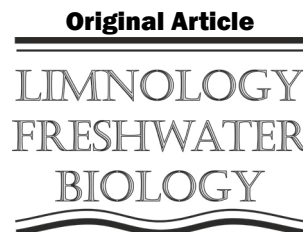


Biodiversity and structure of zooplankton communities in the Yantarnyi water-flooded quarry (Kaliningrad region, Russia)



Moiseenko V.V.^{1*}, Semenova A.S.^{1,2}

¹ GNC RF Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography, Atlantic Branch ("AtlantNIRO"), Dm. Donskoy st., 5, Kaliningrad, 236022, Russia

² Papanin Institute for Biology of Inland Waters, Russian Academy of Sciences, Yaroslavl region, Nekouzsky rayon, Borok, 152742, Russia

ABSTRACT. To study the biodiversity and quantitative development of zooplankton, in investigations were conducted in the Yantarnyi water-flooded quarry in Kaliningrad region in 2011 and 2023–2024. Due to its quarry origin, this water body has a relatively large surface area and high depth. The study included hydrochemical analysis of the water, determination of the taxonomic composition of zooplankton communities, their quantitative indicators, and calculation of the Shannon diversity index for areas with macrophytes and for open water. It was established that Cladocera dominate the quarry in terms of the number of species found, abundance, and biomass. Despite the small projective cover of aquatic vegetation, species diversity is higher in macrophyte stands due to a greater number of Rotifera species and species associated with these biotopes. Low mortality rates of zooplankton were recorded in the Yantarnyi water-flooded quarry, indicating favorable conditions for planktonic communities. This is confirmed by the results of hydrochemical analysis, which classify this water body as oligosaprobic.

Keywords: Yantarnyi quarry, zooplankton, Cladocera, Shannon index, mortality rates

For citation: Moiseenko V.V., Semenova A.S. Biodiversity and structure of zooplankton communities in the Yantarnyi water-flooded quarry (Kaliningrad region, Russia) // Limnology and Freshwater Biology. 2025. - № 5. - P. 1196-1211. DOI: 10.31951/2658-3518-2025-A-5-1196

1. Introduction

Currently, there are about 50 quarries in the Kaliningrad region for the extraction of mineral resources. After the depletion of the deposit, quarries are often filled with groundwater and become water bodies – water-flooded quarries. A total of 14 groups or individual water bodies formed in this way exist in Kaliningrad region (Moiseenko and Tsupikova, 2023). Among them, the Yantarnyi water-flooded quarry is the largest water body this origin in Kaliningrad region by surface area (Fig. 1).

This water body of amber quarry has existed since 1972. Its water surface area is 1.18 km², and the maximal depth is 28 m (Moiseenko and Tsupikova, 2019). These relatively large values are due not only to its artificial origin, but also to the specifics of amber deposit development, which requires greater depths and areas compared to sand and gravel quarries. Ecosystems of water bodies formed on former quarry sites are poorly studied or not studied at all due to their recent formation and absence from water registries. Consequently,

the study of biological diversity, structure, and quantitative indicators of zooplankton communities in this water body is particular interest.

The aim of this study was to investigate the features of biodiversity and structure of zooplankton communities in the Yantarnyi water-flooded quarry.

2. Materials and methods

Sampling was carried out during the growing season (from April to September) 2011, 2023 and 2024 according to the methodology (Methods..., 2024). Sampling stations were confined to open areas of the water surface (with depths of 0-3 m) and coastal areas of the quarry with macrophyte thickets (with depths of 0-2 m). A identification guide was used to identify zooplankton organisms (Zooplankton and Zoobenthos Determinant..., 2010). In order to estimate mortality rates of zooplankton (the proportion of dead individuals from the abundance/biomass of zooplankton), it was stained with aniline blue dye (Methods..., 2024).

*Corresponding author.

E-mail address: moiseenko@atlant.vniro.ru (V.V. Moiseenko)

Received: August 08, 2025; **Accepted:** October 19, 2025;

Available online: October 31, 2025

© Author(s) 2025. This work is distributed under the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License.





Fig.1. Location of the the Yantarnyi water-flooded quarry.

To assess the level of biological diversity of zooplankton communities, the Shannon Index was calculated using abundance of zooplankton (Shannon and Weaver, 1963; Andronikova, 1996). To determine the degree of organic contamination of water by zooplankton indicators, the Pantle-Buck saprobicity index (Pantle and Buck, 1955) was calculated in the Sládeček modification (Sládeček, 1973), saprobic valences of species were found according to literature data (Makrushin, 1974; Tsimdin, 1979; Ermolaeva and Dvurechenskaya, 2013). The similarity of planktonic communities in the studied reservoirs was estimated using cluster analysis of standardized and transformed data on the number of taxa by the Bray-Curtis coefficient (Clarke and Gorley, 2006). Simultaneously with the sampling of zooplankton at the same points and at the same depths, samples were taken for hydrochemical analysis, which included the determination of dissolved oxygen and BOD₅. In 2023-2024, a study of the chemical composition of waters (hardness, alkalinity, pH, bicarbonates, sulfates, chlorides, the amount of sodium and potassium), permanganate oxidability, biogenic elements (ammonium nitrogen, nitrites and nitrates, phosphorus phosphates) were conducted according to Alekin (1970), State Water Quality Control (2003).

3. Results

Oxygen conditions in the Yantarnyi water-flooded quarry are favorable, with water saturation ranging from 95% to 100%. A slight increase in dissolved oxygen content and an increase in BOD₅ were observed between 2011 and 2023-2024 (Fig. 2).

The content of biogenic nutrients, according to data obtained from previous studies, and does not exceed the maximum permissible concentrations (Moiseenko and Tsupikova, 2019). According to Alekin's classification (Alekin, 1970), the studied water has elevated mineralization and is bicarbonate-type. Based on total hardness classification, the water is categorized as soft (Table 1).

Unlike urban reservoirs, including those of quarry origin (Sevostyanova et al., 2025), there are no significant changes in zooplankton species diversity for the Yantarnyi quarry from 2011 to the 2020s.

A total of 33 zooplankton species were identified over the entire study period: 26 species in 2023-2024 and 24 species in 2011. Cladocera were represented by the highest number of species in all sampling years. Most species were palearctic, eurytopic and herbivores. The only exceptions are the predators *Leptodora kindtii* (Focke, 1844) and some species of Cyclopoida (Table 2).

The following species were the most abundant: *Kellicottia longispina* (Kellicott, 1879), *Daphnia galeata* (Sars, 1864) and juvenile Cyclopoida. The highest zooplankton abundance and biomass were recorded in 2024, dominated by juvenile copepods. In 2023, similar abundance levels were accompanied by lower biomass values due to the predominance of small-sized rotifer species, particularly the mass development of *Kellicottia longispina* (Kellicott, 1879), its abundance varied from 14 to 23 thousand individuals/m³, this species prefers cold, deep water bodies like the Yantarnyi quarry. In 2011, Copepoda dominated both in abundance and biomass (Fig. 3).

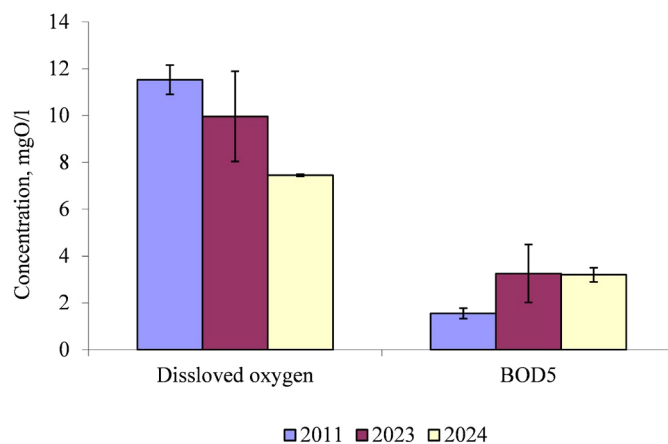


Fig.2. Dissolved oxygen content and BOD₅ value in the Yantarnyi water-flooded quarry.

Seasonal dynamics showed a significant increase in the proportion of copepods in both abundance and biomass during summer and mass development of cladocerans in autumn (Fig. 4).

Dead individuals were found in populations of 12 zooplankton species, primarily the most abundant and dominant rotifers and crustaceans. Mortality rates for individual species were low – the proportion of dead individuals ranged from 0.5% to 3.6% of abundance and from 0.4% to 3.4% of biomass. The highest mortality rates were recorded for *Bosmina longirostris*. In the open part of the water body, the lowest mortality rates were for copepods (0.65% and 0.74%), and the highest for rotifers (1.00% and 1.08%). In macrophyte stands, the lowest mortality rates were for rotifers (0.91% and 0.63%), and the highest for cladocerans (2.66% and 1.83%). Overall, in the open part, the proportion of dead individuals was 0.81% and 0.80%, and in macrophyte stands – 2.19% and 1.52% of zooplankton abundance and biomass, respectively.

4. Discussion

Studies on the chemical composition of technogenic water bodies show that their waters are often predominantly sulfate and bicarbonate (Afonina et al., 2022; Bazarova et al., 2023). The results for the Yantarnyi water-flooded quarry are consistent with these parameters. Despite its proximity to the Baltic Sea, the waters are not chloride-type, indicating weak marine influence on the ecosystem. Marine and brackish water species of zooplankton were not detected. To some extent, the detection of juvenile *Eurytemora* sp. is an exception, which may belong to *Eurytemora affinis* – widespread in brackish and marine waters, including the Baltic Sea and the Kaliningrad (Vistula) Lagoon. However, freshwater representatives also exist within this genus (e.g., *Eurytemora lacustris*), so until adult specimens are found and identified, the question remains open.

Table 1. Hydrochemical parameters of waters of the Yantarnyi water-flooded quarry

Name of the indicator	Concentration
Alkalinity, mg*eq/l	5.19
Hardness, mg*eq/l	2.5
pH	7.5
Hydrocarbonates, mg/l	317.0
Sulfates, mg/l	143.0
Chlorides, mg/l	34.4
Sum of sodium and potassium, mg/l	153.0
Mineralization, mg/l	649.0
Ammonium nitrogen, mg/l	0.02 ± 0.01
Nitrogen of nitrites, mg/l	0.004 ± 0.002
Nitrogen of nitrates, mg/l	< 0.001
Phosphorus of phosphates, mg/l	0.02 ± 0.10

Technogenic water bodies are also often characterized by wide pH ranges with alkaline or acidic waters, high concentrations of sulfates, bicarbonates, metals, and nutrients, which can potentially affect the diversity and quantitative development of zooplankton organisms (Sienkiewicz and Gąsiorowski, 2017; 2019; Pocięcha et al., 2018; Afonina et al., 2022). However, for water bodies formed on former clay, sand, and gravel quarries, water pH can be neutral or near-neutral (Sienkiewicz and Gąsiorowski, 2017).

The Yantarnyi water-flooded quarry lacks these characteristics since after amber extraction, no residues remain that could form toxic compounds upon interaction with water and air. Consequently, extreme values of the aforementioned indicators are absent, and water pH is neutral.

When forming the biota composition of a water-flooded quarry, species richness potential is influenced by both the biotic and abiotic conditions of the environ-

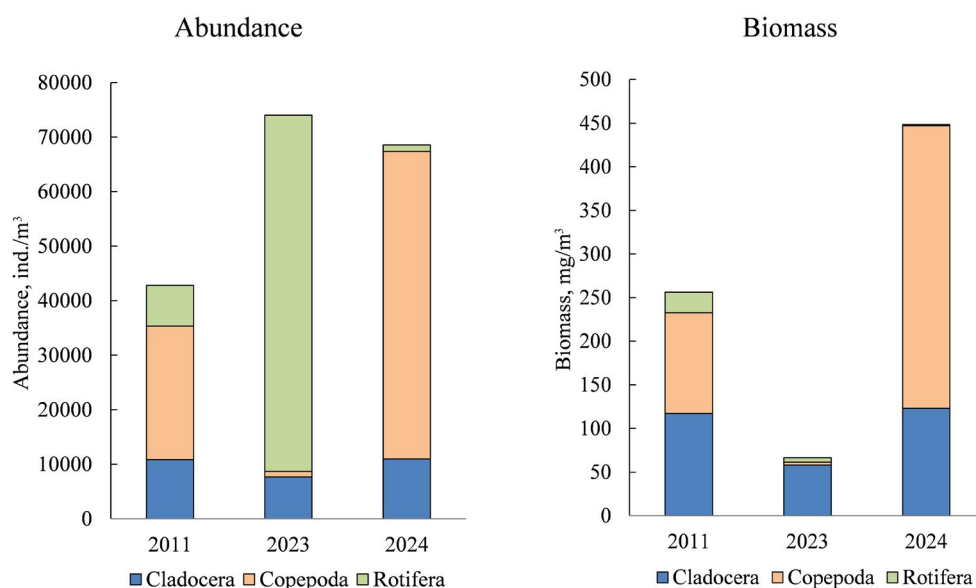


Fig.3. The structure of the abundance and biomass of zooplankton in the Yantarnyi water-flooded quarry in different years of research.

ment itself (which can promote or hinder colonization by new species through competition, predation, etc.) and the environmental conditions of the locality (De Meester et al., 2005).

The composition and structure of planktonic biocenoses in such water bodies are typically determined by a combination of complex biotic parameters, with a predominance of cosmopolitan species (Tashlykova et al., 2023). Generally, zooplankton in water-flooded quarries is characterized by low species richness, wide variation in quantitative indicators of aquatic organisms, and dominance of juvenile Cyclopoida stages in

the zoocenosis (Goździewska et al., 2021; Afonina, 2022). These characteristics consistent with the results obtained for the zooplankton of the Yantarnyi water-flooded quarry.

According to GOST 17.1.2.04-77 «Nature protection. The hydrosphere. Indicators of the condition and taxation rules of fisheries water bodies» in the Yantarnyi water-flooded quarry is oligosaprobe in most hydrochemical indicators (in terms of the content of nitrites, ammonium, phosphates). In terms of dissolved oxygen content and permanganate oxidizability, it is xenosaprobe, and in terms of BOD₅, it is alphamesaprobe.

Table 2. Species composition of zooplankton in the studied water body

Taxon	Species	Zoogeography	Saprobity	Biotope	2011	2023	2024	
Cladocera	<i>Acroperus harpae</i> (Baird, 1843)	C	1.4	L, Ph	-	-	+	
	<i>Alona affinis</i> (Leydig, 1860)	C	1.1	Ph	+	-	+	
	<i>Alona rectangula</i> (Sars, 1862)	C	1.3	Eut	-	+	+	
	<i>Alona quadrangularis</i> (Muller, 1776)	C	1.3	Ph, L	+	-	-	
	<i>Bosmina longirostris</i> (Müller, 1785)	C	1.55	Eut	+	+	+	
	<i>Ceriodaphnia quadrangula</i> (Müller, 1785)	C	1.15	Eut	+	-	-	
	<i>Chydorus sphaericus</i> (Müller, 1785)	C	1.75	Eut	+	+	+	
	<i>Daphnia cucullata</i> (Sars, 1862)		1.75	*	+	+	+	
	<i>Daphnia galeata</i> (Sars, 1864)	P	2	Pl	+	+	+	
	<i>Diaphanosoma brachyurum</i> (Liévin, 1848)	P	1.4	Bt,Ph	+	+	+	
	<i>Disparalona rostrata</i> (Koch, 1841)	H	1.3	*	+	-	-	
	<i>Eubosmina coregoni</i> (Baird, 1857)	P	0.95	*	+	-	+	
	<i>Leptodora kindtii</i> (Focke, 1844)	H	1.65	Pl	+	+	-	
	<i>Pleuroxus aduncus</i> (Jurine, 1820)		1.2	*	+	-	+	
	<i>Pleuroxus uncinatus</i> (Baird, 1850)	P		*	-	-	+	
	<i>Polyphemus pediculus</i> (Linnaeus, 1761)	H	1.3	L	+	-	+	
	<i>Scapholeberis mucronata</i> (Müller, 1776)	P	2	Bt,Ph	+	+	+	
	<i>Sida crystallina</i> (Müller, 1785)	P	1.3	Ph	+	-	-	
	Total Cladocera					15	8	13
	Copepoda	<i>Cyclops kolensis</i> (Lilljeborg, 1901)	P		Eut	-	-	+
<i>Eucyclops macrurus</i> (Sars, 1863)		P	1.4	*	+	+	+	
<i>Eudiaptomus gracilis</i> (Sars, 1863)		P	1.25	*	-	+	-	
<i>Eurytemora</i> sp.				*	+	-	-	
<i>Mesocyclops leuckarti</i> (Claus, 1857)		P	1.2	Eut	+	+	+	
<i>Thermocyclops oithonoides</i> (Sars, 1863)		P	1.3		+	+	-	
Total Copepoda					4	4	3	
Rotifera	<i>Asplanchna priodonta</i> (Gosse, 1850)	C	1.55	Eut	+	+	-	
	<i>Brachionus calyciflorus calyciflorus</i> (Pallas, 1776)		2.5	*	-	+	-	
	<i>Eosphora najas</i> (Ehrenberg, 1830)	P		Ph, L	-	-	+	
	<i>Kellicottia longispina</i> (Kellicott, 1879)	Г	1.25	Pl	-	+	+	
	<i>Keratella cochlearis</i> (Gosse, 1851)	C	1.15	Eut	+	+	-	
	<i>Keratella quadrata</i> (Müller, 1785)	C	1.55	Eut	+	+	+	
	<i>Polyarthra major</i> (Burckhardt, 1900)	H	1.2	Eut	+	+	-	
	<i>Synchaeta pectinata</i> (Ehrenberg, 1832)	C	1.65	Eut	+	-	-	
	<i>Trichocerca</i> sp.		1.6	*	-	-	+	
	Total Rotifera					5	6	4
Total					24	18	20	

Note: P – palearctic, H – holarctic, C – cosmopolitan (Zooplankton and Zoobenthos Determinant..., 2010); Pl – pelagic; Ph – phytophilic; Bt – benthic; L – littoral; Eut. – eurytopic (Rivier et al., 2001), * – according to the available literature, the status of this species remains unknown.

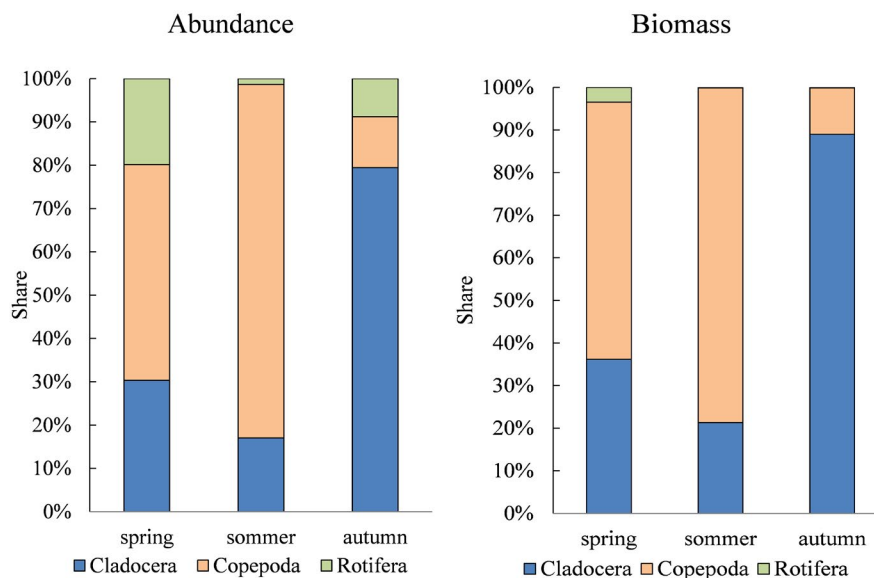


Fig.4. The structure of the abundance and biomass of zooplankton in in the Yantarnyi water-flooded quarry by season.

The quarry origin, resulting in significant depths (about 30 m), combined with a large water volume, provides sufficient self-purification potential (Szatylowicz et al., 2015). The average annual phytoplankton abundance is low (does not exceed 7 million cells/L). The content of green algae (protococcal), forming the basis of the phytocenosis, in terms of both abundance and biomass, indicates potentially high productivity of the water body (Tsupikova et al., 2017).

Zooplankton biomass and abundance in this water body are lower than in water-flooded quarries of similar formation periods, such as the Pushkarevskii and Berezovskii quarry (Moiseenko et al., 2024; Moiseenko and Semenova, 2025). Nutrient content is also lower than in water bodies of similar formation period and surface area, such as the Forelevyi pond (Moiseenko et al., 2024), this is due to the large anthropogenic impact on the Forelevyi pond due to the location of industrial enterprises and trout farming.

In general, the species richness of zooplankton is related to the age of water bodies, newly formed aquatic habitats are subject to intensive invasion processes, and climax communities have not yet formed. In addition to local restrictions caused by specific conditions in the reservoir, species-unsaturated zooplankton communities of newly formed water bodies are strongly influenced by regional species richness and their distribution opportunities (Tavernini et al., 2009). The fairly stable number of species of the Yantarnyi water-flooded quarry over a long period and similar dominant species suggests that the zooplankton communities formed in it are close to climax.

Higher aquatic vegetation also has a significant impact on the species structure and abundance of zooplankton, as a result of which zooplanktonocenoses of macrophyte thickets are characterized by high species richness and quantitative development (Gavrillko et al., 2019).

The projective coverage of macrophytes in the Yantarnyi water-flooded quarry does not exceed 5 % and is represented by *Phragmites australis* (Cav.) Trin.

ex Steud.), *Sparganium glomeratum* Laest. ex Beurl.) Neuman) and *Acorus calamus* L. (Moiseenko and Tsupikova, 2023). However, both biomass and abundance of zooplankton were lower at stations near macrophyte stands, except for rotifers, whose abundance increased significantly. Overall, increased species diversity in this biotope, besides rotifers, was achieved through species characteristic of stands such as *Chydorus sphaericus* (O.F. Müller, 1785), *Sida crystallina* (O.F. Müller, 1776), *Diaphanosoma brachyurum* (Lievin, 1848), *Eudiaptomus gracilis* (GO Sars, 1863), *Scapholeberis mucronata* (O.F. Müller, 1776), *Polyphemus pediculus* (Linnaeus, 1758).

To compare the composition of zooplankton, the Pushkarevskii and Berezovskii quarries were selected, which are similar to the Yantarny quarry in terms of the period of formation, as well as in terms of use (exclusively for recreational purposes) (Moiseenko and Semenova, 2025), while, for example, the water-flooded quarry «Forelevyi pond» is used for trout farming.

Although Cyclopoida predominate in all the above-mentioned reservoirs, a cluster analyses showed a very high specificity of the planktonic communities of the Yantarnyi water-flooded quarry, which stands out in a separate cluster from other quarries in the Kaliningrad region (Berezovskii and Pushkarevskii) (Fig. 5).

The above results suggest that, in general, there are general patterns in the formation of zooplankton communities in the above-mentioned reservoirs, the Yantarnyi water-flooded quarry has distinctive features due to the influence of local factors, as well as its proximity to the Baltic Sea, which confirms the importance of local factors in the formation of biodiversity in artificial reservoirs (De Meester et al., 2005). Thus, despite the fact that the Baltic Sea does not affect the hydrochemical composition of the Yantarnyi water-flooded quarry due to the lack of water inflow, it is possible to influence the formation of aquatic biodiversity, for example, through runoff from the catchment area or with the transfer of some species through waterfowl.

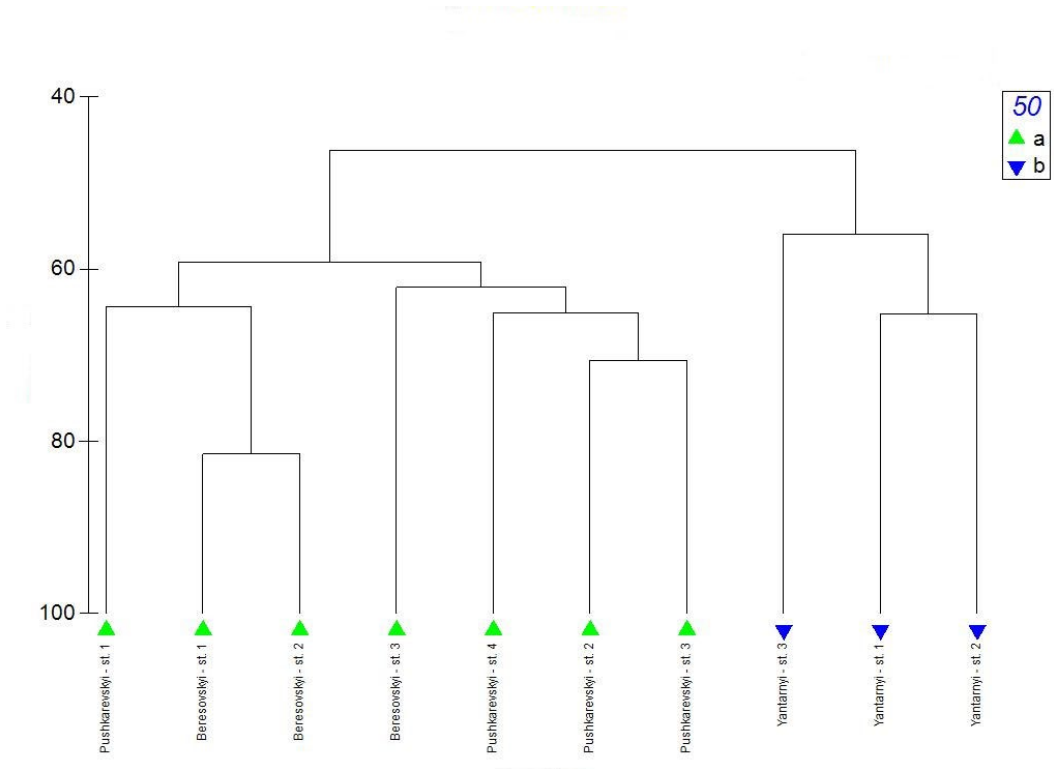


Fig.5. Dendrogram of the similarity of zooplankton at in the Yantarnyi water-flooded quarry with other quarries in the Kaliningrad region (in each of the reservoirs, stations 1 and 2 are located in the open part; station 3 is located on the littoral, in thickets of macrophytes).

In addition, the stations located in the open part of the reservoir are combined into subclusters, and the stations located in the thickets of macrophytes are represented by separate subclusters. This feature can be traced for all the above-mentioned flooded quarries.

In the structure of zooplankton abundance and biomass in the Yantarnyi quarry, copepods and cladocerans constituted a significant share, while rotifers formed a small proportion, characteristic of clean oligotrophic water bodies (Andronikova, 1996). In the recent period, a decrease in the Shannon diversity index has been observed alongside an increase in the proportion of crustaceans (Table 3).

No elevated mortality rates were noted for any individual species or taxonomic groups. The proportion of dead individuals relative to zooplankton abundance and biomass was low in both the open water and macrophyte stands, ranging from 0.8% to 2.2%. This is at the minimal level for water bodies in Kaliningrad region (Semenova et al., 2025) and for freshwater bodies in general (Tang et al., 2014), indicating favorable conditions for zooplankton organisms in the studied

water body.

The species composition of zooplankton in the Yantarnyi water-flooded quarry is typical for the lake ecosystems of the Kaliningrad region. In general, eurytopic cosmopolitan species are characteristic of reservoirs of man-made origin (Afonina, 2022; Tashlykova et al., 2023), due to their widespread distribution and good adaptability to diverse environmental conditions. In general, both the species composition and the structure of zooplankton communities and the level of their quantitative development in the Yantarnyi water-flooded quarry are similar to similar characteristics of lake-type reservoirs in the Kaliningrad region (Shibaeva et al., 2018), in contrast, for example, to the Berezovsky and Pushkarevsky quarries, where communities are poorer and apparently still under formation. During its existence, more mature (species-rich, more stable) zooplankton communities have already formed in the Yantarnyi quarry, which characterized its zooplankton communities similar to the natural reservoirs of the Kaliningrad region.

Table 3. Zooplankton indices of the Yantarnyi water-flooded quarry

Indicator	Open part of the reservoir			Macrophyte stands		
	2011	2023	2024	2011	2023	2024
Number of species	17	15	17	23	22	22
Shannon index	2.80 ± 0.77	1.16 ± 0.53	2.10 ± 0.54	3.89 ± 0.81	1.66 ± 0.76	2.11 ± 0.54
N Clad /N Cop	0.16	5.66	0.19	0.79	6.66	1.05
B Crust/B Rot	6.21	18.34	191.32	29.02	1.43	1000.02
Saprobic index	1.4	1.4	1.7	1.4	1.3	1.6

5. Conclusions

Thus, it has been established that the Yantarnyi water-flooded quarry has elevated mineralization, with bicarbonate waters, which is also characteristic of other quarry-origin water bodies. Based on most hydrochemical indicators, it is oligosaprobic. In contrast to many other quarry-origin water bodies, this water body lacks extreme hydrochemical conditions, making its ecosystem favorable for zooplankton development.

Paleartic, eurytopic zooplankton species predominate in the Yantarnyi water-flooded quarry. Most are cosmopolitans or widely distributed in Europe.

Biodiversity analysis showed that overall, by all indicators, species diversity was higher in macrophyte stands.

It was revealed that zooplankton biomass and abundance increased between 2011 and 2024, while the number of zooplankton species in the Yantarnyi water-flooded quarry did not undergo significant changes, characterizing the ecosystem of this water body as stable and established. The significant depths of this reservoir, due to its quarry origin, and its use exclusively for recreational purposes also contribute to the stable state of the aquatic ecosystem. Despite the similarity of the structure and composition of zooplankton with other flooded quarries in the Kaliningrad region, the Yantarnyi water-flooded quarry is characterized by features caused by local factors. In general, more mature zooplankton communities, similar to lake communities, have formed in this reservoir.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

References

Afonina E.Yu., Tashlykova N.A., Zamana L.V. et al. 2022. Hydrochemistry and hydrobiology of technogenic reservoirs of mining territories of southeastern Transbaikalia. *Arid ecosystems* 12(4): 505-515. DOI: [10.1134/S2079096122040023](https://doi.org/10.1134/S2079096122040023)

Afonina E.Yu. 2022. Species diversity of zooplankton of technogenic reservoirs of South-Eastern Transbaikalia. *Amur Zoological Journal* XIV (2): 299-311. DOI: [10.33910/2686-9519-2022-14-2-299-311](https://doi.org/10.33910/2686-9519-2022-14-2-299-311)

Alekin O.A. 1970. *Fundamentals of Hydrochemistry*. Leningrad: Nauka. (in Russian)

Andronikova I.N. 1996. Structural and functional organization of zooplankton in lake ecosystems of different trophic types. St. Petersburg: Nauka. (in Russian)

Bazarova B.B., Borzenko S.V., Tashlykova N.A. et al. 2023. Biodiversity of hydrobionts of soda, chloride and sulfate lakes of Transbaikalia. *Arid Ecosystems* 13(4): 535-548. DOI: [10.1134/S2079096123310013](https://doi.org/10.1134/S2079096123310013)

Clarke K.R., Gorley R.N. 2006. *Primer v 6: User Manual*. Tutorial. Plymouth: Plymouth Marine Laboratory.

De Meester L., Declerck S., Stoks R. et al. 2005. Ponds and pools as model systems in conservation biology, ecology and evolutionary biology. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* 15: 715-725.

Ermolaeva N.I., Dvurechenskaya S.Ya. 2013. Regional'ny'e indeksy` indikatornoj znachimosti zooplanktonny'x organizmov v vodoemax yuga Zapadnoj Sibiri. *Ekologiya [Ecology]* 6: 476-480. (in Russian)

Gavrillo D.E., Zolotareva T.V., Shurganova G.V. 2019. Species structure of zooplankton communities in thickets of higher aquatic plants of a small river (using the Seryozha River, Nizhny Novgorod Region, as an example). *Principles of Ecology* 3: 24-39.

Goździejewska A.M., Koszałka J., Tandyrak R. et al. 2021. Functional Responses of Zooplankton Communities to Depth, Trophic Status, and Ion Content in Mine Pit Lakes. *Hydrobiology* 848: 2699-2719. DOI: [10.1007/s10750-021-04590-1](https://doi.org/10.1007/s10750-021-04590-1)

Identification Guide to Zooplankton and Zoobenthos of Fresh Waters of European Russia. Vol. 1. Zooplankton. 2010. Moscow: KMK Scientific Press. (in Russian)

Makrushin A.V. 1974. Bibliograficheskij ukazatel` po teme «Biologicheskij analiz kachestva vod» s prilozheniem spiska organizmov-indikatorov zagryazneniya. Leningrad: Zool. in-t of the USSR Academy of Sciences. (in Russian)

Methods of Hydrobiological Research of Inland Waters. 2024. In: Krylov A.V. (Ed.). IBIW RAS. Yaroslavl: Filigran. (in Russian)

Moiseenko V., Semenova A. 2025. Ecological assessment of some watered quarry piles in the Kaliningrad region by hydrochemical and hydrobiological indicators. *Proc. YSU C: Geol. Geogr. Sci.*, 59 (2 (266): 427-433. DOI: [10.46991/PYSUC.2025.59.2.427](https://doi.org/10.46991/PYSUC.2025.59.2.427)

Moiseenko V.V., Tsupikova N.A., Popov A.A. et al. 2024. Ecological State of the Blue Lakes System Water Bodies Based on Hydrochemical Research Results in 2023. In: Baltic Sea Forum: Materials of the XII International Baltic Sea Forum September 30 – October 4, 2024: in 6 vols. Vol. 3: Aquatic Biological Resources, Aquaculture and Ecology of Water Bodies, XII National Scientific Conference. Electron. data. Kaliningrad: Izd-vo BGARF FGBOU VO «KGTU», pp. 219-224. (in Russian)

Moiseenko V.V., Tsupikova N.A. 2019. Study of external load on Yantarny pond (Kaliningrad region) in 2018. *Bulletin of youth science* 5 (22): 36.

Moiseenko V.V., Tsupikova N.A. 2023. Floristic and Ecomorphological Features of the Coast of the Yantarnyi Water-flooded Quarry. *Izvestiya KGTU* 70: 34-45. DOI: [10.46845/1997-3071-2023-70-34-45](https://doi.org/10.46845/1997-3071-2023-70-34-45) (in Russian)

Pantle R., Buck H. 1955. Die biologische Überwachung der Gewässer und die Darstellung der Ergebnisse. *Gasund Wasserfach* 96 (18): 604-618. (in German)

Pociecha A., Bielańska-Grójner I., Szarek-Gwiazda E. et al. 2018. Rotifer Diversity in the Acidic Pyrite Mine Pit Lakes in the Sudety Mountains (Poland) *Mine Water Environment* 37: 518-527. DOI: [10.1007/s10230-017-0492-y](https://doi.org/10.1007/s10230-017-0492-y)

Rivier I.K., Lazareva V.I., Gusakov V.A. et al. 2001. Composition of flora and fauna of the Upper Volga. Ecological problems of the Upper Volga. Yaroslavl, pp. 409-412.

Semenova A.S., Zhdanova S.M., Malin M.I. et al. 2025. Zooplankton mortality rates in different types of lake ecosystems of the Kaliningrad and Yaroslavl regions. *Lakes of Eurasia: problems and solutions*. In: Proceedings of the III international conference (Kazan, May 20-23, 2025). Kazan: Publishing House of the Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan, pp. 864-869.

Sevostyanova E.A., Semenova A.S., Dmitrieva O.A. et al. 2025. Planktonic communities of Kaliningrad reservoirs. In: Actual problems of planktonology: V All-Russian Conference with international participation. Abstracts of reports. With taxonomic training for young scientists, Svetlogorsk, September 08-12, 2025. Kaliningrad: Kaliningrad State Technical University, pp. 109-110. (in Russian)

Shannon C.E., Weaver W. 1963. The mathematical theory of communication. Illinois: Urbana.

Shibaeva M.N., Masyutkina E.A., Shibaev S.V. 2018. Hydrobiological characteristics of water bodies in the

Kaliningrad Region. The Handbook of Environmental Chemistry 65: 285-316. DOI: [10.1007/698_2017_99](https://doi.org/10.1007/698_2017_99)

Sienkiewicz E., Gąsiorowski M. 2017. The diatom-inferred pH reconstructions for a naturally neutralized pit lake in south-west Poland using the Mining and the Combined pH training sets. The Science of the Total Environment 605: 75-87. DOI: [10.1016/j.scitotenv.2017.06.171](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.06.171)

Sienkiewicz E., Gąsiorowski M. 2019. Natural evolution of artificial lakes formed in lignite excavations based on diatom, geochemical and isotopic data. Journal of Paleolimnology 62 (1): 1-13. DOI: [10.1007/s10933-019-00069-1](https://doi.org/10.1007/s10933-019-00069-1)

Sládeček V. 1973. System of Water Quality from the Biological Point of View. Arch. Hydrobiol. Beih. 7. Ergebnisse der Limnologie. Heft 7:1-218.

State Water Quality Control. 2003. Handbook of the Technical Committee for Standardization. Moscow: IPK Standards Publishing House. (in Russian)

Szatyłowicz E., Matulewicz D., Skoczko I. 2015. Assessment of susceptibility to degradation by schindler factor of selected reservoirs in Podlaskie. Journal of Ecological Engineering 16(4): 81-88. DOI: [10.12911/22998993/59353](https://doi.org/10.12911/22998993/59353)

Tang K.W., Gladyshev M.I., Dubovskaya O.P. et al. 2014. Zooplankton carcasses and non-predatory mortality in freshwater and inland sea environments. Journal of Plankton

Research 36(3):597-612.

Tashlykova N.A., Afonina E.Yu., Zamana L.V. 2023. Man-made reservoirs (Zabaikalsky Krai): ecological features. Advances in modern natural science 8: 66-75. DOI: [10.24412/1993-3916-2022-4-189-200](https://doi.org/10.24412/1993-3916-2022-4-189-200)

Tavernini S., Viaroli P., Rossetti G. 2009. Zooplankton Community Structure and Inter-Annual Dynamics in Two Sand-Pit Lakes with Different Dredging Impacts. International Review of Hydrobiology 94(3): 290-307. DOI: [10.1002/iroh.200811124](https://doi.org/10.1002/iroh.200811124)

Tsimdin P.A. 1979. Rotifers as bioindicators of saprobicity. Gidrobiologicheskii zhurnal [Hydrobiological Journal] 15 (4): 63-67. (in Russian)

Tsupikova N.A., Bugranova O.S., Moiseenko V.V. 2017. Feasibility of Organizing a Fish Farm Based on the Yantarnyi Pond (Kaliningrad Oblast). Nauchno-prakticheskie voprosy regulirovaniya rybolovstva: Materialy IV Mezhdunarodnoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii, Vladivostok, 18-19 maya 2017 goda. Federal'noe agentstvo po rybolovstvu. Dal'nevostochnyi gosudarstvennyi tekhnicheskii rybokhozyaistvennyi universitet. Vladivostok: Dal'nevostochnyi gosudarstvennyi tekhnicheskii rybokhozyaistvennyi universitet. pp. 280-285. (in Russian)

Биоразнообразие и структура сообществ зоопланктона обводненного карьера Яantarный (Калининградская область, Россия)



Моисеенко В.В.^{1*}, Семенова А.С.^{1,2}

¹ Атлантический филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО», ул. Дм. Донского, д. 5, г. Калининград, 236022, Россия

² Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН, Ярославская обл., Некоузский район, пос. Борок, 152742, Россия

АННОТАЦИЯ. С целью изучения биоразнообразия и количественного развития зоопланктона в 2011 и 2023-2024 гг. были проведены исследования обводненного карьера Яantarный Калининградской области. Данный водный объект благодаря своему карьерному происхождению имеет достаточно большую площадь водной поверхности и значительную глубину. В результате исследования был проведен гидрохимический анализ вод, определен таксономический состав сообществ зоопланктона, их количественные показатели, рассчитан индекс видового разнообразия Шеннона для участков водной поверхности с макрофитами и для открытой водной поверхности. Установлено, что по количеству обнаруженных видов, численности и биомассе в карьере преобладают ветвистоусые ракообразные (Cladocera). Несмотря на малую площадь проективного покрытия водной растительностью, видовое разнообразие выше в зарослях макрофитов и достигается за счет большего числа видов коловраток (Rotifera), а также зарослевых видов, характерных для данных биотопов. В карьере Яantarный были отмечены низкие показатели смертности зоопланктона, что свидетельствует о создавшихся в нем благоприятных условиях для существования планктонных сообществ, что подтверждается и результатами анализа гидрохимического состава вод, согласно которым данный водоем является олигосапробным.

Ключевые слова: карьер Яantarный, зоопланктон, Cladocera, индекс Шеннона, показатели смертности

Для цитирования: Моисеенко В.В., Семенова А.С. Биоразнообразие и структура сообществ зоопланктона обводненного карьера Яantarный (Калининградская область, Россия) // Limnology and Freshwater Biology. 2025. - № 5. - С. 1196-1211. DOI: [10.31951/2658-3518-2025-A-5-1196](https://doi.org/10.31951/2658-3518-2025-A-5-1196)

1. Введение

В настоящее время на территории Калининградской области в разработке находится около 50 карьеров по добыче полезных ископаемых. После выработки карьеров, чаще всего они заполняются грунтовыми водами и становятся водными объектами – обводненными карьерами. Всего на территории Калининградской области насчитывается 14 групп водоемов и отдельных водоемов, образованных вышеуказанным способом (Моисеенко и Цупикова, 2023), из них Яantarный является самым большим по площади водоемом карьерного происхождения в Калининградской области (Рис. 1).

Этот водоем образовался путем обводнения котловины бывшего месторождения янтаря в 1972 году. Площадь его водной поверхности составляет 118 га (1.18 км²), а максимальная глубина – 28 м

(Моисеенко и Цупикова, 2019), такие достаточно большие величины данных показателей обусловлены не только искусственным происхождением, но и спецификой разработки месторождений янтаря для которых требуются глубины и площади, превышающие карьеры по добыче песка и гравия. Экосистемы водоемов, образовавшихся на месте бывших карьеров, являются мало изученными, либо не изученными вовсе по причине недавнего времени своего образования и отсутствия в водном реестре. Вследствие чего, исследование биологического разнообразия сообществ зоопланктона данного водоема и их количественных показателей представляет особенный интерес.

Целью данной работы было исследование особенностей биоразнообразия и структуры сообществ зоопланктона обводненного карьера Яantarный.

*Автор для переписки.

Адрес e-mail: moiseenko@atlant.vniro.ru (В.В. Моисеенко)

Поступила: 08 августа 2025; Принята: 19 октября 2025;

Опубликована online: 31 октября 2025

© Автор(ы) 2025. Эта работа распространяется под международной лицензией Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0.



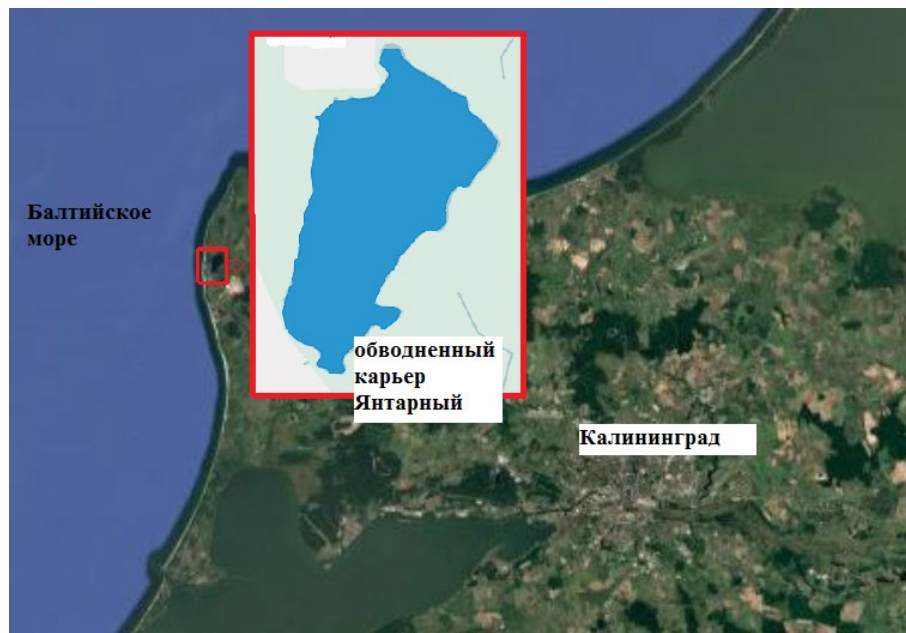


Рис.1. Расположение обводненного карьера Яantar'ный.

2. Материалы и методы

Отбор проб проводился в вегетационные периоды (с апреля по сентябрь) 2011, 2023 и 2024 гг. согласно методике (Методы..., 2024). Станции отбора были приурочены к открытым участкам водной поверхности (с глубинами 0-3 м) и береговым зонам карьера с зарослями макрофитов (с глубинами 0-2 м). Для идентификации зоопланктонных организмов использовали определитель (Определитель зоопланктона и зообентоса..., 2010). С целью установления показателей смертности зоопланктона (доли мертвых особей от численности/биомассы зоопланктона) было выполнено его окрашивание анилиновым голубым красителем (Методы..., 2024). Для оценки уровня биологического разнообразия зоопланктонных сообществ были рассчитан индекс Шеннона по численности (Shannon and Weaver, 1963; Андроникова, 1996). Для определения степени органического загрязнения воды по показателям зоопланктона рассчитывали индекс сапробности Пантле-Букка (Pantle and Buck, 1955) в модификации Сладечека (Sládeček, 1973), сапробные валентности видов находили по литературным данным (Макрушин, 1974; Цимдинь, 1979; Ермолаева и Двуреченская, 2013). Сходство планктонных сообществ в исследованных водоемах оценено методами кластерного анализа стандартизованных и трансформированных данных по численности таксонов по коэффициенту Брея-Кертиса (Clarke and Gorley, 2006).

Одновременно с отбором проб зоопланктона в тех же точках и на тех же глубинах проводился отбор проб для гидрохимического анализа, который включал определение содержания растворенного кислорода и БПК₅, в 2023-2024 году дополнительно проведено исследование минерального состава вод (жесткости, щелочности, pH, гидрокарбонатов, сульфатов, хлоридов, суммы натрия и калия), величины перманганатной окисляемости и содержания биогенных элементов (азота аммонийного, нитри-

тов и нитратов, фосфора фосфатов), в соответствии с общепринятыми методиками (Алекин, 1970; Государственный контроль..., 2003).

3. Результаты

Кислородные условия в обводненном карьере Яantar'ный благоприятные, насыщение вод находится в пределах 95-100%. За период с 2011 по 2023-2024 год отмечается небольшое снижение содержания растворенного кислорода и повышение показателя БПК₅ (Рис. 2).

Содержание биогенных элементов по данным, полученным из предыдущих исследований, не велико и не превышает предельно допустимых концентраций (Моисеенко и Цупикова, 2019). Исследованная вода, в соответствии с классификацией Алекина (Алекин, 1970) обладает повышенной минерализацией, гидрокарбонатная. По классификации общей жесткости воды относится к категории – мягкие (Таблица 1).

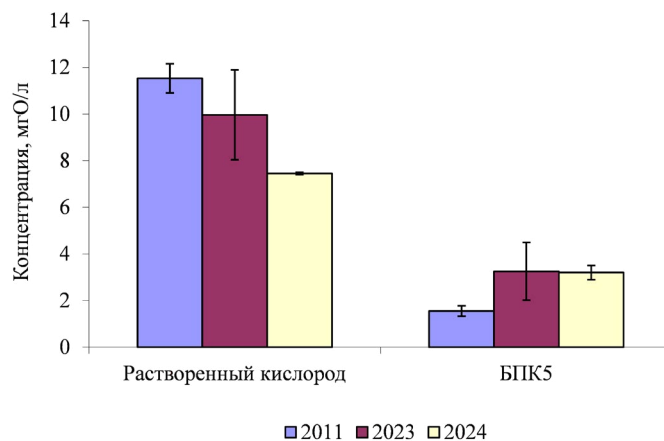


Рис.2. Содержание растворенного кислорода и величина БПК₅ в обводненном карьере Яantar'ный.

В отличие от городских водоемов, в том числе карьерного происхождения (Севостьянова и др., 2025), для карьера Янтарный не наблюдается значительных изменений видового разнообразия зоопланктона за период с 2011 по 2020-е годы.

За весь период исследований было идентифицировано 33 вида зоопланктона, в 2023-2024 гг. – 26 видов, в 2011 году – 24 вида, наибольшим числом видов во все годы отбора представлены ветвистоусые ракообразные. Большинство видов являются палеарктическими, эвритопными и мирными, исключение составляют лишь хищники *Leptodora kindtii* (Focke, 1844) и некоторые представители Cyclopoida (Таблица 2).

По численности доминируют: *Kellicottia longispina* (Kellicott, 1879), *Daphnia galeata* (Sars, 1864) и молодёжь веслоногих ракообразных Cyclopoida. Наибольшая численность и биомасса зоопланктона были отмечены в 2024 г. при доминировании молодёжи веслоногих ракообразных. В 2023 г. при схожей численности наблюдались меньшие значения биомассы, обусловленные преобладанием мелкоразмерных видов коловраток, в особенности массовой была *Kellicottia longispina* (Kellicott, 1879), численность которой составляла от 14 до 23 тыс. экз./м³ и предпочитающая холодноводные глубокие водоемы, каковым и является обводненный карьер Янтарный. В 2011 г. как по численности, так и по биомассе доминировали веслоногие ракообразные (Рис. 3).

В сезонной динамике зоопланктона прослеживается значительное увеличение доли веслоногих как по численности, так и по биомассе в летний период, и массовое развитие ветвистоусых ракообразных в осенний период (Рис. 4).

Мертвые особи были обнаружены в популяциях 12 видов зоопланктона, в основном это были наиболее массовые и доминирующие виды коловраток и ракообразных. Для отдельных видов зоопланктона показатели смертности были невелики - доля мертвых особей изменялась от 0.5 до 3.6% от численности и от 0.4 до 3.4% от биомассы, максималь-

Таблица 1. Гидрохимические показатели вод обводненного карьера Янтарный

Наименование показателя	Концентрация
Щелочность, мг*экв/л	5.190
Жесткость, мг*экв/л	2.5
pH	7.5
Гидрокарбонаты, мг/л	317.0
Сульфаты, мг/л	143.0
Хлориды, мг/л	34.4
Сумма натрия и калия, мг/л	153.0
Минерализация, мг/л	649.0
Азот аммонийный, мг/л	0.02 ± 0.01
Азот нитритов, мг/л	0.004 ± 0.002
Азот нитратов, мг/л	< 0.001
Фосфор фосфатов, мг/л	0.02 ± 0.10

ные показатели смертности были отмечены для *Bosmina longirostris*. В открытой части водоема минимальные показатели смертности были отмечены для веслоногих ракообразных (0.65% и 0.74%), максимальные – для коловраток (1.00% и 1.08%), тогда как в зарослях макрофитов, минимальные показатели смертности были характерны для коловраток (0.91% и 0.63%), максимальные – для ветвистоусых ракообразных (2.66% и 1.83%). В целом в открытой части водоема доля мертвых особей составляла 0.81% и 0.80%, в зарослях макрофитов – 2.19% и 1.52% от численности и биомассы зоопланктона.

4. Обсуждение

Исследования химического состава вод водоемов техногенного происхождения показывают, что часто их воды преимущественно сульфатные и гидрокарбонатные (Афонина и др., 2022; Базарова и др., 2023). Результаты исследования обводненного карьера Янтарный согласуются с вышеуказанными

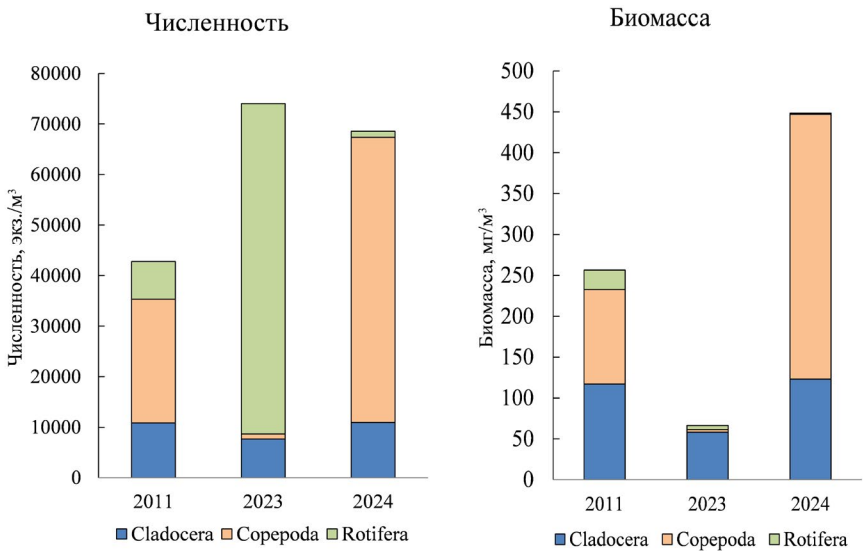


Рис.3. Структура численности и биомассы зоопланктона обводненного карьера Янтарный по годам исследования.

параметрами. Несмотря на близкое расположение к Балтийскому морю, воды не являются хлоридными, что служит признаком слабого влияния моря на экосистему данного водного объекта. Виды зоопланктона, характерные для морских и солоноватых вод, обнаружены не были. До некоторой степени исключением можно считать обнаружение молоди рода *Eurytemora*, которая может относиться

к виду *Eurytemora affinis* широко распространенному в солоноватых и морских водах, в том числе в Балтийском море и Калининградском (Вислинском) заливе. Но среди представителей этого рода встречаются и пресноводные виды (например, *Eurytemora lacustris* и др.) поэтому до того момента пока не будут встречены и определены взрослые особи этого рода вопрос остается открытым.

Таблица 2. Видовой состав зоопланктона исследуемых карьеров

Группа	Вид	Зоогеография	Сапробность	Биотоп	2011 год	2023 год	2024 год	
Cladocera	<i>Acroperus harpae</i> (Baird, 1843)	C	1.4	L, Ph	-	-	+	
	<i>Alona affinis</i> (Leydig, 1860)	C	1.1	Ph	+	-	+	
	<i>Alona rectangula</i> (Sars, 1862)	C	1.3	Eut	-	+	+	
	<i>Alona quadrangularis</i> (Muller, 1776)	C	1.3	Ph, L	+	-	-	
	<i>Bosmina longirostris</i> (Müller, 1785)	C	1.55	Eut	+	+	+	
	<i>Ceriodaphnia quadrangula</i> (Müller, 1785)	C	1.15	Eut	+	-	-	
	<i>Chydorus sphaericus</i> (Müller, 1785)	C	1.75	Eut	+	+	+	
	<i>Daphnia cucullata</i> (Sars, 1862)		1.75		+	+	+	
	<i>Daphnia galeata</i> (Sars, 1864)	P	2	Pl	+	+	+	
	<i>Diaphanosoma brachyurum</i> (Liévin, 1848)	P	1.4	Bt,Ph	+	+	+	
	<i>Disparalona rostrata</i> (Koch, 1841)	H	1.3	*	+	-	-	
	<i>Eubosmina coregoni</i> (Baird, 1857)	P	0.95	*	+	-	+	
	<i>Leptodora kindtii</i> (Focke, 1844)	H	1.65	Pl	+	+	-	
	<i>Pleuroxus aduncus</i> (Jurine, 1820)		1.2	*	+	-	+	
	<i>Pleuroxus uncinatus</i> (Baird, 1850)	P		*	-	-	+	
	<i>Polyphemus pediculus</i> (Linnaeus, 1761)	H	1.3	L	+	-	+	
	<i>Scapholeberis mucronata</i> (Müller, 1776)	P	2	Bt,Ph	+	+	+	
	<i>Sida crystallina</i> (Müller, 1785)	P	1.3	Ph	+	-	-	
	Bcero Cladocera					15	8	13
	Copepoda	<i>Cyclops kolensis</i> (Lilljeborg, 1901)	P		Eut	-	-	+
<i>Eucyclops macrurus</i> (Sars, 1863)		P	1.4	*	+	+	+	
<i>Eudiaptomus gracilis</i> (Sars, 1863)		P	1.25	*	-	+	-	
<i>Eurytemora</i> sp.				*	+	-	-	
<i>Mesocyclops leuckarti</i> (Claus, 1857)		P	1.2	Eut	+	+	+	
<i>Thermocyclops oithonoides</i> (Sars, 1863)		P	1.3	*	+	+	-	
Bcero Copepoda					4	4	3	
Rotifera	<i>Asplanchna priodonta</i> (Gosse, 1850)	C	1.55	Eut	+	+	-	
	<i>Brachionus calyciflorus calyciflorus</i> (Pallas, 1776)		2.5	*	-	+	-	
	<i>Eosphora najas</i> (Ehrenberg, 1830)	P		Ph, L	-	-	+	
	<i>Kellicottia longispina</i> (Kellicott, 1879)	H	1.25	Pl	-	+	+	
	<i>Keratella cochlearis</i> (Gosse, 1851)	C	1.15	Eut	+	+	-	
	<i>Keratella quadrata</i> (Müller, 1785)	C	1.55	Eut	+	+	+	
	<i>Polyarthra major</i> (Burckhardt, 1900)	H	1.2	Eut	+	+	-	
	<i>Synchaeta pectinata</i> (Ehrenberg, 1832)	C	1.65	Eut	+	-	-	
	<i>Trichocerca</i> sp.		1.6	*	-	-	+	
	Bcero Rotifera					5	6	4
Bcero					24	18	20	

Примечание: P – palearctic, H – holarctic, C – cosmopolitan (Определитель зоопланктона и зообентоса..., 2010); Pl – пелагический; Ph – фитофильный; Bt – бентический; L – литоральный; Eut. – эвритопный (Ривьер и др., 2001), * – статус по литературным данным не установлен.

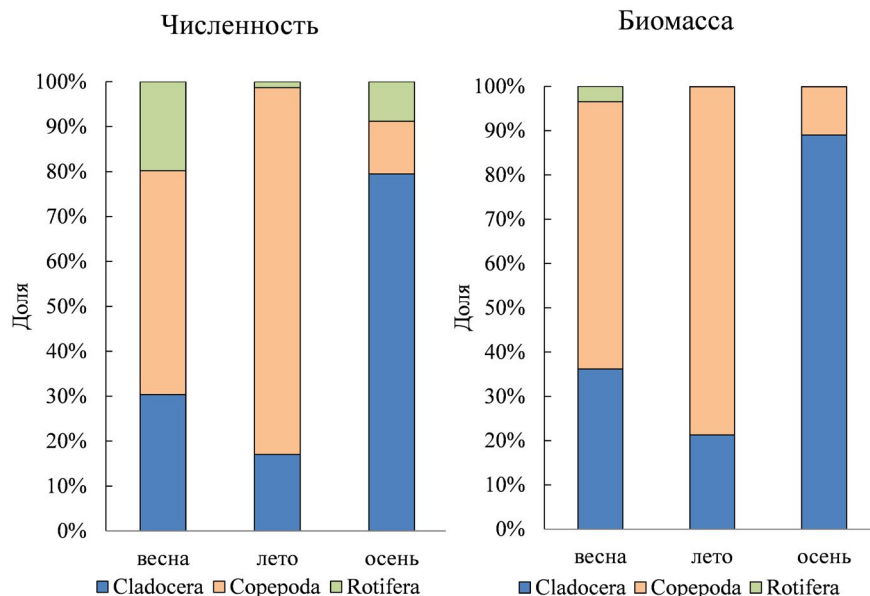


Рис.4. Структура численности и биомассы зоопланктона обводненного карьера Янтарный по сезонам.

Также для водоемов техногенного происхождения часто характерны широкие диапазоны водородного показателя pH с щелочными либо кислыми водами, высокая концентрация сульфатов, гидрокарбонатов, металлов, биогенных элементов, которые потенциально могут влиять на разнообразие и количественное развитие зоопланктонных организмов (Sienkiewicz and Gąsiorowski, 2017; 2019; Pocięcha et al., 2018; Афонина и др., 2022). Однако для водоемов, образованных на месте бывших карьеров по добыче глины, песка и гравия, pH вод может быть нейтральным или почти нейтральным (Sienkiewicz and Gąsiorowski, 2017).

Для обводненного карьера Янтарный не характерны данные признаки т.к. после выработки карьера по добыче янтаря не образуется остатков, которые при взаимодействии с водой и воздухом образуют токсичные соединения, вследствие чего экстремально высокие или низкие значения вышеуказанных показателей отсутствуют, pH вод – нейтральный.

При формировании состава биоты обводненного карьера на потенциал видового богатства влияют как биотические и абиотические условия самой среды, которые могут способствовать или препятствовать колонизации новыми видами (через конкуренцию, хищничество и т.д.), так и условия среды данной местности (De Meester et al., 2005).

Состав и структура планктонных биоценозов таких водоемов, как правило, определяются совокупностью комплекса биотических параметров, с преобладанием видов-космополитов (Ташлыкова и др., 2023). В целом для зоопланктона обводненных карьеров характерно низкое видовое богатство, широкое варьирование количественных показателей гидробионтов и доминирование в зооценозе ювенильных стадий Cyclopoida (Goździewicz et al., 2021; Афонина, 2022). Вышеуказанные характеристики согласуются с полученными результатами исследования зоопланктона обводненного карьера Янтарный.

Согласно ГОСТ 17.1.2.04-77 «Охрана природы. Гидросфера. Показатели состояния и правила таксации рыбохозяйственных водных объектов» обводненный карьер Янтарный по большинству гидрохимических показателей является олигосапробным (по содержанию нитритов, аммония, фосфатов). По содержанию растворенного кислорода и перманганатной окисляемости – ксеносапробным, по БПК₅ – альфамезосапробным.

Карьерное происхождение, обуславливающее значительные глубины в совокупности с большим объемом водных масс обеспечивает достаточный потенциал для самоочищения данного водоема (Szatyłowicz et al., 2015). Среднегодовая численность фитопланктона незначительная (не превышает 7 млн. кл./л), а доминирование зеленых (протококковых) водорослей, входящих в основу фитоценоза данного водного объекта, как по численности, так и по биомассе, свидетельствует о потенциально высокой продуктивности водоема (Цупикова и др., 2017).

Биомасса и численность зоопланктона в данном водоеме ниже, чем в обводненных карьерах близких по периоду образования, таких как Пушкиревский и Березовский карьер (Моисеенко и др., 2024; Moiseenko and Semenova, 2025). Также ниже и содержание биогенных элементов, чем в водоемах аналогичного периода образования и площади водной поверхности, такого как пруд Форелевый (Моисеенко и др., 2024), что обусловлено большим антропогенным воздействием на пруд Форелевый по причине расположения вблизи и непосредственно на этом водоеме промышленных предприятий и форелевого хозяйства.

В целом, видовое богатство зоопланктона связано с возрастом водоемов, новообразованные водные среды обитания подвержены интенсивным процессам инвазии, климаксные сообщества еще не сформировались. В дополнение к локальным ограничениям, обусловленными конкретными условиями в водоеме, ненасыщенные видами сообщества

зоопланктона новообразованных водных объектов находятся под сильным влиянием регионального видового богатства и их возможностей распространения (Tavernini et al., 2009). Достаточно стабильное число видов карьера Янтарный на протяжении длительного периода и сходные виды-доминанты позволяет предположить, что сформировавшиеся в нем сообщества зоопланктона близки к климаксным.

Высшая водная растительность также оказывает существенное влияние на видовую структуру и обилие зоопланктона, вследствие чего зоопланктоценозы зарослей макрофитов характеризуются высоким видовым богатством и количественным развитием (Гаврилко и др., 2019).

Проективное покрытие макрофитами обводненного карьера Янтарный не превышает 5% и представлено тростником обыкновенным (*Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud.), ежеголовником скученным (*Sparganium glomeratum* Laest. ex Beurl.) Neuman) и аиром обыкновенным (*Acorus calamus* L.) (Моисеенко и Цупикова, 2023). При этом как биомасса, так и численность зоопланктона на станциях, приуроченных к зарослям макрофитов, была ниже, за исключением коловраток, численность которых значительно увеличивалась. Несмотря на невысокую численность, в целом увеличение видового разнообразия в данном биотопе помимо коловраток достигалось за счет видов, предпочитающих обитать в зарослях водной растительности, таких как *Chydorus sphaericus* (O. F. Müller, 1785), *Sida crystallina* (O. F. Müller, 1776), *Diaphanosoma brachyurum* (Lievin, 1848), *Eudiaptomus gracilis* (G. O. Sars, 1863), *Scapholeberis mucronata* (O. F. Müller, 1776), *Polyphemus pediculus* (Linnaeus, 1758).

Для сравнения состава зоопланктона были выбраны карьеры Пушкаревский и Березовский,

которые имеют сходство с карьером Янтарный по периоду образования, а также по виду использования (исключительно в рекреационных целях) (Moiseenko and Semenova, 2025), в то время как, например, обводненный карьер «пруд Форелевый» используется для разведения форели.

Хотя во всех вышеуказанных водоемах преобладают Cyclopoida, кластерный анализ показал очень высокую специфичность планктонных сообществ обводненного карьера Янтарный, который выделяется в отдельный кластер от других карьеров Калининградской области (Березовского и Пушкаревского) (Рис. 5).

Вышеуказанные результаты позволяют предположить, что в целом в формировании сообществ зоопланктона вышеуказанных водоемов прослеживаются общие закономерности, карьер Янтарный обладает отличительными особенностями вследствие влияния локальных факторов, а также близкому расположению к Балтийскому морю, что подтверждает значимость локальных факторов в формировании биоразнообразия искусственных водоемов (De Meester et al., 2005). Таким образом, несмотря на то, что Балтийское море не оказывает влияние на гидрохимический состав карьера Янтарный из-за отсутствия затока вод, на формирование биоразнообразия гидробионтов это влияние возможно, например, через сток с водосборной поверхности или с переносом некоторых видов через водоплавающих птиц.

Помимо этого, в подкластеры объединяются станции, расположенные на открытой части водоема, а станции, располагавшиеся в зарослях макрофитов представлены отдельными подкластерами. Данная особенность прослеживается для всех вышеуказанных обводненных карьеров.

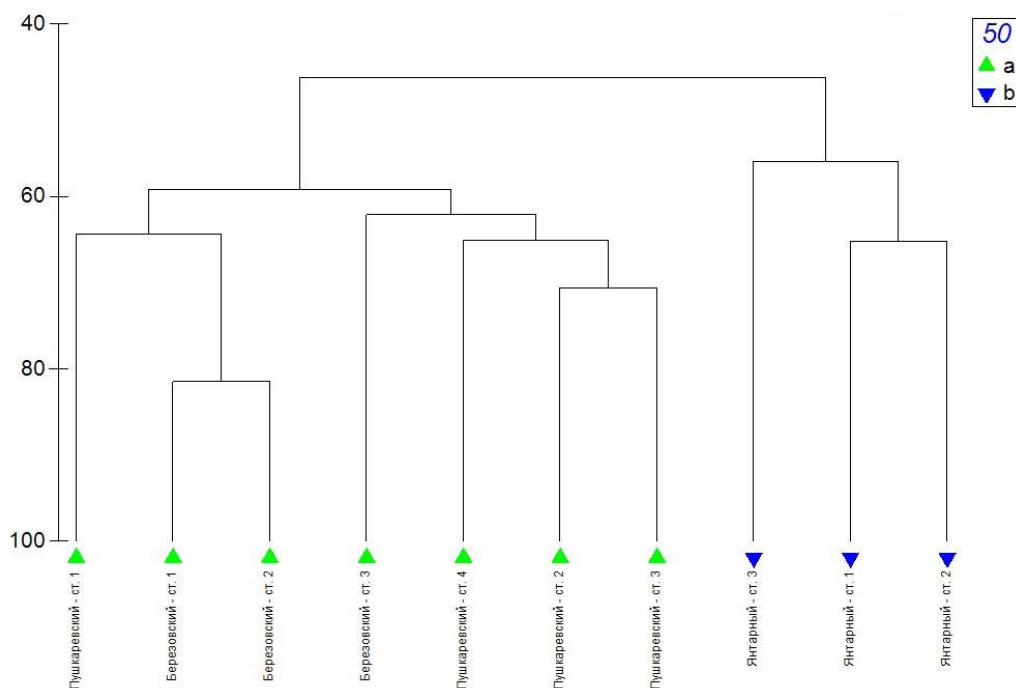


Рис.5. Дендрограмма сходства зоопланктона карьера Янтарный с другими карьерами Калининградской области (в каждом из водоемов станции 1 и 2 – расположены в открытой части; станция 3 – в литорали, в зарослях макрофитов).

В структуре численности и биомассы зоопланктона обводненного карьера Янтарный значительную долю составляли веслоногие и ветвистые ракообразные, малую долю формировали коловратки, что характерно для чистых олиготрофных водоемов (Андроникова, 1996). В современный период отмечено снижение индекса видового разнообразия Шеннона, при возрастании доли ракообразных (Таблица 3).

Ни для отдельных видов, ни для таксономических групп не было отмечено повышенных показателей смертности. Доля мертвых особей от численности и биомассы зоопланктона как в открытой части водоема, так и в зарослях макрофитов была на низком уровне и изменялась от 0.8 до 2.2%, что находится на минимальном уровне как для водоемов Калининградской области (Семенова и др., 2025), так и для пресноводных водоемов в целом (Tang et al., 2014), что говорит о благоприятных условиях существования зоопланктонных организмов в исследуемом водоеме. Видовой состав зоопланктона обводненного карьера Янтарный является типичным для озерных экосистем Калининградской области. Для водоемов техногенного происхождения характерны эвритопные виды-космополиты (Афониная, 2022; Ташлыкова и др., 2023), по причине их широкого распространения и хорошей адаптивности к разнообразным условиям среды. В целом как видовой состав, так и структура сообществ зоопланктона и уровень их количественного развития в карьере Янтарный сходна с аналогичными характеристиками водоемов озерного типа Калининградской области (Shibaeva et al., 2018) в отличие, например, от карьеров Березовского и Пушкиревского, где сообщества более скудные и по-видимому еще находятся в стадии формирования. В карьере Янтарном за время его существования уже сформировались более зрелые (богатые видами, более устойчивые) сообщества зоопланктона, что приближает его к естественным водоемам Калининградской области.

5. Выводы

Таким образом, установлено, что обводненный карьер Янтарный обладает повышенной минерализацией, воды гидрокарбонатные, что присуще и другим водоемам карьерного происхождения. По большинству гидрохимических показателей является олигосапробным. В противоположность многим другим водным объектам карьерного про-

исхождения, данному водоему не характерны экстремальные гидрохимические условия, что делает его экосистему благоприятной для развития зоопланктона.

В карьере Янтарный преобладают палеарктические, эвритопные виды зоопланктона. Большинство из них является космополитами либо широко распространенными в Европе видами.

Анализ биоразнообразия показал, что по всем показателям видовое разнообразие было выше в зарослях макрофитов.

Выявлено, что биомасса и численность зоопланктона за период с 2011 по 2024 гг. увеличились, при том, что число видов зоопланктона обводненного карьера Янтарный не претерпело значительных изменений, что характеризует экосистему данного водоема как устойчивую и сформированную. Значительные глубины данного водоема, обусловленные карьерным происхождением, и использование исключительно в рекреационных целях также способствуют стабильному состоянию водной экосистемы. Несмотря на схожесть структуры и состава зоопланктона с другими обводненными карьерами Калининградской области, для карьера Янтарный характерны особенности, обусловленные локальными факторами. В целом, в данном водоеме сформировались более зрелые сообщества зоопланктона сходные с сообществами озер.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Список литературы

Алекин О.А. 1970. Основы гидрохимии. Ленинград.
Андроникова И.Н. 1996. Структурно-функциональная организация зоопланктона озерных экосистем разных трофических типов. СПб: Наука.
Афониная Е.Ю., Ташлыкова Н.А., Замана Л.В. и др. 2022. Гидрохимия и гидробиология техногенных водоемов горнопромышленных территорий юго-восточного Забайкалья. Аридные экосистемы 28 (4): 189-200. DOI: [10.24412/1993-3916-2022-4-189-200](https://doi.org/10.24412/1993-3916-2022-4-189-200)
Афониная Е.Ю. 2022. Видовое разнообразие зоопланктона техногенных водоемов Юго-Восточного Забайкалья. Амурский зоологический журнал XIV (2): 299-311. DOI: [10.33910/2686-9519-2022-14-2-299-311](https://doi.org/10.33910/2686-9519-2022-14-2-299-311)
Базарова Б.Б., Борзенко С.В., Ташлыкова Н.А. и др. 2023. Биоразнообразие гидробионтов содовых, хлоридных и сульфатных озер Забайкалья. Аридные экосистемы 29 (4): 187-201. DOI: [10.24412/1993-3916-2023-4-187-201](https://doi.org/10.24412/1993-3916-2023-4-187-201)

Таблица 3. Показатели зоопланктона карьера Янтарный

Показатель	Открытая часть водоема			Заросли макрофитов		
	2011 г.	2023 г.	2024 г.	2011 г.	2023 г.	2024 г.
Количество видов	17	15	17	23	22	22
Индекс Шеннона	2.80 ± 0.77	1.16 ± 0.53	2.10 ± 0.54	3.89 ± 0.81	1.66 ± 0.76	2.11 ± 0.54
NClad/NCop	0.16	5.66	0.19	0.79	6.66	1.05
BCrust/BRot	6.21	18.34	191.32	29.02	1.43	1000.02
Индекс сапробности	1.4	1.4	1.7	1.4	1.3	1.6

Гаврилко Д.Е., Золотарева Т.В., Шурганова Г.В. 2019. Видовая структура сообществ зоопланктона зарослей вышших водных растений малой реки (на примере р. Сережа Нижегородской области). Принципы экологии 3: 24–39.

Государственный контроль качества воды. 2003. Справочник технического комитета по стандартизации. М.: ИПК издательство стандартов.

Ермолаева Н.И., Двуреченская С.Я. 2013. Региональные индексы индикаторной значимости зоопланктонных организмов в водоемах юга Западной Сибири. Экология 6: 476–480.

Макрушин А.В. 1974. Библиографический указатель по теме «Биологический анализ качества вод» с приложением списка организмов-индикаторов загрязнения. Л.: Зоол. ин-т АН СССР.

Методы гидробиологических исследований внутренних вод. 2024. В: Крылов А.В. (ред.). ИБВВ РАН. Ярославль: Филигрань.

Моисеенко В.В., Цупикова Н.А., Попов А.А. и др. 2024. Экологическое состояние водоемов системы Голубых озер по результатам гидрохимических исследований в 2023 г. В: Балтийский морской форум: материалы XII Международного Балтийского морского форума 30 сентября – 4 октября 2024 года: в 6 т. Т. 3: Водные биоресурсы, аквакультура и экология водоемов, XII Национальная научная конференция Электрон. дан. Калининград: Изд-во БГАРФ ФГБОУ ВО «КГТУ». С. 219–224.

Моисеенко В.В., Цупикова Н.А. 2019. Изучение внешней нагрузки на пруд Янтарный (Калининградская область) в 2018 году. Вестник молодежной науки 5 (22): 36.

Моисеенко В.В., Цупикова Н.А. 2023. Флористические и экобиоморфологические особенности побережья обводненного карьера Янтарный. Известия КГТУ 70: 34–45. DOI: [10.46845/1997-3071-2023-70-34-45](https://doi.org/10.46845/1997-3071-2023-70-34-45)

Определитель зоопланктона и зообентоса пресных вод Европейской России. Определитель зоопланктона Т. и зообентоса пресных вод Европейской России. 2010. Москва: Товарищество научных изданий КМК, Т. 1. Зоопланктон.

Ривьер И.К., Лазарева В.И., Гусаков В.А. и др. 2001. Состав флоры и фауны Верхней Волги. В: Экологические проблемы Верхней Волги. Ярославль, С. 409–412.

Севостьянова Е.А., Семенова А.С., Дмитриева О.А. и др. 2025. Планктонные сообщества водоемов г. Калининграда. В: Актуальные проблемы планктонологии: V Всероссийская конференция с международным участием. Тезисы докладов. С таксономическим тренингом для молодых ученых, Светлогорск, 08–12 сентября 2025 года. Калининград: Калининградский государственный технический университет, С. 109–110.

Семенова А.С., Жданова С.М., Малин М.И. и др. 2025. Показатели смертности зоопланктона в разнотипных озерных экосистемах Калининградской и Ярославской областей. В: Озера Евразии: проблемы и пути их решения. Материалы III международной конференции (г. Казань, 20–23 мая 2025 г.). Казань: Издательство Академии наук РТ, С. 864–869.

Ташлыкова Н.А., Афонина Е.Ю., Замана Л.В. 2023. Техногенные водоемы (Забайкальский край): экологические особенности. Успехи современного естествознания 8: 66–75. DOI: [10.24412/1993-3916-2022-4-189-200](https://doi.org/10.24412/1993-3916-2022-4-189-200)

Цимдин П.А. 1979. Коловратки как биоиндикаторы сапробности. Гидробиологический журнал 15(4): 63–67.

Цупикова Н.А., Бугранова О.С., Моисеенко В.В. 2017. Возможность организации рыбоводного хозяйства на базе пруда Янтарный (Калининградская область). В: Научно-практические вопросы регулирования рыболовства: Материалы IV Международной научно-технической конференции, Владивосток, 18–19 мая 2017 года. Федеральное агентство по рыболовству. Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет. Владивосток: Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет, С. 280–285.

Clarke K.R., Gorley R.N. 2006. Primer v 6: User Manual. Tutorial. Plymouth: Plymouth Marine Laboratory.

De Meester L., Declerck S., Stoks R. et al. 2005. Ponds and pools as model systems in conservation biology, ecology and evolutionary biology. Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems 15: 715–725.

Goździewska A.M., Koszałka J., Tandyrak R. et al. 2021. Functional Responses of Zooplankton Communities to Depth, Trophic Status, and Ion Content in Mine Pit Lakes. Hydrobiology 848: 2699–2719. DOI: [10.1007/s10750-021-04590-1](https://doi.org/10.1007/s10750-021-04590-1)

Moiseenko V., Semenova A. 2025. Ecological assessment of some watered quarry piles in the Kaliningrad region by hydrochemical and hydrobiological indicators. Proc. YSU C: Geol. Geogr. Sci., 59 (2 (266)): 427–433. DOI: [10.46991/PYSUC.2025.59.2.427](https://doi.org/10.46991/PYSUC.2025.59.2.427)

Pantle R., Buck H. 1955. Die biologische Überwachung der Gewässer und die Darstellung der Ergebnisse. Gasund Wasserfach 96 (18): 604–618. (in German)

Pociecha A., Bielańska-Grajner I., Szarek-Gwiazda E. et al. 2018. Rotifer Diversity in the Acidic Pyrite Mine Pit Lakes in the Sudety Mountains (Poland) Mine Water Environment 37: 518–527. DOI: [10.1007/s10230-017-0492-y](https://doi.org/10.1007/s10230-017-0492-y)

Shannon C.E., Weaver W. 1963. The mathematical theory of communication. Illinois: Urbana.

Shibaeva M.N., Masyutkina E.A., Shibaev S.V. 2018. Hydrobiological characteristics of water bodies in the Kaliningrad Region. The Handbook of Environmental Chemistry 65: 285–316. DOI: [10.1007/978-3-662-59179-9_99](https://doi.org/10.1007/978-3-662-59179-9_99)

Sienkiewicz E., Gąsiorowski M. 2017. The diatom-inferred pH reconstructions for a naturally neutralized pit lake in south-west Poland using the Mining and the Combined pH training sets. The Science of the Total Environment 605: 75–87. DOI: [10.1016/j.scitotenv.2017.06.171](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.06.171)

Sienkiewicz E., Gąsiorowski M. 2019. Natural evolution of artificial lakes formed in lignite excavations based on diatom, geochemical and isotopic data. Journal of Paleolimnology 62 (1): 1–13. DOI: [10.1007/s10933-019-00069-1](https://doi.org/10.1007/s10933-019-00069-1)

Sládeček V. 1973. System of Water Quality from the Biological Point of View. Arch. Hydrobiol. Beih. 7. Ergebnisse der Limnologie. Heft 7:1–218.

Szatyłowicz E., Matulewicz D., Skoczko I. 2015. Assessment of susceptibility to degradation by schindler factor of selected reservoirs in Podlaskie. Journal of Ecological Engineering 16(4): 81–88. DOI: [10.12911/22998993/59353](https://doi.org/10.12911/22998993/59353)

Tang K.W., Gladyshev M.I., Dubovskaya O.P. et al. 2014. Zooplankton carcasses and non-predatory mortality in freshwater and inland sea environments. Journal of Plankton Research 36(3):597–612.

Tavernini S., Viaroli P., Rossetti G. 2009. Zooplankton Community Structure and Inter-Annual Dynamics in Two Sand-Pit Lakes with Different Dredging Impacts. International Review of Hydrobiology 94(3): 290–307. DOI: [10.1002/iroh.200811124](https://doi.org/10.1002/iroh.200811124)