

Subaquatic landscapes of Kenon Lake – the cooling reservoir of Chita TPP-1

Original Article

LIMNOLOGY
FRESHWATER
BIOLOGY

Shoydokov A.B.*, Matafonov P.V.

Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 16a Nedorezova str., Chita, 672014, Russia

ABSTRACT. Natural-technical systems are changing under the influence of climate and anthropogenic activities. Understanding the functioning of such systems is necessary in order to manage them and predict their development. The functioning of cooling reservoirs depends on climatic changes, changes in the level regime and the thermal effect of water discharge from thermal power plants. Understanding the geocological situation in the bottom subsystem of a cooling reservoir is possible based on its study using a landscape approach. This approach is just beginning to be applied to the study of reservoirs. The purpose of the study was to identify and map the subaquatic landscapes of the main part of Kenon Lake. Six facies have been identified in the cooling reservoir of the Chita TPP-1. Facies differed in the type of bottom sediments, the presence of vegetation, the species composition of zoobenthos, as well as their quantitative and qualitative indicators. Facies are grouped into two types of landscapes. They differed in depth, type of sediments and composition of benthic invertebrates. The heated waters from Chita TPP-1 cause the formation of subaquatic landscapes in the northwestern and western parts of Kenon Lake. The results of the study show the current state of the main part of the subaquatic landscapes of Kenon Lake, formed under the influence of natural and natural-technical factors. It gives the opportunity to use geoinformation systems to analyze changes in the subaquatic landscapes and assess the geocological situation in the bottom subsystem of the Kenon Lake.

Keywords: subaquatic landscapes, natural-technical system, thermal power plants, geocological situation, benthic invertebrates, Kenon Lake, geoinformation systems

For citation: Shoydokov A.B., Matafonov P.V. Subaquatic landscapes of Kenon Lake – the cooling reservoir of Chita TPP-1 // Limnology and Freshwater Biology. 2025. - № 2. - P. 187-204. DOI: 10.31951/2658-3518-2025-A-2-187

1. Introduction

The formation, evolution and development of geosystems occurs simultaneously under the influence of climatic, spatial and temporal features of the geographical (landscape) shell of the Earth (Khotinsky, 1977; Sochava, 1978; Nikolaev, 1986; Skrylnik, 2018). However, in recent times, anthropogenic activities have been added to climate change. Its influence has changed the initially formed components of natural systems and the conditions of their functioning. The ongoing changes have led to the emergence of complex natural-technical systems (NTS). The stability and functioning of such systems depends on the state of their natural-technical subsystems. The functioning of the NTS causes the emergence of special geocological situations and conditions (spatio-temporal, environmental,

natural and anthropogenic factors and environmental problems) in its subsystems. The occurrence of a geocological situation affects the life and activities of the population.

One of the most common types of natural engineering systems that carry life-supporting functions are cooling reservoirs. They are NTS, the subaquatic landscapes of which are formed under the influence of additional heat energy and other factors caused by the activity of thermal power plants. In addition, they are connected by a common location and the exchange of matter and energy.

The cooling reservoir of the Chita TPP-1 occupies a central place in the Kenon NTS and is one of the key facilities in the production of heat and energy in the Trans-Basikal Territory (Itgilova et al., 1998). Despite hydrobiological research (Bazarova, 2012;

*Corresponding author.

E-mail address: shdkv1v.sc@yandex.ru (A.B. Shoydokov)

Received: September 10, 2024; **Accepted:** December 13, 2024;

Available online: April 22, 2025

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



Kuklin, 2017; Bazarova and Kuklin, 2023), hydrological (Vologdin, 1972), ecological (Tsybekmitova et al., 2017) and hydrochemical (Tokareva, 2015; Tokareva et al., 2016; Sharapov and Tokareva, 2016; Usmanova et al., 2018) etc. there is insufficient information on the spatial distribution of the components of the bottom subsystem to understand the current geoecological situation for the implementation of measures to preserve, restore and maintain the ecosystem of the Kenon Lake.

Conducting ecologically oriented limnological studies using a landscape approach makes it possible to determine the ecological state of the reservoir (Dudakova and Anokhin, 2021). In our opinion, landscape approach is also applicable to the assessment of the geoecological situation in the Kenon Lake. This approach makes it possible to identify important (vulnerable) areas of subaquatic landscapes that are subject to the greatest anthropogenic impact in the studied NTS.

The purpose of the study is to identify the subaquatic landscapes of the main part of the Chita TPP–1 cooling reservoir by types of bottom sediments, vegetation communities and bottom invertebrates.

2. Materials and methods

Kenon Lake (52.03915°N, 113.38446°E) is one of the largest reservoirs of the Upper Amur basin (Itigilova et al., 1998), located on the northwestern outskirts of Chita within the Chita depression on the second erosive-accumulative floodplain terrace at an altitude of 650 m (Shishkin, 1972). The lake is surrounded by residential buildings, industrial and technological enterprises (Fig. 1). According to the physical and geographical zoning, Kenon Lake belongs to the Chita-Ingodinsky settled-hollow district of the Ingodino-Ononsky hollow-mid-mountain province of the South Siberian Mountain region (Atlas of Transbaikalia, 1967). The climate of the territory is sharply continental. The watershed basin of the reservoir, as well as the Chitino-Ingodinskaya depression as a whole, belongs to areas of insufficient moisture.

In October 2022, according to our data the lake area was 15.2 km², length was 5.6 km, width (average)

was 2.9 km. The average depth was 4.8 m, the maximum depth reached 6.2 m.

The research was carried out on October 21-22, 2022 at 32 monitoring stations evenly distributed across Kenon Lake. The location of the stations was determined by geographical coordinates. Samples of bottom sediments, bottom invertebrates and macrophytes were taken in a single repeat using a Petersen dredger (PD 0.025) with a capture area of 0.025 m². The type of bottom sediments is determined directly on the reservoir in accordance with the guidelines (Abakumov, 1983). The samples of zoobenthos were washed from the soil through a mill sieve with a mesh size of 0.3 mm. Identification and quantitative accounting of organisms of benthic invertebrates was performed using microscopes MBS-10 and MicMed-1. The weight characteristics of the organisms were determined on the scales of the torsion VT-500. Underwater photography of the bottom landscapes of Kenon Lake was carried out in February 2024.

The landscape map was based on the types of sediments, the spatial distribution of macrophytes, as well as benthic invertebrates. The mean error is calculated in Microsoft Excel. Clustering of research stations in order to identify zoobenthos communities was performed in the Statistica 10 program based on the matrix of Serensen-Chekanovsky coefficients in the variant of quantitative characteristics calculated for pairs of stations based on the presence of the species and its biomass. Mapping of subaquatic landscapes of the main part of Kenon Lake and research stations based on the species similarity of benthic invertebrates was performed in the ArcGIS 10.8 program using Spatial Analyst tools without detailing the coastal zone of the reservoir. The map details have been finalized in the CorelDRAW graphics editor.

3. Results and discussion

The results of the performed studies show the heterogeneity of the distribution of bottom sediments, macrophytes and zoobenthos organisms in the main part of the subaquatic landscapes of Kenon Lake (Fig. 2, 3, 4, 5 and 6).

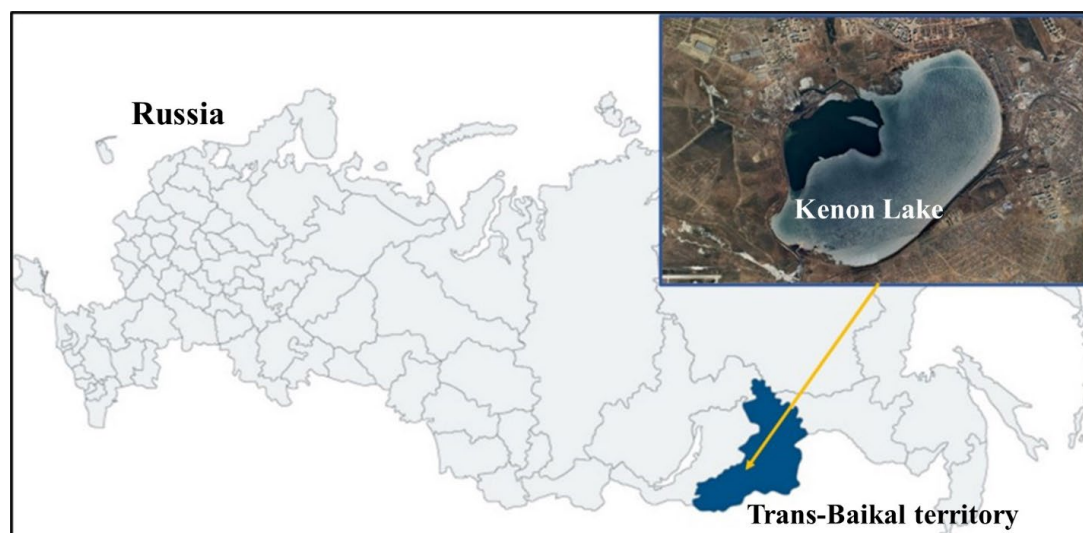


Fig.1. Location of Kenon Lake.

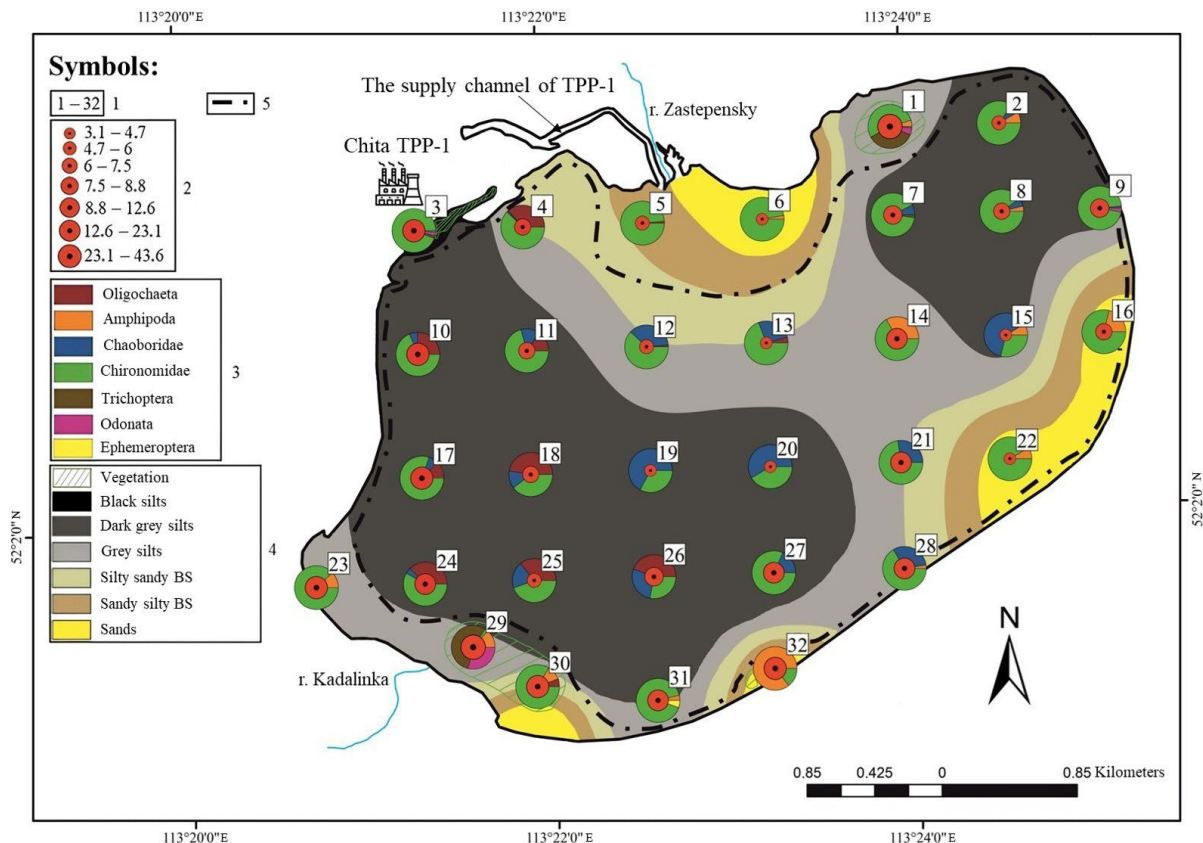


Fig.2. Map-scheme of the distribution of bottom sediments, vegetation and biomass of zoobenthos in the main part of sub-aquatic landscapes of Kenon Lake, October 2022. Symbols: 1 – numbers of research stations; 2 – values of biomass of zoobenthos, g/m²; 3 – zoobenthos; 4 - types of soil, where the BS – bottom sediments; 5 – the boundary between the shallow and deep-water landscapes of the lake.

In October 2022, the predominant type by area of bottom sediments in Kenon Lake were dark gray (47.7%) and gray (23.6%) silts, which together made up 71.3% of the lake area (Fig. 2). The rest lake area consisted of silty-sandy bottom sediments (12.5%), sandy-silty bottom sediments (8.8%), sandy bottom sediments (sands) (6.5%) and black silts (0.6%).

We have identified two main groups of stations based on differences in the species composition and abundance of zoobenthos according to the Serensen-Chekanovsky matrix (Fig. 3, 4). The first group of sta-

tions includes the first and second clusters. The first cluster includes nine mainly coastal research stations, where the abundance of benthic invertebrates of 7880 ± 2668 ind./m² and biomass of 12.8 ± 4.4 g/m² are at a relatively high level. The number of species in the samples here ranged from eight to 12. The indicated in Figure 6 by the symbol «t°» thermal influence stations of Chita TPP-1 in the northwestern and western parts of the lake are assigned to this cluster. The second cluster covers 19 research stations, mainly related to the deep-water part of the lake. Here, in conditions

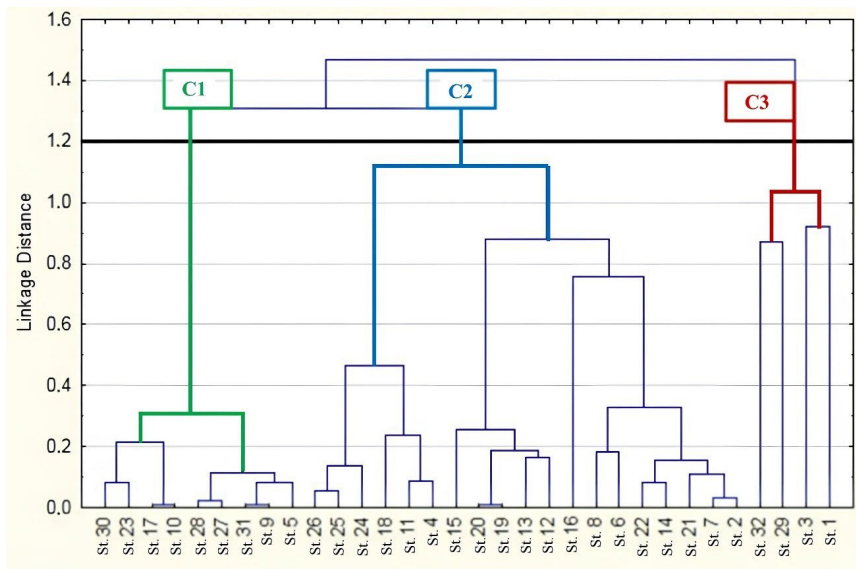


Fig.3. Clustering of zoobenthos research stations, October 2022.

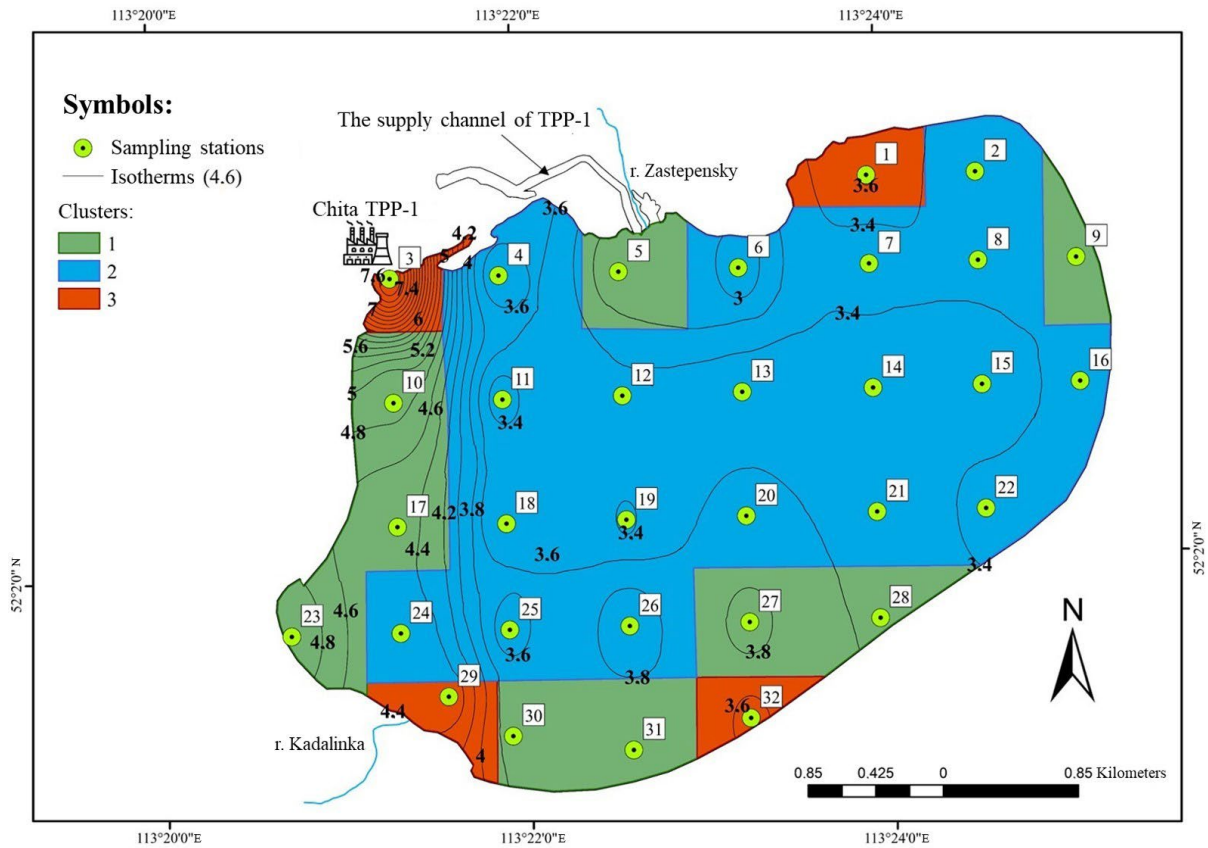


Fig.4. Schematic map of selected clusters (communities) of zoobenthos in Kenon Lake, October 2022.

of low temperature and lack of vegetation, zoobenthos is characterized by low numbers of 2867 ± 290 ind./m², biomass 6.6 ± 0.5 g/m² and diversity (from three to 11 species in the sample). The second group of stations includes only the third cluster, consisting of four stations belonging to a shallow zone up to a depth of 3.5 m (Fig. 2, 4) with vegetation. In comparison with other clusters, this group of stations is characterized by high numbers of 12670 ± 7955 ind./m², a significantly high biomass of 29.9 ± 7 g/m² of benthic invertebrates and a high abundance of species in samples – from 10 to 17.

The analysis of the distribution of zoobenthos communities, vegetation and types of bottom sediments by depth allows us to identify a significant boundary in Kenon Lake (3.8 – 4.1 m) (Fig. 5, 6).

Materials on the distribution of bottom sediments and bottom macrophytes, as well as zoobenthos, make it possible to identify subaquatic landscapes in the main part of the Chita TPP-1 cooling reservoir. In October 2022, they were presented: 1) a shallow landscape (or tract) (up to a depth of 4.1 m), including a shallow sub-landscape without vegetation, and a shallow sub- landscape with vegetation thickets; 2) a deep-water landscape (4.1 – 6.2 m) (Fig. 2).

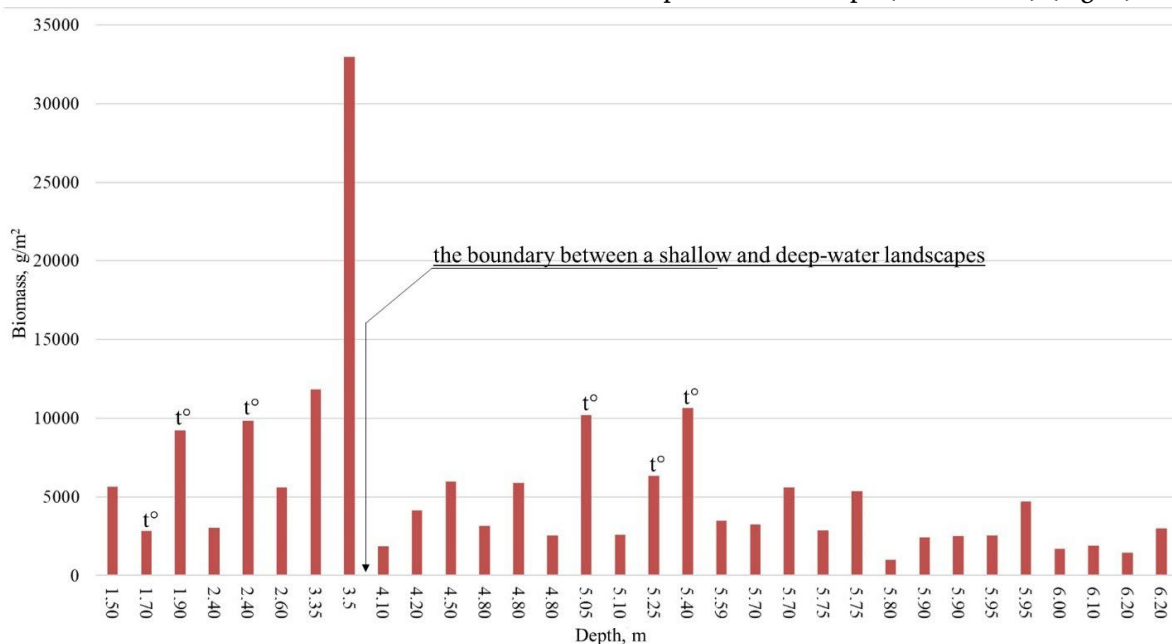


Fig.5. Distribution of the number of benthic invertebrates by depth in Kenon Lake, October 2022.

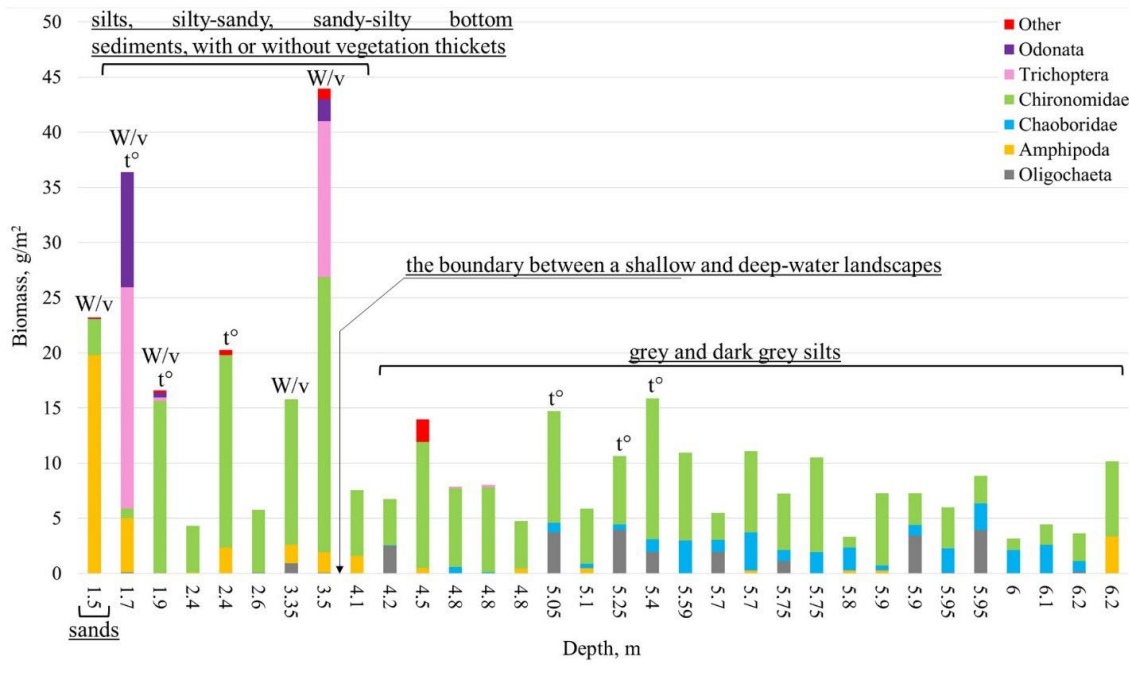


Fig.6. Distribution of biomass of benthic invertebrates by depth in Kenon Lake, October 2022. Symbols: W/v – with vegetation; t° - research stations in the zone of influence of heated waters.

The depth, types of bottom sediments and the presence of vegetation affect the confinement of bottom invertebrates to the landscapes identified by us in the main part of Kenon Lake. (Fig. 7).

The shallow landscape of Kenon Lake is a heterogeneous landscape, including facies of sands, silty-sandy bottom sediments, sandy-silty bottom sediments and silts, with or without vegetation. This landscape is characterized by the highest abundance and biomass of benthic invertebrates, among which the larvae of amphibiotic insects and amphipods predominate.

A shallow subsurface landscape without thickets of vegetation. In the sand facies of the southern part of Kenon Lake at a depth of 1.5 m, the Baikal littoral amphipod *Gmelinoides fasciatus* was the landscape-forming species dominating the zoobenthos in terms of abundance and biomass. In the sand facies of the southern part of Lake Kenon at a depth of 1.5 m the Baikal littoral amphipod *Gmelinoides fasciatus* was a landscape-forming species. It formed the main part of the abundance and biomass of zoobenthos. *Gm. fasciatus* has spread widely and populated many reservoirs of the Russian Federation (Matafonov, 2007; Kurashov et al., 2011a). *Gm. fasciatus* is able to transform the appearance of bottom landscapes by organizing trophic connections. It is involved in the accumulation and migration of chemical elements (Kurashov et al., 2011b). The amphipod connects the shallow and deep-water zones of the lake during its migrations (Shoydokov et al., 2024). From the point of view of management of natural and NTS, it can be used as a bioindicator of the state of bottom habitats (Berezina, 2016) and changes in littoral communities and the climate of the region (Matafonov, 2020).

In the silt facies, the larvae of the chironomids *Tanytarsus bathophilus*, *Tanytus punctipennis* and *Procladius choreus* can be attributed to landscape-forming organisms.

A shallow sub-landscape with thickets of vegetation (Fig. 8). The geoecological role of vegetation is well known, it precipitates suspended particles from the water column, is capable of accumulating heavy metals (Tsybekmitova et al., 2019), changes light and oxygen conditions, etc. In the northwestern part of the lake, at the outlet of the discharge channel of Chita TPP-1, on black silts in dense thickets of *Stuckenia pectinata* at a depth of 1.9 m, the larvae of the chironomids *Psectorcladius zetterstedti* and *Glyptotendipes gripekoveni* dominated in biomass (st. 3). In the northeastern part of the reservoir (st. 1), on gray silts in thickets of *Stuckenia pectinata* at a depth of 3.5 m, the chironomids *Polipedium* sp. (*Chironominae genuiae* N3 Lipina) and *Glyptotendipes gripekoveni*, caddisflies *Cyrrus fennicus*, as well as dragonflies *Ischnura elegans* dominated. In the thickets of *Chara fragilis* and *Stuckenia pectinata* on the sands at a depth of 1.7 m in the southern part of Kenon Lake in biomass in zoobenthos was dominated by caddisflies *Cyrrus fennicus*, dragonflies *Ischnura elegans* and chironomids *Tanytarsus bathophilus*.

The change of the aquatic and terrestrial phases of ontogenesis in dragonflies (Ketenchiev et al., 2018) determines their geoecological role in the transfer of matter from aquatic geosystems to terrestrial ones. A similar role in the littoral tract of Kenon Lake belongs to other amphibiotic insects, for example, caddisflies.

The deep-water landscape of Kenon Lake is a similar bottom landscape with a depth range of 4.1 – 6.2 m, including facies of gray and dark gray silts without vegetation. Low numbers and biomass of zoobenthos characterize this landscape with a predominance of larvae of diptera insects (Fig. 2, 3, 4 and 6). The landscape-forming organisms from zoobenthos here were the larvae of the chironomids *Tanytarsus bathophilus*, *Procladius choreus* and *Tanytus punctipennis*, oligochaetes *Limnodrilus hoffmeisteri* and the nectobentic chaoborids *Chaoborus flavicans*. The microrelief of the

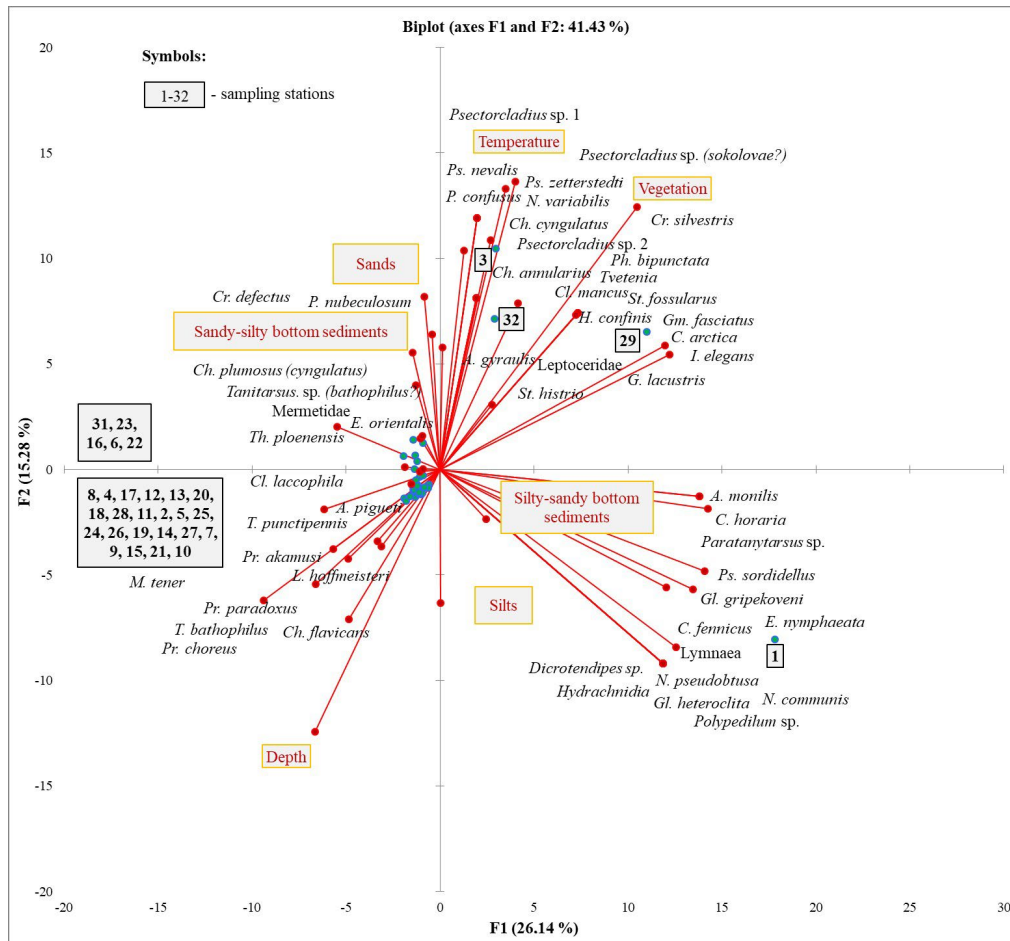


Fig.7. Distribution of zoobenthos species in the main part of the subaquatic landscapes of Kenon Lake depending on environmental factors, October 2022.

deep landscape (Fig. 9) represents numerous pits with houses of chironomids of the genus *Tanytarsus* on the surface of bottom sediments. Presumably, in the subaquatic landscapes of Kenon Lake, pits are formed when carp feed on zoobenthos organisms.

It is known that *Prosilocerus akamusi* chironomids, through their irrigation activities, contribute to the penetration of oxygen into deeper layers of bottom sediments, thereby influencing the reduction of phosphorus and iron content in them (Wenming et al., 2019; Yang et al., 2021). In Kenon Lake, in the deep-water landscape of the bottom subsystem, such a function, in addition to the chironomids *Prosilocerus akamusi* living in it, belongs to oligochaetes tubificides.

In the self-purification of natural-technical reservoirs, a significant role is played by chironomids during their emergence. According to research materials from 2004 (Klishko et al., 2005) in Kenon Lake, *Chironomus plumosus*, as the most widespread species of representatives of chironomids, made a significant contribution to its self-purification. In October 2022, the most common representative of the chironomids was *Tanytarsus bathophilus*. Presumably, he played a significant role in the self-purification of the cooling reservoir of the Chita TPP-1.

Changes in the subaquatic landscapes of the Chita TPP-1 cooling reservoir. It is difficult to identify patterns of changes in the types of bottom sedi-



Fig.8. Shallow subsurface landscape with vegetation thickets in the southern part of Kenon Lake, February 2024. 1 – facies of sands with thickets of *Chara tomentosa* and rags of *Stuckenia pectinata* at a depth of 1.5 m; 2 – facies of sandy silts with thickets of *Stuckenia pectinata* and *Chara fragilis* at a depth of 4.5 m.

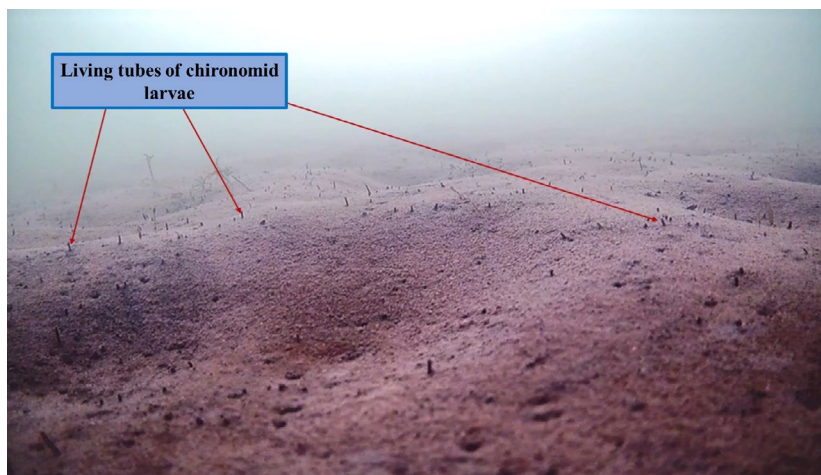


Fig.9. Deep-water landscape in the southern part of Kenon Lake, February 2024.

ments in Kenon Lake due to the lack of their maps. It can be assumed that in comparison with the materials of previous studies in 1985-1991 (Itigilova et al., 1998) the spatial distribution of bottom sediments has not undergone any significant changes. The reservoir level changes due to the climate and pumping of water from the Ingoda River. There is no doubt that the area of distribution of sands, silted sands, silts, etc. is affected by changes in the level regime of the lake. As in other reservoirs of the Trans-Baikal Territory (Matafonov, 2020), in dry years, dehumidification of sediments characteristic of shallow areas occurred in Kenon Lake. Rising water levels in the lake by 2022 contributed to their flooding.

Kenon Lake is a shallow reservoir of water characterized by significant changes in the degree of vegetation overgrowth. In 1986-1991, more than a third of the lake bottom area was covered with macrophytes, mainly Chara algae (Itigilova et al., 1998). In October 2022, macrophytes were present only at five of the 32 research stations and only up to a depth of 3.5 m and were mainly represented by pondweed (Fig. 2). According to the theory of the functioning of shallow lakes (Scheffer and Egbert, 2007), changes in the degree of overgrowth can be caused by the content of nutrients, the influence of fish, changes in lake level, the influence of climatic factors, etc.

Due to the limited distribution of benthic macrophytes, the main landscape-forming component in the cooling reservoir of Chita TPP-1 in October 2022 was benthic invertebrates. As with benthic macrophytes, the zoobenthos of Kenon Lake is subject to significant changes. In 1985-1991, the biomass structure of the Kenon Lake zoobenthos was dominated by chironomids of the genus *Chironomus* gr. *plumosus* and *Procladius ferrugineus*, mollusks *Sphaerium corneum* and *Pisidium inflatum*, oligochaetes *Tubifex tubifex* and chaoborids *Chaoborus cristallinus* (Itigilova et al., 1998). The biomass of chironomus in different parts of the lake during this period was about 50% of the mass of all zoobenthos organisms. In October 2022, chironomids of the genus *Chironomus* was found only once, mollusks *Sphaerium corneum* and *Pisidium inflatum*, oligochaetes *Tubifex tubifex* were not found. From the former composition of the dominants in 2022, the deep-water landscape was

dominated by chironomids of the genus *Procladius*, to which *Tanytarsus* and *Tanytus*, as well as chaoborids, were added. *Procladius choreus* is one of the five species of Tanytopodines found massively in hypertrophic reservoirs (Anikina, 2012), in areas where there is minimal transparency, low oxygen content and high organic matter content. In a shallow landscape, a landscape-forming species has recently moved into the lake. The Kenon Baikal littoral amphipod *Gmelinoides fasciatus* is a species that avoids habitats with hypoxia and exposure to heated waters of power plants (Berezina, 2016).

4. Conclusions

For subaquatic landscapes formed in the cooling reservoir of the Chita TPP-1, six facies have been identified. Facies differed in the type of bottom sediments, bottom microrelief, and species composition of zoobenthos organisms. Facies are grouped into two types of landscape, which differ in morphometric parameters, the presence of vegetation and the composition of benthic invertebrates. In the northwestern and western parts of the lake, the formation of subaquatic landscapes occurs under the thermal influence of the Chita TPP-1. In the absence of vegetation at most stations, the landscape-forming organisms in the littoral landscape were amphipods (*Gmelinoides fasciatus*). In the facies of the deep-water landscape were chironomids (*Tanytarsus*, etc.), as well as oligochaetes *Limnodrilus*, and chaoborids leading a nectobenthic lifestyle. The composition of the landscape-forming organisms of zoobenthos determines the geoecological functions of benthic biota in the geosystem of the cooling reservoir (contribution to geochemical cycles; organization of links between aquatic and terrestrial geosystems; monitoring of the quality of the aquatic environment, etc.).

The obtained data for the first time give an idea of the current state of the subaquatic landscapes of Kenon Lake, formed under the influence of natural and natural-technical factors. The use of GIS technologies becomes possible in the analysis of changes, as well as in the assessment of the geoecological situation in the bottom subsystem of the lake.

Acknowledgements

The work was carried out according to the Program of Fundamental scientific research of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences "Geoecology of aquatic ecosystems of Transbaikalia in the conditions of modern climate and technogenesis, basic approaches to the rational use of waters and their biological resources" (state registration No. 121032200070-2).

The authors of the article express their gratitude to the head of the Laboratory of Aquatic Ecosystems, senior researcher, PhD B.B. Bazarova for assistance in identifying macrophytes, as well as senior researcher of the Laboratory of Aquatic Ecosystems, PhD N.A. Tashlykova for advice on the application of the method of multidimensional statistics.

Conflict of Interest

The authors declare that there is no conflict of interest.

References

- Abakumov V.A. 1983. Guidelines on methods of hydrobiological analysis of surface waters and bottom sediments. Leningrad: Hydrometeorological Publishing House. (in Russian)
- Anikina M.A. 2012. Ecological characteristics of the chironomid genus *Procladius* Skuse, 1889 (Diptera, Chironomidae) of the fauna of Russia. *Entomologicheskie i parazitologicheskie issledovaniya v Povolzh'e* [Entomological and parasitological studies in the Volga region] 10: 69-72. (in Russian)
- Atlas of Transbaikalia (Buryat ASSR and Chita region). 1967. Sochava V.B. Irkutsk: GUGK. (in Russian)
- Bazarova B.B., Kuklin A.P. 2023. The experience of using ocular and sonar surveys in the study of submerged aquatic vegetation of Kenon Lake (Eastern Transbaikalia). *Problemy botaniki Yuzhnoj Sibiri i Mongolii* [Problems of botany in Southern Siberia and Mongolia] 22(2): 34-38. (in Russian)
- Bazarova B.B. 2012. Long-term vegetation changes in Kenon Lake (Zabaikalsky Krai). *Izvestiya Irkutskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya «Biologiya. Ekologiya»* [Proceedings of Irkutsk State University. The series "Biology. Ecology"] 5(4): 18-23. (in Russian)
- Berezina N.A. 2016. The experience of using a new bio-indicator (*Gmelinoides fasciatus*) to assess the state of these habitats in the Gulf of Finland. *Voda: himiya i ekologiya* [Water: Chemistry and Ecology] 4: 42-49. (in Russian)
- Dudakova D.S., Anokhin V.M. 2021. Subaquatic landscapes of the Mantsinsaari and Lunkulansaari islands in the Riphean uplift zone in the eastern part of Lake Ladoga. *Izvestiya Rossijskoj akademii nauk. Seriya geograficheskaya* [News of the Russian Academy of Sciences. Geographical Series] 85(3): 433-445. (in Russian)
- Itigilova M.C., Chechel A.P., Zamana L.V. et al. 1998. Ecology of an urban reservoir. Novosibirsk: SB RAS. (in Russian)
- Ketenchiev H.A., Kozminov S.G., Amkhaeva L.Sh. et al. 2018. Ecological-faunal and zoogeographic analysis of dragonflies (Odonata) of the steppe zone of the northern macroscline of the Central Caucasus. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo centra Rossijskoj akademii nauk* [Proceedings of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences] 5(3): 433-440. (in Russian)
- Khotinsky N.A. 1977. The Holocene of Northern Asia. Moscow: Nauka. (in Russian)
- Klishko O.K., Avdeev D.V., Zazulina E.V. et al. 2005. The role of chironomids (Diptera, Chironomidae) in the biological migration of chemical elements in the ecosystem of anthropogenic reservoirs. In: *Readings in memory of Vladimir Yakovlevich Levanidov*, pp. 360. (in Russian)
- Kuklin A.P. 2017. Filamentous algae of Kenon Lake as an object of bioremediation. *Mezhdunarodnyj zhurnal prikladnyh i fundamental'nyh issledovanij* [International Journal of Applied and Fundamental Research] 3: 85-88. (in Russian)
- Kurashov E.A., Barbashova M.A., Barkov D.V. et al. 2011. General characteristics of the composition of alien species in the littoral zone of Lake Ladoga. In: Kurashov E.A. (Ed.), *The littoral zone of Lake Ladoga*. St. Petersburg, pp. 279-284. (in Russian)
- Kurashov E.A., Barkov D.V., Rusanov A.G. et al. 2011. The role of *G. fasciatus* in the formation of a transboundary flow of matter and energy in the littoral zone of Lake Ladoga. In: Kurashov E.A. (Ed.), *The littoral zone of Lake Ladoga*. St. Petersburg, pp. 350-356. (in Russian)
- Matafonov D.V. 2007. Ecology of *Gammarus lacustris* Sars (Crustacea: Amphipoda) in the reservoirs of Transbaikalia. *Izvestiya Rossijskoj akademii nauk. Seriya biologicheskaya* [Proceedings of the Russian Academy of Sciences. Biological series] 2: 188-196. (in Russian)
- Matafonov P.V. 2020. The life cycle of *Gmelinoides fasciatus* (Stebbing, 1899) and *Gammarus lacustris* (Sars, 1863) in Lake Arachlei during the extremely low-water phase of the hydrological cycle. *Amurskij zoologicheskij zhurnal* [Amur Zoological Journal] 12(1): 16-25. (in Russian)
- Nikolaev V.A. 1986. The principle of historicism in modern landscape studies. *Vestnik Moskovskogo Unversiteta, Seriya Geografiya* [Bulletin of the Moscow State University. Geography Series] 2: 3-10. (in Russian)
- Scheffer M., Egbert H. 2007. Shallow lakes theory revisited: various alternative regimes driven by climate, nutrients, depth and lake size. *Hydrobiologia* 584(1): 455-466. DOI: [10.1007/s10750-007-0616-7](https://doi.org/10.1007/s10750-007-0616-7)
- Sharapov N.M., Tokareva O.Y. 2016. Problems of TPP water supply from a natural reservoir and ways to solve them using the example of Kenon Lake in Chita (Zabaikalsky Krai). *Vodoochistka. Vodopodgotovka. Vodospabzhenie* [Water treatment. Water supply] 3(99): 36-46. (in Russian)
- Shishkin B.A. 1972. Physical and geographical characteristics of Kenon Lake (the cooling reservoir of the Chita GRES). *Zapiski Zabajkal'skogo otdeleniya Russkogo geograficheskogo obshchestva* [Notes of the Trans-Baikal branch of the Geographical Society of the USSR] 62: 3-16. (in Russian)
- Shoydokov A.B., Matafonov P.V., Borzenko S.V. 2024. Geoecological functions of the Baikal endemic amphipod *Gmelinoides fasciatus* in the bottom subsystem of the cooling reservoir of the Chita TPP-1. *Izvestiya Russkogo geograficheskogo obshchestva* [The Russian Geographical Society Herald] 156 (S2-1): 169-177. (in Russian)
- Skrylnik G.P. 2018. Space-time in the development of geosystems and natural risks. *Nauchnye gorizonty* [Scientific Horizons] 6(10): 123-148. (in Russian)
- Sochava V.B. 1978. Introduction to the doctrine of geosystems. Novosibirsk: Nauka. (in Russian)
- Tokareva O.Y. 2015. Changes in the chemical composition of Kenon Lake water under the influence of anthropogenic activity in its catchment area. *Vodnye resursy i vodorpol'zovanie* [Water resources and water use] 7: 55-66. (in Russian)
- Tokareva O.Yu., Semenyuk M.P., Zaslonsky V.N. et al. 2016. Long-term changes in the chemical composition of lake waters. Kenon is influenced by CHP-1. In: XVI International Scientific and Practical Conference Kulagin readings: tech-

niques and technologies of production processes, pp. 139. (in Russian)

Tsybekmitova G.Ts., Kuklin A.P., Tashlykova N.A. et al. 2017. Ecological state of Lake Kenon – cooling reservoir of TPP-1 (Zabaikalsky Krai). *Vestnik Novosibirskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta* [Bulletin of Novosibirsk State Pedagogical University] 7(3): 194-208. DOI: [10.15293/2226-3365.1703.12](https://doi.org/10.15293/2226-3365.1703.12) (in Russian)

Tsybekmitova G.Ts., Kuklin A.P., Tsyganok V.I. 2019. Heavy Metals in Bottom Sediments of Lake Kenon (The Trans-Baikal Territory, Russia). *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* 103: 286-291.

Usmanova L.I., Zamana L.V., Usmanov M.T. 2018. Geochemistry of groundwater and surface waters in the zone of influence of the Chita TPP-1 ash dump. In: Proceedings of the third All-Russian Scientific conference with international participation “Geological evolution of the interaction of water with rocks, pp. 379. DOI: [10.31554/978-5-7925-0536-0-2018-379-382](https://doi.org/10.31554/978-5-7925-0536-0-2018-379-382) (in Russian)

Vologdin M.P. 1972. Field studies of the hydrothermal regime of the Chitinskaya GRES cooling reservoir. *Zapiski Zabajkal'skogo filiala geograficheskogo obshchestva SSSR* [Notes of the Trans-Baikal branch of the Geographical Society of the USSR] 62: 16-24. (in Russian)

Wenming Y., Musong C., Ling L. et al. 2019. Mechanism of phosphorus mobility in sediments with larval (*Propiloceris akamusi*) bioturbation. *Environmental Science and Pollution Research* 27(7): 7538-7548. DOI: [10.1007/s11356-019-07404-z](https://doi.org/10.1007/s11356-019-07404-z)

Yang W., Yao J., He Y. et al. 2021. Nitrogen removal enhanced by benthic bioturbation coupled with biofilm formation: A new strategy to alleviate freshwater eutrophication. *Journal of Environmental Management* 292(20): 112814. DOI: [10.1016/j.jenvman.2021.112814](https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112814)

Подводные ландшафты озера Кенон – водоема-охладителя Читинской ТЭЦ-1

Оригинальная статья

LIMNOLOGY
FRESHWATER
BIOLOGY

Шойдоков А.Б.^{1*}, Матафонов П.В.¹

Институт природных ресурсов, экологии и криологии Сибирского отделения Российской академии наук, ул. Недорезова, 16а, г. Чита, 672014, Россия

АННОТАЦИЯ. Изменение природно-технических систем под влиянием климата и антропогенной деятельности обуславливает необходимость понимания особенностей их функционирования для дальнейшего прогнозирования их развития, а также управления. Водоёмы-охладители – природно-технические системы, функционирование которых зависит от климатических изменений, изменений уровня режима и термического влияния сброса вод с теплоэлектростанций. Понимание геоэкологической ситуации в донной подсистеме водоема возможно на основе её изучения с применением ландшафтного подхода, который только начинает использоваться по отношению к изучению водоемов. Целью исследования стало выделение и картографирование подводных ландшафтов основной части озера Кенон. В водоеме-охладителе Читинской ТЭЦ-1 выявлено шесть фаций, различающихся типом донных отложений, наличием растительности, видовым составом зообентоса, их количественными и качественными показателями. Фации сгруппированы в два типа урочищ, различающихся по глубине, типу донных отложений и составу донных беспозвоночных. Формирование подводных ландшафтов в северо-западной и западной части озера Кенон происходит под влиянием повышенной придонной температуры сбросной воды Читинской ТЭЦ-1. Полученные данные впервые дают представление о современном состоянии основной части подводных ландшафтов озера Кенон, сформированном под влиянием природных и природно-технических факторов, а также открывают возможность использования геоинформационных систем при анализе их изменений и оценке геоэкологической ситуации в донной подсистеме озера.

Ключевые слова: подводные ландшафты, природно-техническая система, теплоэлектростанции, геоэкологическая ситуация, донные беспозвоночные, озеро Кенон, геоинформационные системы

Для цитирования: Шойдоков А.Б., Матафонов П.В. Подводные ландшафты озера Кенон – водоема-охладителя Читинской ТЭЦ-1 // Limnology and Freshwater Biology. 2025. - № 2. - С. 187-204. DOI: 10.31951/2658-3518-2025-A-2-187

1. Введение

Формирование, эволюция и развитие геосистем происходит одновременно под влиянием климатических, пространственных и временных особенностей географической (ландшафтной) оболочки Земли (Хотинский, 1977; Сочава, 1978; Николаев, 1986; Скрыльник, 2018). Однако, в недавнее время к климатическим изменениям добавилась антропогенная деятельность, влияние которой изменило изначально сформировавшиеся компоненты природных систем и условия их функционирования. Происходящие изменения привели к появлению сложных природно-технических систем

(ПТС), устойчивость и функционирование которых зависит как от состояния её природной, так и технической подсистем. Функционирование ПТС обуславливает появление особых геоэкологических ситуаций и условий (пространственно-временных, средообразующих, природно-антропогенных факторов и экологических проблем) в её подсистемах, существенно влияющих на жизнь и деятельность населения.

Одними из распространенных типов природно-технических систем, несущих в себе жизнеобеспечивающие функции, являются водоемы-охладители. Они представляют собой ПТС, подводные ландшафты которых формируются под влиянием

*Автор для переписки.

Адрес e-mail: shdkvlv.sc@yandex.ru (А.Б. Шойдоков)

Поступила: 10 сентября 2024; **Принята:** 13 декабря 2024;
Опубликована online: 22 апреля 2025

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



дополнительного поступления тепловой энергии и других факторов, обусловленных деятельностью теплоэлектростанций, и связаны между собой общим местоположением и обменом веществом и энергией.

Водоём-охладитель Читинской ТЭЦ-1 занимает центральное место в Кенонской природно-технической системе и является одним из ключевых объектов в производстве тепла и энергии в Забайкальском крае (Итигилова и др., 1998). Несмотря на гидробиологические (Базарова, 2012; Куклин, 2017; Базарова и Куклин, 2023), гидрологические (Вологдин, 1972), экологические (Цыбекмитова и др., 2017) и гидрохимические (Токарева, 2015; Токарева и др., 2016; Шарапов и Токарева, 2016; Усманова и др., 2018) исследования водоёма для понимания сложившейся геоэкологической ситуации в озере Кенон и осуществлению мероприятий по сохранению, восстановлению и поддержанию его экосистемы недостаточно сведений о пространственном распределении компонентов донной подсистемы.

Проведение экологически ориентированных лимнологических исследований с использованием ландшафтного подхода позволяет определить экологическое состояние водоёма (Дудакова и Анохин, 2021). На наш взгляд такой подход применим и к оценке геоэкологической ситуации в оз. Кенон, т.к. он позволяет выделить ключевые (уязвимые) части подводных ландшафтов наиболее высокого антропогенного воздействия в изучаемой природно-технической системе.

Цель исследования – выделить подводные ландшафты основной части водоёма-охладителя Читинской ТЭЦ-1 по типам донных отложений, сообществам растительности и донных беспозвоночных.

2. Материалы и методы исследования

Озеро Кенон (52.03915°с.ш., 113.38446°в.д.) – один из самых крупных водоёмов Верхнеамурского бассейна (Итигилова и др., 1998), находящийся на северо-западной окраине г. Читы в пределах Читинской котловины на второй эрозионно-акку-

мулятивной надпойменной террасе на высоте 650 м (Шишкин, 1972), в окружении городских жилых, промышленных и технологических предприятий (Рис. 1). В своем физико-географическом положении водоём включает в Читино-Ингодинский остепненно-котловинный округ Ингодино-Ононской котловинно-среднегорной провинции Южно-Сибирской горной области (Атлас Забайкалья, 1967). Климат территории резко-континентальный. Бассейн водоёма, как и Читино-Ингодинская котловина в целом, относится к районам недостаточного увлажнения.

По нашим данным на октябрь 2022 г. площадь озера составляла 15,2 км², длина – 5,6 км, ширина (средняя) – 2,9 км. Средняя глубина – 4,8 м, максимальная – 6,2 м.

Исследования выполнены 21-22 октября 2022 г. на 32-х мониторинговых станциях, равномерно распределенных по озеру Кенон. Местоположение станций определяли по географическим координатам. Пробы донных отложений, донных беспозвоночных и макрофитов отобраны в однократной повторности с использованием дночерпателя Петерсена (ДЧ 0,025) с площадью захвата 0,025 м². Тип донных отложений определен непосредственно на водоёме в соответствии с руководством (Абакумов, 1983). Пробы зообентоса отмыты от грунта через мельничное сито с размером ячеек 0,3 мм. Идентификация и количественный учёт организмов донных беспозвоночных выполнен с использованием микроскопов МБС-10 и МикМед-1. Весовые характеристики организмов определены на весах торсионных ВТ-500. Подводная фотосъемка донных ландшафтов озера Кенон выполнена в феврале 2024 г.

Ландшафтную карту составляли на основе типов донных отложений, пространственного распределения макрофитов, а также донных беспозвоночных. Ошибка среднего рассчитана в программе Microsoft Excel. Кластеризация станций исследования с целью выделения сообществ зообентоса выполнена в программе Statistica 10 на основе матрицы коэффициентов Серенсена-Чекановского в варианте количественных признаков, рассчитанной для пар станций по присутствию вида и его биомассе. Картирование подводных ландшафтов основ-



Рис.1. Расположение озера Кенон.

ной части озера Кенон и станций исследования на основе видового сходства донных беспозвоночных выполнено в программе ArcGIS 10.8 с использованием инструментов Spatial Analyst без учёта береговой зоны водоёма. Доработка деталей карты выполнена в графическом редакторе CorelDraw.

3. Результаты и обсуждение

Результаты выполненных исследований показывают неоднородность распределения донных отложений, макрофитов и организмов зообентоса в основной части подводных ландшафтов озера Кенон (Рис. 2, 3, 4, 5 и 6).

Преобладающим по площади типом донных отложений в озере Кенон в октябре 2022 г. являлись тёмно-серые (47,7 %) и серые (23,6 %) илы, в совокупности, составившие 71,3 % от площади бентали (Рис. 2). Остальную её часть составили илесто-песчаные донные отложения (12,5 %), песчано-илистые донные отложения (8,8 %), песчаные донные отложения (пески) (6,5 %) и черные илы (0,6 %).

Различия видового состава и обилия зообентоса позволили выделить две основные группы станций на основе матрицы Серенсена-Чекановского (Рис. 3, 4). Первая группа станций включает первый и второй кластеры. К первому кластеру относятся девять преимущественно прибрежных станций исследования, где показатели численности донных беспозвоночных 7880 ± 2668 экз./м² и биомассы $12,8 \pm 4,4$ г/м² находятся на относительно

высоком уровне. Количество видов в пробах здесь находилось в диапазоне от восьми до 12. К этому кластеру отнесены станции термического влияния Читинской ТЭЦ-1 в северо-западной и западной части озера, обозначенные на Рисунке 6 символом «t°». Второй кластер охватывает 19 станций исследования, относящихся преимущественно к глубоководной части озера. Здесь, в условиях невысокой температуры и отсутствия растительности зообентос характеризуется низкими показателями численности 2867 ± 290 экз./м², биомассы $6,6 \pm 0,5$ г/м² и разнообразия (от трех до 11 видов в пробе). Вторая группа станций включает только третий кластер, состоящий из четырех станций, относящихся к мелководной зоне до глубины 3,5 м (Рис. 2, 4) с растительностью. В сравнении с остальными кластерами эта группа станций отличается высокими показателями численности 12670 ± 7955 экз./м², существенно высокой биомассой $29,9 \pm 7$ г/м² донных беспозвоночных и высоким обилием видов в пробах – от 10 до 17.

Анализ распределения компонентов донной подсистемы позволяет выделить значимую в озере Кенон границу (3,8 – 4,1 м) в распределении сообществ зообентоса, растительности и типов донных отложений по глубине (Рис. 5, 6).

Материалы о распределении донных отложений и донных макрофитов, а также зообентоса позволяют выделить подводные ландшафты в основной части водоёма-охладителя Читинской ТЭЦ-1. В октябре 2022 г. они были представлены:

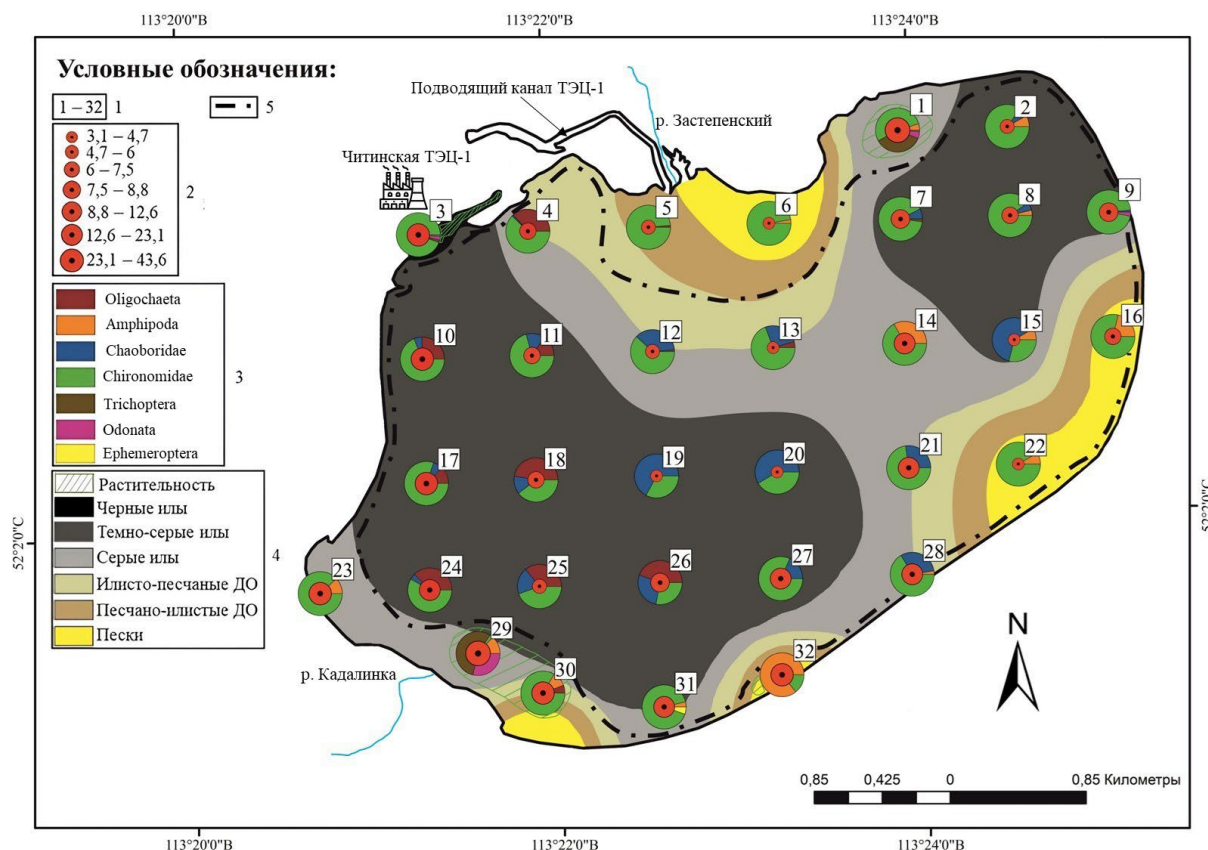


Рис.2. Карта-схема распределения донных отложений, растительности и биомассы зообентоса в основной части подводных ландшафтов озера Кенон, октябрь 2022 г. Условные обозначения: 1 – номера станций исследования; 2 – значения биомассы зообентоса, г/м²; 3 – зообентос; 4 - типы грунта, где ДО – донные отложения; 5 – граница между мелководной и глубоководной зоной озера.

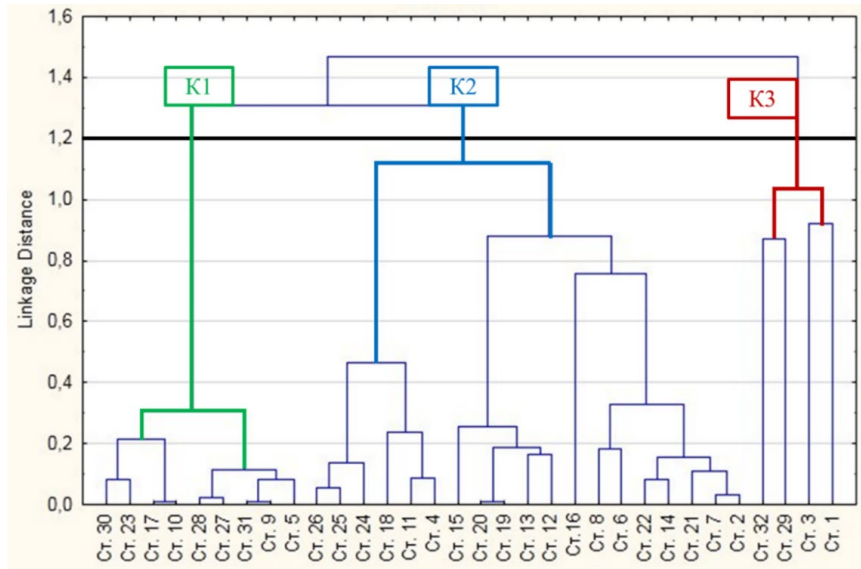


Рис.3. Кластеризация станций исследования по зообентосу, октябрь 2022 г.

1) мелководным урочищем (до глубины 4,1 м), включающим мелководное подурочище без растительности, и мелководное подурочище с зарослями растительности; 2) глубоководным урочищем (4,1 – 6,2 м) (Рис. 2).

Факторы окружающей среды (глубина, типы донных отложений и наличие растительности) влияют на приуроченность донных беспозвоночных к выделенным нами в основной части озера Кенон урочищам (Рис. 7).

Мелководное урочище озера Кенон представляет собой неоднородный ландшафт, включающий фации песков, илесто-песчаных донных отложений, песчано-илистых донных отложений и илов, с

растительностью или без таковой и характеризующийся наибольшими показателями численности и биомассы донных беспозвоночных, среди которых преобладают личинки амфибиотических насекомых и амфиподы.

Мелководное подурочище без зарослей растительности. В фации песков южной части озера Кенон на глубине 1,5 м ландшафтообразующим видом, доминирующим в зообентосе по численности и биомассе, была байкальская литоральная амфипода *Gmelinoides fasciatus*. Она широко распространилась и заселила многие водоёмы Российской Федерации (Матафонов, 2007; Курашов и др., 2011a). *Gm. fasciatus* способен преобразовы-

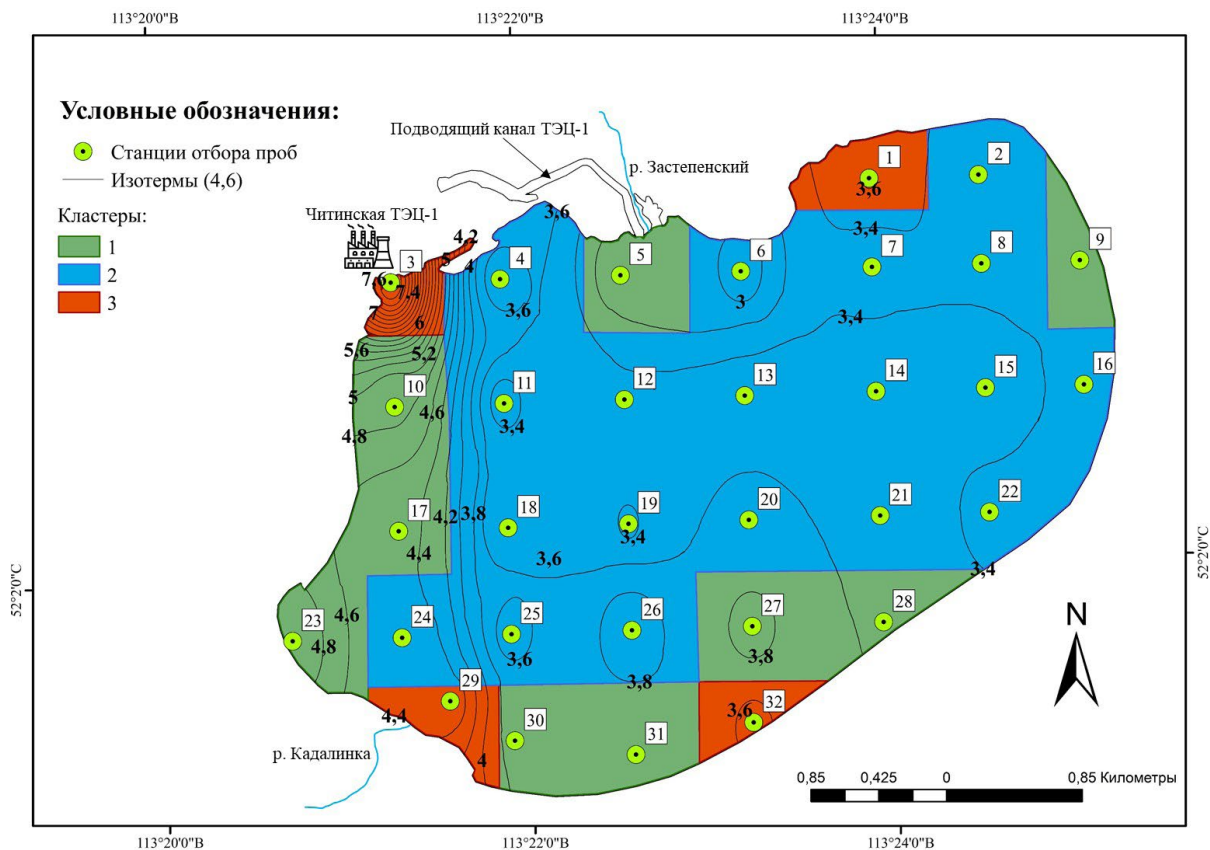


Рис.4. Карта-схема выделенных кластеров (сообществ) по зообентосу в озере Кенон, октябрь 2022 г.



Рис.5. Распределение численности донных беспозвоночных по глубине в озере Кенон, октябрь 2022 г.

вать облик донных ландшафтов путем организации трофических связей, участвует в накоплении и миграции химических элементов (Курашов и др., 2011b), осуществляет связь мелководной и глубоководной зон озера во время своих миграций (Шойдоков и др., 2024). С точки зрения управления природными и природно-техническими системами может быть использован в качестве биоиндикатора состояния донных местообитаний (Березина, 2016) и изменения литоральных сообществ и климата региона (Матафонов, 2020).

В фации илов к ландшафтообразующим организмам можно отнести личинок хирономид *Tanytarsus bathophilus*, *Tanypus punctipennis* и *Procladius choreus*.

Мелководное подурочище с зарослями растительности (Рис. 8). Геоэкологическая роль растительности общеизвестна, она осаждает взве-

шенные частицы из водной толщи, способна аккумулировать тяжелые металлы (Tsybekmitova et al., 2019), изменяет световые и кислородные условия и т.д. В северо-западной части озера, на выходе из сбросного канала Читинской ТЭЦ-1, на черных илах в густых зарослях *Stuckenia pectinata* на глубине 1,9 м по биомассе доминировали личинки хирономид *Psectorcladius zetterstedti* и *Glyptotendipes gripekoveni* (ст. 3). В северо-восточной части водоёма (ст. 1) на серых илах в зарослях *Stuckenia pectinata* на глубине 3,5 м, доминировали хирономиды *Polipedium* sp. (*Chironominae genuiae* N3 Lipina) и *Glyptotendipes gripekoveni*, ручейники *Cyrrnus fennicus*, а также стрекозы *Ischnura elegans*. В южной части озера Кенон (ст. 29 и 30) на песках в зарослях *Chara fragilis* и *Stuckenia pectinata* на глубине 1,7 м по биомассе в зообентосе доминировали ручейники *Cyrrnus fennicus*, стрекозы *Ischnura elegans* и хирономиды *Tanytarsus bathophilus*.

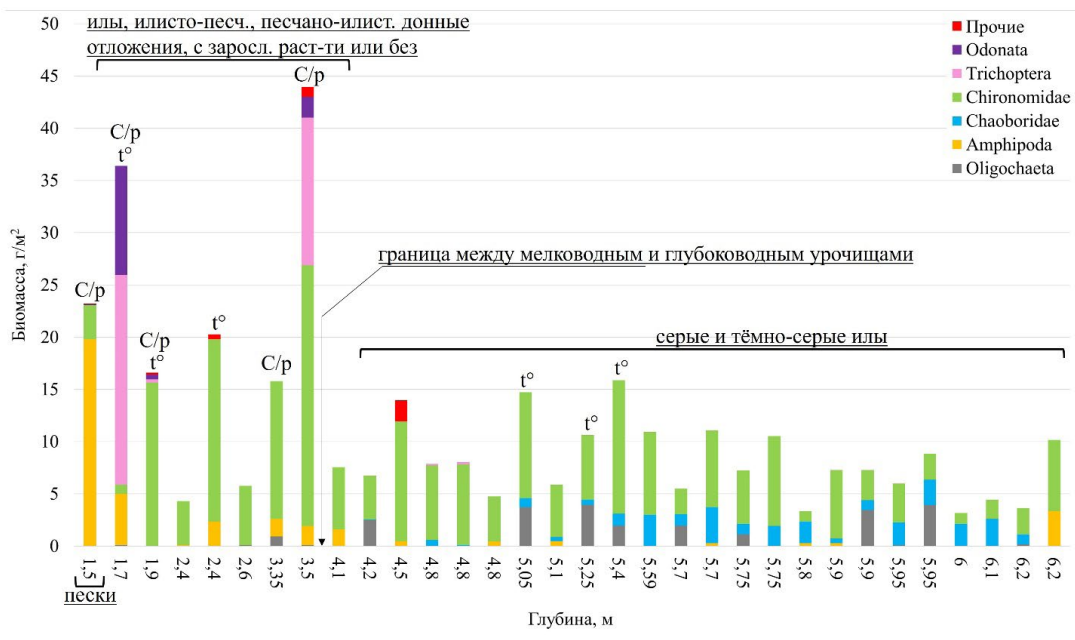


Рис.6. Распределение биомассы донных беспозвоночных по глубине в озере Кенон, октябрь 2022 г. Условные обозначения: С/р – с растительностью; т° - станции исследования в зоне влияния подогретых вод.

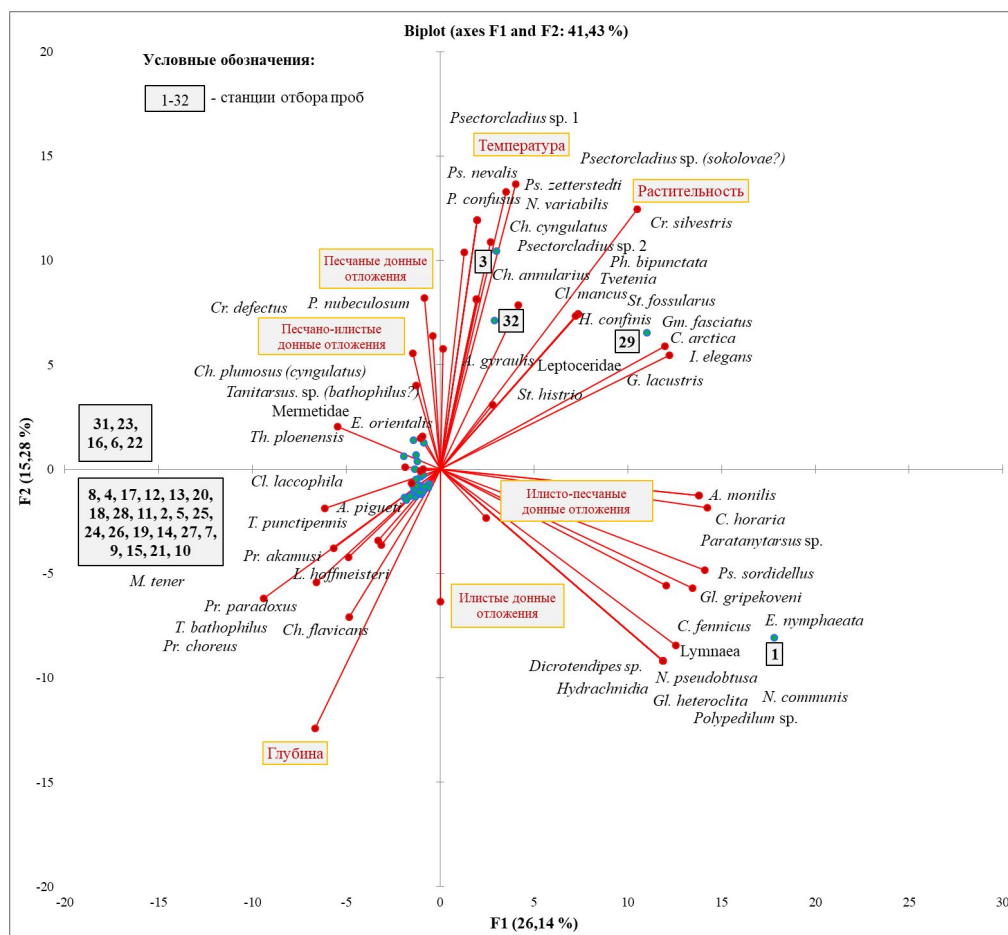


Рис.7. Распределение видов зообентоса в основной части подводных ландшафтов озера Кенон в зависимости от факторов окружающей среды, октябрь 2022 г.

Чередование водной и наземной фаз онтогенеза у стрекоз (Кетенчиев и др., 2018) обуславливает их геоэкологическую роль в переносе вещества из водных геосистем в наземные. Аналогичная роль в литоральном урочище озера Кенон принадлежит и другим амфибиотическим насекомым, например, ручейникам.

Глубоководное урочище озера Кенон представляет собой однотипный донный ландшафт диапазона глубин 4,1 – 6,2 м, включающий фации серых и тёмно-серых илов без растительности, и характеризуется невысокими показателями численности и биомассы зообентоса с преобладанием личинок двукрылых насекомых (Рис. 2, 3, 4 и 6). Ландшафтообразующими организмами из зообентоса здесь были личинки хирономид *Tanytarsus bathophilus*, *Procladius choreus* и *Tanypus punctipennis*, олигохеты *Limnodrilus hoffmeisteri* и ведущие нектобентический образ жизни хаобориды *Chaoborus flavicans*. Микрорельеф глубинного урочища (Рис. 9) представляет собой многочисленные ямки с трубками (домиками) хирономид рода *Tanytarsus* на поверхности донных отложений. Предположительно, на подводных ландшафтах озера Кенон ямки образуются при питании сазаном организмами зообентоса.

Известно, что хирономиды *Prosilocerus akamusi* своей ирригационной деятельностью способствуют проникновению кислорода в более глубокие слои донных отложений, тем самым оказывая влияние на снижение содержания в них фосфора

и железа (Wenming et al., 2019; Yang et al., 2021). В озере Кенон в глубоководном урочище донной подсистемы такая функция помимо обитающих в ней хирономид *Prosilocerus akamusi* принадлежит олигохетам-губифицидам.

В самоочищении техногенных водоёмов существенная роль выполняется хирономидами при их вылете. По материалам исследований 2004 г. (Клишко и др., 2005) в озере Кенон *Chironomus plumosus*, как наиболее массовый вид из представителей хирономид, вносил значительный вклад в его самоочищение. В октябре 2022 г. наиболее распространённым представителем хирономид был *Tanytarsus bathophilus*, соответственно, существенная роль в самоочищении водоёма-охладителя Читинской ТЭЦ-1 выполнялась им.

Изменения в подводных ландшафтах водоёма-охладителя Читинской ТЭЦ-1. Закономерности изменений типов донных отложений в озере Кенон выявить затруднительно в связи с отсутствием их карт. Можно предположить, что в сравнении с материалами предыдущих исследований 1985-1991 гг. (Итигилова и др., 1998) пространственное распределение донных отложений особых изменений не претерпело. Вместе с тем несомненно, что колебания уровня режима озера Кенон под влиянием изменений климата и подкачки воды из р. Ингода в целях функционирования ТЭЦ-1 влияет на площадь распространения песков, заиленных песков, илов и т.д. Как и в других водоёмах Забайкальского края (Матафонов,



Рис.8. Мелководное подурочище с зарослями растительности в южной части озера Кенон, февраль 2024 г. 1 – фацции песков с зарослями *Chara tomentosa* и ветошью *Stuckenia pectinata* на глубине 1,5 м; 2 – фацция песчаных илов с зарослями *Stuckenia pectinata* and *Chara fragilis* на глубине 4,5 м.

2020) в засушливые годы в озере Кенон произошло осушение характерных для мелководных участков донных отложений. Подъем уровня воды в озере к 2022 г. способствовал их затоплению.

Озеро Кенон является мелководным водоёмом, для которого характерны значительные изменения степени зарастания. В 1986-1991 гг. более трети площади дна озера было покрыто макрофитами, преимущественно харовыми водорослями (Итигилова и др., 1998). В октябре 2022 г. макрофиты присутствовали лишь на пяти из 32-х станций исследования и только до глубины 3,5 м и была представлена преимущественно рдестами (Рис. 2). Согласно теории функционирования мелководных озер (Scheffer and Egbert, 2007) изменения степени зарастания могут быть обусловлены содержанием биогенных элементов, влиянием рыб, изменением уровня озера, влиянием климатических факторов и т.д.

В связи с ограниченным распространением донных макрофитов основным ландшафтообразующим компонентом в водоёме-охладителе Читинской ТЭЦ-1 в октябре 2022 г. из бентоса были донные макробентосные беспозвоночные. Как и в отношении донных макрофитов зообентос озера Кенон подвержен значительным изменениям. свидетельствуют о В 1985-1991 гг. в структуре зообентоса озера Кенон по биомассе доминировали хирономиды рода *Chironomus* gr. *plumosus* и *Procladius ferrugineus*, моллюски *Sphaereum corneum* и *Pisidium inflatum*, олиго-

хеты *Tubifex tubifex* и хаобориды *Chaoborus cristallinus* (Итигилова и др., 1998). Биомасса хирономуса в разных частях озера в этот период составляла около 50% от массы всех организмов зообентоса. В октябре 2022 г. хирономиды pp. *Chironomus* встречались единично, моллюски *Sphaereum corneum* и *Pisidium inflatum*, олигохеты *Tubifex tubifex* не обнаружены. Из прежнего состава доминантов в 2022 г. в глубоководном урочище доминировали хирономиды рода *Procladius* к которым добавились *Tanytarsus* и *Tanytarsus*, а также хаобориды. *Procladius choreus* – один из пяти видов таниподин, встречающихся массово в гипертрофных водоёмах (Аникина, 2012), в зонах, где минимальная прозрачность, низкое содержание кислорода и большое содержание органического вещества. В мелководном урочище ландшафтообразующим видом стала недавно вселившаяся в оз. Кенон байкальская литоральная амфипода *Gmelinoides fasciatus* – вид, избегающий местообитаний с гипоксией и воздействием подогретых вод электростанций (Березина, 2016).

4. Заключение

Для подводных ландшафтов, сформированных в водоёме-охладителе Читинской ТЭЦ-1 выделены шесть фацций, различающиеся типом донных отложений, микрорельефом дна и видовым составом организмов зообентоса. Фацции сгруппированы в два типа урочищ, которые различаются по морфо-

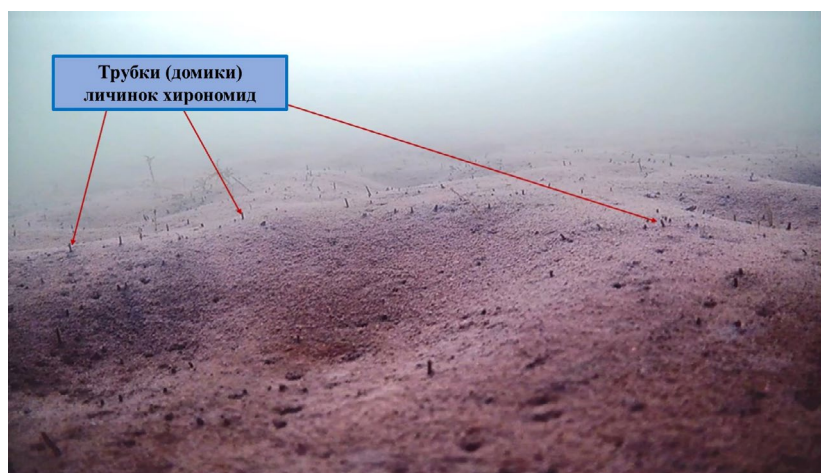


Рис.9. Глубоководное урочище в южной части озера Кенон, февраль 2024 г.

метрическим показателям, наличию растительности и составу донных беспозвоночных. В северо-западной и западной частях озера формирование подводных ландшафтов происходит под термическим влиянием Читинской ТЭЦ-1. При отсутствии на большинстве станций растительности, ландшафтообразующими организмами в литоральном урочище были амфиподы (*Gmelinoides fasciatus*), а в фациях глубинного урочища – хирономиды (*Tanytarsus* и др.), а также олигохеты *Limnodrilus*, и ведущие нектобентический образ жизни хаобориды. Состав ландшафтообразующих организмов зообентоса определяет геоэкологические функции (вклад в геохимические циклы; организацию связей между водной и наземной геосистемами; осуществление мониторинга за качеством водной среды и т.д.) бентосной биоты в геосистеме водоема-охладителя.

Полученные данные впервые дают представление о современном состоянии подводных ландшафтов озера Кенон, сформированном под влиянием природных и природно-технических факторов, а также открывают возможность использования ГИС-технологий при анализе их изменений и оценке геоэкологической ситуации в донной подсистеме озера.

Благодарности

Работа выполнена по Программе фундаментальных научных исследований Сибирского отделения Российской академии наук «Геоэкология водных экосистем Забайкалья в условиях современного климата и техногенеза, основные подходы к рациональному использованию вод и их биологических ресурсов» (№ государственной регистрации 121032200070-2).

Авторы статьи выражают благодарность заведующей лаборатории водных экосистем, старшему научному сотруднику, к.б.н. Б. Б. Базаровой за помощь в идентификации макрофитов, а также старшему научному сотруднику лаборатории водных экосистем, к.б.н. Н. А. Ташлыковой за оказанные консультации по применению метода многомерной статистики.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Список литературы

Scheffer M., Egbert H. 2007. Shallow lakes theory revisited: various alternative regimes driven by climate, nutrients, depth and lake size. *Hydrobiologia* 584(1): 455-466. DOI: [10.1007/s10750-007-0616-7](https://doi.org/10.1007/s10750-007-0616-7)

Tsybekmitova G.Ts., Kuklin A.P., Tsyganok V.I. 2019. Heavy Metals in Bottom Sediments of Lake Kenon (The Trans-Baikal Territory, Russia). *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* 103: 286-291.

Wenming Y., Musong C., Ling L. et al. 2019. Mechanism of phosphorus mobility in sediments with larval (*Propillocerus akamusi*) bioturbation. *Environmental Science and Pollution Research* 27(7): 7538-7548. DOI: [10.1007/s11356-019-07404-z](https://doi.org/10.1007/s11356-019-07404-z)

Yang W., Yao J., He Y. et al. 2021. Nitrogen removal enhanced by benthic bioturbation coupled with biofilm formation: A new strategy to alleviate freshwater eutrophication. *Journal of Environmental Management* 292(20): 112814. DOI: [10.1016/j.jenvman.2021.112814](https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112814)

Абакумов В.А. 1983. Руководство по методам гидробиологического анализа поверхностных вод и донных отложений. Ленинград: Гидрометеиздат.

Аникина М.А. 2012. Экологические характеристики хирономид рода *Procladius* Skuse, 1889 (Diptera, Chironomidae) фауны России. *Энтомологические и паразитологические исследования в Поволжье* 10: 69-72.

Атлас Забайкалья (Бурятская АССР и Читинская область). 1967. В: Сочава В.Б. (Ред.). Иркутск: ГУГК.

Базарова Б.Б., Куклин А.П. 2023. Опыт использования глазомерной и эхолотной съемки при изучении погруженной водной растительности озера Кенон (Восточное Забайкалье). *Проблемы ботаники Южной Сибири и Монголии* 22(2): 34-38.

Базарова Б.Б. 2012. Многолетние изменения растительности озера Кенон (Забайкальский край). *Известия Иркутского государственного университета. Серия «Биология. Экология»* 5(4): 18-23.

Березина Н.А. 2016. Опыт использования нового биоиндикатора (*Gmelinoides fasciatus*) для оценки состояния донных местообитаний в Финском заливе. *Вода: химия и экология* 4: 42-49.

Вологдин М.П. 1972. Натурные исследования гидротермического режима водоема-охладителя Читинской ГРЭС. *Записки Забайкальского филиала географического общества СССР* 62: 16-24.

Дудакова Д.С., Анохин В.М. 2021. Подводные ландшафты островов Мантсинсаари и Лункулансаари в зоне рифейский поднятий в восточной части Ладожского озера. *Известия РАН. Серия географическая* 85(3): 433-445.

Итигилова М.Ц., Чечель А.П., Замана Л.В. и др. 1998. *Экология городского водоема*. Новосибирск: СО РАН.

Кетенчиев Х.А., Козьминов С.Г., Амхаева Л.Ш. и др. 2018. Эколога-фаунистический и зоогеографический анализ стрекоз (Odonata) степной зоны северного макросклона Центрального Кавказа. *Общая биология* 5(3): 433-440.

Клишко О.К., Авдеев Д.В., Зазулина Е.В. и др. 2005. Роль хирономид (Diptera, Chironomidae) в биологической миграции химических элементов в экосистеме антропогенных водоемов. В: *Чтения памяти Владимира Яковлевича Леванидова*, С. 360.

Куклин А.П. 2017. Нитчатые водоросли озера Кенон как объект биоремедиации. *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований* 3: 85-88.

Курашов Е.А., Барбашова М.А., Барков Д.В. и др. 2011. Общая характеристика состава чужеродных видов в литоральной зоне Ладожского озера. В: Курашов Е.А. (Ред.). *Литоральная зона Ладожского озера*. Санкт-Петербург, С. 279-284.

Курашов Е.А., Барков Д.В., Русанов А.Г. и др. 2011. Роль *G. fasciatus* в формировании трансграничного потока вещества и энергии в литоральной зоне Ладожского озера. В: Курашов Е.А. (Ред.). *Литоральная зона Ладожского озера*. Санкт-Петербург, С. 350-356.

Матафонов Д.В. 2007. Экология *Gammarus lacustris* Sars (Crustacea: Amphipoda) в водоемах Забайкалья. *Известия Российской академии наук. Серия биологическая* 2: 188-196.

Матафонов П.В. 2020. Жизненный цикл бокоплавов *Gmelinoides fasciatus* (Stebbing, 1899) и *Gammarus lacustris* (Sars, 1863) в озере Арахлей в экстремально маловодную фазу гидрологического цикла. *Амурский зоологический журнал* 12(1): 16-25.

Николаев В.А. 1986. Принцип историзма в современном ландшафтоведении. Вестник Московского государственного университета. Серия география 2: 3–10.

Скрыльник Г.П. 2018. Пространство-время в развитии геосистем и природные риски. Научные горизонты 6(10): 123-148.

Сочава В.Б. 1978. Введение в учение о геосистемах. Новосибирск: Наука.

Токарева О.Ю., Семенюк М.П., Заслоновский В.Н. и др. 2016. Многолетние изменения химического состава вод оз. Кенон под влиянием ТЭЦ-1. В: XVI Международная научно-практическая конференция Кулагинские чтения: техника и технологии производственных процессов, С. 139.

Токарева О.Ю. 2015. Изменение химического состава воды озера Кенон под воздействием антропогенной деятельности на его водосборной площади. Водные ресурсы и водопользование 7: 55-66.

Усманова Л.И., Замана Л.В., Усманов М.Т. 2018. Геохимия подземных и поверхностных вод в зоне влияния золотвала Читинской ТЭЦ-1. В: Материалы третьей Всероссийской научной конференции с международным участием «Геологическая эволюция вза-

имодействия воды с горными породами, С. 379. DOI: [10.31554/978-5-7925-0536-0-2018-379-382](https://doi.org/10.31554/978-5-7925-0536-0-2018-379-382)

Хотинский Н.А. 1977. Голоцен Северной Азии. Москва: Наука.

Цыбекмитова Г.Ц., Куклин А.П., Ташлыкова Н.А. и др. 2017. Экологическое состояние озера Кенон – водоёма-охладителя ТЭЦ-1 (Забайкальский край). Вестник Новосибирского государственного педагогического университета 7(3): 194-208. DOI: [10.15293/2226-3365.1703.12](https://doi.org/10.15293/2226-3365.1703.12)

Шарапов Н.М., Токарева О.Ю. 2016. Проблемы водоснабжения ТЭС из природного водоема и пути их решения на примере озера Кенон в г. Чита (Забайкальский край). Водочистка. Водоподготовка. Водоснабжение 3(99): 36-46.

Шишкин Б.А. 1972. Физико-географическая характеристика озера Кенон (водоёма-охладителя Читинской ГРЭС). Записки Забайкальского филиала географического общества СССР 62: 3-16.

Шойдоков А.Б., Матафонов П.В., Борзенко С.В. 2024. Геоэкологические функции байкальской эндемичной амфиоды *Gmelinoides fasciatus* в донной подсистеме водоёма-охладителя Читинской ТЭЦ-1. Известия Русского географического общества 156(S2-1): 169-177.