообщества зоопланктона (Семенченко, 2013).

Оценка сложности структуры сообществ гидробионтов проводилась с использованием индекса видового разнообразия Шеннона. Различия в значениях индекса в разные даты более выражены для пелагиали, чем для литорали. Меньшие его значения характерны для пелагической части озера. Величина индекса Шеннона снижается по мере увеличения трофности водоема (по классификации С.П. Китаева), это было особенно характерно для летних месяцев, когда наблюдалось

массовое развитие отдельных видов. В это время отмечалось снижение индекса видового разнообразия, который учитывает выравненность видов. Сообщество зоопланктона в литорали более разнообразно, а структура более выровнена, что подтверждается и более высокими значениями индекса Шеннона (рис. 6).

Индекс доминирования Симпсона в 2021–2022 гг. во всех исследуемых биотопах был высоким, что обусловлено преобладанием нескольких видов. Исключением является май 2021 г., когда в пелагиали абсолютным монодоминантом выступала коловратка *Keratella cochlearis* (74%) (табл. 3).

Заключение

Озеро Илантово – мелководный, заболачивающийся и зарастающий водоем. Вода в озере

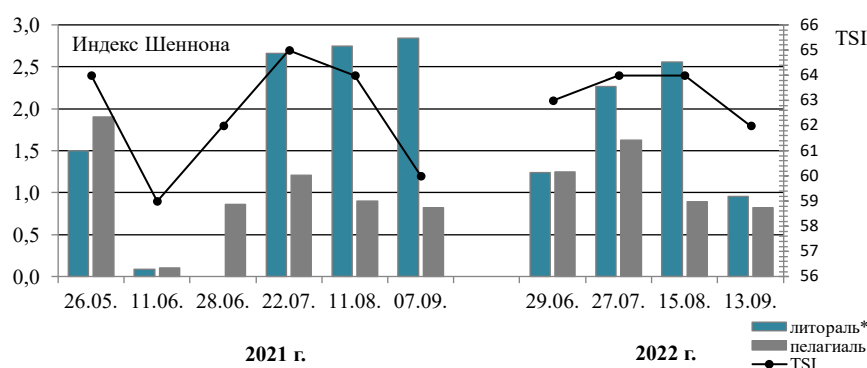


Рис. 6. Изменение значений индекса Шеннона и индекса Карлсона (TSI) в оз. Илантово

* не отражены количественные показатели от 28.06.2021 г.

Fig. 6. Variation of Shannon and Carlson indices (TSI) values in Ilantovo lake

* quantitative indices from 28.06.2021 are not reflected

относится к гидрокарбонатно-кальциевому типу с невысокой минерализацией, нормальным насыщением кислорода и нейтральной реакцией среды на протяжении большей части вегетационного периода. В придонных слоях воды отмечаются превышения предельно допустимых концентраций органических веществ, ионов аммония, фосфатов, а также марганца, меди и железа. По соотношению N/P и концентрациям в воде соединений азота и фосфора, а также по величине индекса Карлсона оз. Илантово характеризуется как эвтрофный водоем.

В зоопланктоне озера за период исследований (2019–2022 гг.) было выявлено 110 видов зоопланктона, из них Rotifera – 74 вида, Cladocera – 24 вида и 12 видов Copepoda. Высокое видовое богатство зоопланктона озера обусловлено его мелководностью, наличием зарослей высшей водной растительности и благоприятными гидротермическими условиями. Наиболее часто доминировали *Asplanchna priodonta*, *Conochilus unicornis* и *Keratella cochlearis*.

Зоопланктон зарослей макрофитов более разнообразен по составу, по сравнению с открытой частью акватории. В литоральной зоне озера обитает 86% от общего числа выявленных видов, в пелагиали – 52%. Кроме того, в зарослях разных видов макрофитов отмечено неодинаковое число видов зоопланктона, состав видов также различался. Наибольшее их разнообразие характерно для зарослей кубышки желтой (20%), наименьшее – для тростника, элодеи, сальвинии и роголистника (10%). Сходство состава зоопланктона, обитающего в зарослях разных видов макрофитов варьирует от 34% до 67%.

Анализ динамики количественных показателей зоопланктона в течение вегетационного периода показал, что их рост происходит по мере

наступления благоприятных гидротермических условий: со второй половины мая до второй половины июня. Минимум численности приходился на вторую половину июля. В сентябре отмечался осенний подъем численности и биомассы организмов. По величине биомассы зоопланктона оз. Илантово относится к эвтрофному типу.

Рост количественных показателей зоопланктона в пелагиали озера по сравнению с мелководными участками обусловлен средоформирующей функцией макрофитов: в литорали они создают эффект затенения, там снижается прозрачность воды и возможен пресс со стороны рыб. Одновременно в пелагиали были выявлены низкие значения индекса видового разнообразия, что связано с невысоким видовым богатством зоопланктона в придонных горизонтах вод, периодическим увеличением численности одного из видов, моно- доминированием.

Список литературы

1. Алекин О.А. Основы гидрохимии. Л.: Гидрометеиздат, 1970. 442 с.
2. Алексеев В.Р., Глаголев С.М., Добрынина Т.И., Котов А.А., Кутикова Л.А., Мазей Ю.А., Малявин С.А., Наумова Е.Ю., Синев А.Ю., Смирнов Н.Н., Степанова Л.А., Стойко Т.Г., Сухих Н.М., Телеш И.В., Фефилова Е.Б., Фильчаков В.А. Определитель зоопланктона и зообентоса пресных вод Европейской России. Т. 1. Зоопланктон. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2010. 495 с.
3. Борисович М.Г., Яковлев В.А. Трофическая структура зоопланктона разнотипных мелководий Волжского и Волжско-Камского плесов Куйбышевского водохранилища // Ученые записки Казанского университета. 2011. №2. С. 214–227.
4. Зимбалева Л.Н. Структура и сукцессия литоральных биоценозов днепровских водохранилищ. АН УССР, Ин-т гидробиологии. Киев: Наук. думка, 1987. 203 с.
5. Деревенская О.Ю., Унковская Е.Н. Структура сообществ зоопланктона озер Волжско-Камского заповедника // Труды Зоологического института РАН. 2016. №3. С. 294–303.
6. Китаев С.П. Экологические основы биопродуктивности озер разных природных зон. М.: Наука, 1984. 207 с.
7. Косова М.В., Деревенская О.Ю., Унковская Е.Н. Экологическое состояние озер Волжско-Камского государственного природного биосферного заповедника на основе биоиндикационного метода // Проблемы экологии Волжского бассейна «ВОЛГА-2021» // Материалы 6 всероссийской научной конференции. Нижний Новгород, 2021. №4. С. 1–3.
8. Кривенкова И.Ф. Значение фитофильного зоопланктона для экосистемы озера Кенон // Ученые записки Забайкальского государственного университета. 2018. №1. С. 60–65. Doi: 10.21209/2500-1701-2018-13- 1-60-65.

9. Кутикова Л.А. Коловратки фауны СССР (Rotatoria). Подкласс Eurotatoria (отряды Ploimida, Monimotrochida, Paedotrochida). Л.: Наука, 1970. 744 с.

10. Макрушин А.В., Кутикова Л.А. Сравнительная оценка методов Пантле и Букка в модификации Сладечека и Зелинки и Марвана для определения степени загрязнения по зоопланктону // Методы биологического анализа пресных вод. Л., 1976. С. 90–94.

11. Методические рекомендации по сбору и обработке материалов при гидробиологических исследованиях на пресноводных водоемах. Зоопланктон и его продукция. Л.: Зоол. ин-т АН СССР – ГосНИОРХ, 1982. 33 с.

12. Мухортова О.В. Видовое разнообразие зоофитоса разнотипных водоемов Самарской области и Татарстана // Актуальные вопросы изучения микро-, мейо- зообентоса и фауны зарослей пресноводных водоемов // Материалы I Международной школы-конференции. Нижний Новгород: Вектор ТИС, 2007. С. 206–210.

13. Мухортова О.В., Унковская Е.Н. Таксономический состав фитофильного комплекса зоопланктона, формирующегося в макрофитах озер Волжско-Камского государственного природного биосферного заповедника (Татарстан) // Известия Пензенского государственного педагогического университета имени В.Г. Белинского. 2012. № 29. С. 159–164.

14. РД 52.24.643-2002. Метод комплексной оценки степени загрязненности поверхностных вод по гидрохимическим показателям.

15. Семенченко В.П., Разлуцкий В.И., Бусева Ж.Ф., Палаш А.Л. Зоопланктон литоральной зоны озер разного типа. Минск: Беларуская навука, 2013. 172 с.

16. Семенченко В.П., Сушечня Л.М. Закономерности распределения зоопланктона в литоральной зоне эвтрофного озера // Доклады НАН Беларуси. 2003. № 6. С. 74–76.

17. Тайсин А.С. Озера Приказанского района, их природные и антропогенные изменения. Казань: Изд-во ТГГПУ, 2006. 167 с.

18. Шерышева Н.Г., Верховцева Н.В., Осипов Г.А., Унковская Е.Н. Бактериобентос пелагиали и зарослей высших водных растений озера Илантово (ВКГПБЗ, Татарстан) // Известия Самарского научного центра РАН. 2011. №1. С. 174–179.

References

1. Alekin O.A. Osnovy gidrokhimii [Basics of hydrochemistry]. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1970. 442 p.

2. Alekseev V.R., Glagolev S.M., Dobrynina T.I., Kotov A.A., Kutikova L.A., Mazej Yu.A., Malyavin S.A., Naumova E.Yu., Sinev A.Yu., Smirnov N.N., Stepanova L.A., Stojko T.G., Suhikh N.M., Telesh I.V., Fefilova E.B., Fil'chakov V.A. Opredelitel' zooplanktona i zoobentosa presnykh vod Evropejskoj Rossii [Determinator of zooplankton and zoobenthos of fresh waters of European Russia]. Vol. 1. Zooplankton. Moskva [Moscow]: Tovariščestvo nauchnykh izdanij KMK [KMK Scientific Press Ltd], 2010. 495 p.

3. Borisovich M.G., Yakovlev V.A. Troficheskaya struktura zooplanktona raznotipnykh melkovodij Volzhskogo i Volzhsko-Kamskogo plesov Kujbyshevskogo vodohranilishcha [Trophic structure of zooplankton of different types of shallow waters of the Volga and Volga-Kama splashes of the Kuibyshev reservoir] // Uchenye zapiski Kazanskogo universiteta [Scientific notes of Kazan University]. 2011. № 2. P. 214–227.

4. Zimbalevskaya L.N. Struktura i sukcesiya litoral'nykh biocenozov dneprovskikh vodohranilishch [Structure and succession of littoral biocenoses of Dnieper reservoirs]. Institut gidrobiologii [Institute of Hydrobiology]. Kiev: Naukova dumka, 1987. 203 p.

5. Derevenskaya O.Yu., Unkovskaya E.N. Struktura soob-

shchestv zooplanktona ozer Volzhsko-Kamskogo zapovednika [Structure of zooplankton communities in lakes of the Volzhsko-Kamsky Reserve] // Trudy Zoologicheskogo instituta RAN [Proceedings of the Zoological Institute RAS]. 2016. №3. P. 294–303.

6. Kitaev S.P. Ekologicheskie osnovy bioproduktivnosti ozer raznykh prirodnykh zon [Ecological bases of bioproductivity of lakes of different natural zones]. Moscow: Nauka, 1984. 207 p.

7. Kosova M.V., Derevenskaya O.YU., Unkovskaya E.N. Ekologicheskoe sostoyanie ozer Volzhsko-Kamskogo gosudarstvennogo prirodnogo biosfernogo zapovednika na osnove bioindikacionnogo metoda [Ecological state of lakes of the Volzhsko-Kamsky State Natural Biosphere Reserve on the basis of bioindication method] // Problemy ekologii Volzhskogo bassejna «VOLGA-2021» [Problems of ecology of the Volga basin «VOLGA-2021»]. Nizhny Novgorod, 2021. № 4. P. 1–3.

8. Krivenkova I.F. Znachenie fitofil'nogo zooplanktona dlya ekosistemy ozera Kenon [Importance of phytophilic zooplankton for the ecosystem of Lake Kenon] // Uchyonye zapiski Zabajkal'skogo gosudarstvennogo universiteta [Academic Notes of the Transbaikal State University]. 2018. № 1. P. 60–65. Doi: 10.21209/2500-1701-2018-13-1-60-65.

9. Kutikova L.A. Kolovratki fauny SSSR (Rotatoria). Podklass Eurotatoria (otryady Ploimida, Monimotrochida, Paedotrochida) [Rotifers of the fauna of the USSR (Rotatoria). Subclass Eurotatoria (orders Ploimida, Monimotrochida, Paedotrochida)]. Leningrad: Nauka, 1970. 744 p.

10. Makrushin A.V., Kutikova L.A. Sravnitel'naya ocenka metodov Pantle i Bukka v modifikacii Sladечeka i Zelinki i Marvana dlya opredeleniya stepeni zagryazneniya po zooplanktonu [Comparative evaluation of the Pantle and Bucca methods modified by Sladeczek and Zelinka and Marwan for determining the degree of pollution by zooplankton] // Metody biologicheskogo analiza presnykh vod [Methods of biological analysis of fresh water]. Leningrad, 1976. P. 90–94.

11. Metodicheskie rekomendacii po sboru i obrabotke materialov pri gidrobiologicheskikh issledovaniyakh na presnovodnykh vodoemakh [Methodological recommendations on collection and processing of materials for hydrobiological research in freshwater bodies]. Zooplankton i ego produkcija [Zooplankton and its production]. Leningrad, 1982. 33 p.

12. Muhortova O.V. Vidovoe raznoobrazie zoofitosa raznotipnykh vodoemov Samarskoj oblasti i Tatarstana [Species diversity of zoophytes of different types of water bodies of Samara region and Tatarstan] // Aktual'nye voprosy izucheniya mikro-, mejo- zoobentosa i fauny zaroslej presnovodnykh vodoemov [Actual issues of studying micro-, meio- and zoobenthos and fauna of freshwater bodies' thickets]. Nizhny Novgorod, 2007. P. 206–210.

13. Muhortova O.V., Unkovskaya E.N. Taksonomicheskij sostav fitofil'nogo kompleksa zooplanktona, formiruyushchegosya v makrofitakh ozer Volzhsko-Kamskogo gosudarstvennogo prirodnogo biosfernogo zapovednika (Tatarstan) [Taxonomic composition of phytophilic zooplankton formed in the macrophytes of the lakes of the Volga-Kama State Biosphere Reserve (Tatarstan)] // Izvestiya Penzenskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta imeni V. G. Belinskogo [Izvestia Penza State Pedagogical University named after V.G. Belinsky]. 2012. № 29. P. 159–164.

14. RD 52.24.643-2002. Metod kompleksnoj ocenki stepeni zagryaznennosti poverhnostnykh vod po gidrohimicheskimi pokazatelyam [Method of complex assessment of surface water pollution degree by hydrochemical indicators].

15. Semenchenko V.P., Razluckyj V.I., Buseva Zh.F., Palash A.L. Zooplankton litoral'noj zony ozer raznogo tipa [Zooplankton of littoral zone of lakes of different types]. Minsk: Belorusskaya navuka, 2013. 172 p.

16. Semenchenko V.P., Sushchenya L.M. Zakonomernosti raspredeleniya zooplanktona v litoral'noj zone evtrofnogo ozera [Regularities of zooplankton distribution in the littoral zone of a eutrophic lake] // Doklady NAN Belarus [Reports of the National Academy of Sciences of Belarus]. 2003. № 6. P. 74–76.

17. Tajsin A.S. Ozyora Prikazanskogo rajona, ih prirodnye i antropogennye izmeneniya [Lakes of Prikazansky district, their natural and anthropogenic changes]. Kazan' [Kazan], 2006. 167 p.

18. Sherysheva N.G., Verhovceva N.V., Osipov G.A., Unkovskaya E.N. Bakteriobentos pelagialy i zaroslej vysshih vodnyh rastenij ozera Ilantovo (VKGPBZ, Tatarstan) [Bacteriobenthos of pelagial and thickets of higher aquatic plants of Lake Ilantovo (VKSBNBZ, Tatarstan)] // Izvestiya Samarskogo nauchnogo centra Rossijskoj akademii nauk [News of Samara scientific center of the RAS]. 2011. No 1. P. 174–179.

Kosova M.V., Derevenskaya O.Yu., Unkovskaya E.N., Shurmina N.V., Mukhametzyanova F.M. **Seasonal and interannual dynamics of zooplankton community characteristics of an overgrowing water body (on the example of Ilantovo lake of the Volzhko-Kamsky Reserve).**

This article presents the results of seasonal hydrochemical and hydrobiological studies of Ilantovo lake, located on the territory of the the Volzhko-Kamsky State Natural Biosphere Reserve. The researchers examined the distribution of invertebrate organisms in different areas of the lake, specifically the littoral and pelagic zone. They also explored the influence of higher aquatic vegetation on zooplankton communities and the seasonal variability in their structure. The lake's zooplankton consisted of 110 species, primarily rotifers. There were identified 41 species of phytoplankton in macrophyte thickets. These thickets had different low species similarity among zooplankton communities. The littoral part of the lake showed high species diversity, but low abundance and biomass of zooplankton communities compared to the pelagic part. Significant fluctuations in zooplankton abundance and biomass are caused by mass development of some species, especially under favorable hydrothermal conditions. The index of zooplankton species diversity decreased with an increase in the lake's trophic status.

Keywords: zooplankton; structure; species diversity; higher aquatic vegetation; trophicity; Volzhko-Kamsky Reserve.

Раскрытие информации о конфликте интересов: Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов / Disclosure of conflict of interest information: The author claims no conflict of interest

Информация о статье / Information about the article

Поступила в редакцию / Entered the editorial office: 30.10.2023

Одобрено рецензентами / Approved by reviewers: 10.11.2023

Принята к публикации / Accepted for publication: 24.11.2023

Сведения об авторах

Косова Мария Владимировна, аспирант, Казанский (Приволжский) федеральный университет, 420008, Россия, г. Казань, ул. Кремлевская, 18; младший научный сотрудник, Институт проблем экологии и недропользования АН РТ, 420087, Россия, г. Казань, ул. Даурская, 28, E-mail: mary.burunina96.5@yandex.ru.

Деревенская Ольга Юрьевна, доктор биологических наук, профессор, Казанский (Приволжский) федеральный университет, 420008, Россия, г. Казань, ул. Кремлевская, 18, E-mail: oderevenskaya@mail.ru.

Унковская Елена Николаевна, старший научный сотрудник, заместитель директора по управлению, экологическому образованию и туризму, ФГБУ «Волжско-Камский государственный природный биосферный заповедник», 422537, Россия, Республика Татарстан, Зеленодольский р-н, пос. Садовый, ул. Вехова, 1, E-mail: l-unka@mail.ru.

Шурмина Надежда Васильевна, научный сотрудник, Институт проблем экологии и недропользования АН РТ, 420087, Россия, г. Казань, ул. Даурская, 28, E-mail: schurmina2015@yandex.ru.

Мухаметзянова Фания Максимовна, младший научный сотрудник, Институт проблем экологии и недропользования АН РТ, 420087, Россия, г. Казань, ул. Даурская, 28, E-mail: fania2691@gmail.com.

Information about the authors

Mariya V. Kosova, Postgraduate Student, Kazan (Volga) Federal University, 18, Kremlyovskaya Street, Kazan, 420008, Russia; Junior Researcher, Research Institute for Problem of Ecology and Mineral Water Use of Tatarstan Academy of Sciences, 28, Daur'skaya st., Kazan, 420087, Russia, E-mail: mary.burunina96.5@yandex.ru.

Olga Yu. Derevenskaya, D.Sc. in Biology, Professor, Kazan (Volga) Federal University, 18, Kremlyovskaya St. Kazan, 420008, Russia, E-mail: oderevenskaya@mail.ru.

Elena N. Unkovskaya, Senior Researcher, Deputy Director for Management, Environmental Education and Tourism, Volzhsko-Kamsky State Reserve, 1, Vekhova st, Sadvy vil., Zelenodolsky district, Republic of Tatarstan, 422537, Russia, E-mail: l-unka@mail.ru.

Nadezhda V. Shurmina, Researcher, Research Institute for Problem of Ecology and Mineral Water Use of Tatarstan Academy of Sciences, 28, Daur'skaya st., Kazan, 420087, Russia, E-mail: schurmina2015@yandex.ru.

Faniya M. Mukhametzyanova, Junior Researcher, Research Institute for Problem of Ecology and Mineral Water Use of Tatarstan Academy of Sciences, 28, Daur'skaya st., Kazan, 420087, Russia, E-mail: fania2691@gmail.com.

