Original Article
LIMNOLOGY FRESHWATER BIOLOGY

Taxonomic composition of phytoperiphyton in Yakutia

Kopyrina L.I.*

Institute for Biological Problems of the Cryolithozone, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 41 Lenin Avenue, 677007, Yakutsk, Russia

ABSTRACT. This paper presents the results of long-term phytoperiphyton studies from 1996 to 2025 during the summer low-water period (June-September) and the under-ice period in specific water bodies and watercourses of 14 rivers of Yakutia: the Anabar, Vilyuy, Vitim, Peleduy, Pilka, Nyuya with Khamra, Lena, Muna, Aldan with Amga, Yana, Indigirka, Alazeya, and Kolyma. Overall, 2,254 species, or 2,379 intraspecific taxa (IST), from 10 divisions were identified, including: Bacillariophyta – 1,006 species (1,072 IST), Charophyta–362 (395), Cyanobacteriota–283 (288), Heterokontophyta (Chrysophyceae, Xanthophyceae, Eustigmatophyceae, and Dictyochophyceae)–256 (265), Chlorophyta–235 (248), Euglenophyta–52, Dinoflagellata–42, Rhodophyta–9, Cryptista–7, and Haptophyta–2 species. Of the 9 divisions, 244 species are new to the flora of the rivers of Yakutia. Among the families, Desmidiaceae is the most diverse–284 taxa of charophytes. The largest families include diatoms: Pinnulariaceae–106, Cymbellaceae–93, Eunotiaceae and Naviculaceae–82 species each, Bacillariaceae–80, Surirellaceae–76, Gomphonemataceae–72, and Achnanthidiaceae–67; chrysophytes: Dinobryaceae–55; cyanobacteria: Aphanizomenonaceae, and charophytes: Closteriaceae–50 taxa each. Of the 505 genera, the following genera dominate: *Cosmarium*–120 species, *Eunotia*–80, *Pinnularia*–78, *Staurastrum*–68, *Gomphonema*–59, *Navicula*–53, *Nitzschia*–49, *Closterium*–48, *Cymbella*–46, *Characiopsis*–32, *Dinobryon*–28, *Encyonema*–27, and *Caloneis*–26 species.

Keywords: phytoperiphyton, species composition, taxon, substrate, water body, watercourse, basin, river, Yakutia

For citation: Kopyrina L.I. Taxonomic composition of phytoperiphyton in Yakutia // Limnology and Freshwater Biology. 2026. — No. 6. — P. 790–809. DOI: 10.31951/2658-3518-2026-A-6-790

1. Introduction

Yakutia constitutes an extensive area (>3 million hectares), both in terms of territorial coverage and in terms of the complex of natural conditions of the cryolithozone.

Mountains, highlands, and plateaus occupy over two-thirds of the area of Yakutia. In the central regions, extensive lowland plains are widespread; in the northeast–the Yana-Indigirka and Kolyma lowlands. In the west, the Central Siberian Plateau stretches, bounded in the north by the North Siberian Lowland; to the east of the Lena River valley, a system of high-mountain ranges lies: the Verkhoyansk Range, the Sette-Daban, the Suntar-Khayata, the Chersky Range (up to 3,003 m high, and Mount Pobeda, being the highest point of Yakutia), the Momsky Range, and between them the Yana Plateau, the Oymyakon Highlands, etc. In the southwestern part, there is the Patom Highlands; in the south, the Prilenskoye Plateau, the Olyokma-Chara Highlands and the Aldan Highlands extend. In the extreme south, the Stanovoy Range rises (Korzhuev, 1965; Rusanov et al., 1967; Sivtseva et al., 1990).

The studied water bodies belong to the basins of two seas. The largest rivers–the Anabar, Lena, and Yana–flow into the Laptev Sea; the Indigirka, Alazeya, and Kolyma flow into the East Siberian Sea. The main direction of all the studied rivers is northward; the exceptions are the Vilyuy River and the tributaries of the Lena–the Amga, Muna, Nyuya, and Peleduy rivers.

In Yakutia, the climate is sharply continental and subarctic and arctic on the islands. Winter is long, severe, and snow-poor, with an anticyclonic weather regime. The mean January temperature ranges from −26 (−30) °C in the north and on the islands to −45 (−55) °C over the rest of the area (in the Verkhoyansk–Oymyakon area lies one of the cold poles of the

*Corresponding author. E-mail address: l.i.kopyrina@mail.ru (L.I. Kopyrina)

Received: July 01, 2026;
Accepted after revised: November 16, 2026;
Available online: November 20, 2026

© Author(s) 2026. This work is distributed under the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License.

Northern Hemisphere, with an absolute minimum temperature of −68 °C). In the cold season, calm weather predominates, especially in the central regions. Winter precipitation is low (20–25% of the annual total). The number of days with snow is 200-210 in the south and centre and 260-280 in the north of Yakutia. The snow depth is 15 cm in the lower reaches of the Lena, 20-25 cm in the central part, and down to 120 cm or more in the mountains. On most rivers of Yakutia, freeze-up begins from downstream to upstream at the end of the first third of October. Mean ice thickness exceeds 200 cm. Break-up of the rivers, for example, in the upper reaches of the Lena begins in the first third of May; in the middle reaches–in the second and third thirds of May, and in the lower reaches–in early June, accompanied throughout by ice jams (Chistyakov, 1964; Izyumenko, 1966).

Summer is short but warm and dry. During the white nights, the daylight duration is 20 h (Yakutsk). The mean July temperature on the coast and islands is 2-4 °C, in the northern part–12-15 °C, and in the central part–18-19 °C (max. 38 °C). Maximum summer precipitation falls in July-August. The annual precipitation is 150–250 mm and 400–700 mm or more in the mountains. One of the most significant features of the study area is the ubiquitous occurrence of permafrost: continuous in the north (400-500 m thick) and discontinuous in the south; the maximum thickness is 1,500 m (in the valley of the Markha River, a tributary of the Vilyuy) (Rusanov et al., 1967).

Phytoperiphyton is a community of photosynthetic microorganisms attached to underwater substrates (stones, aquatic plants, and artificial surfaces) and forming a biofilm on their surface (Azim et al., 2005). It comprises primarily diatoms and green algae, as well as cyanobacteria. Phytoperiphyton provides local primary production, participates in the carbon and nitrogen cycles, influences gas exchange and water transparency, and serves as an important food base for zooplankton and benthic fauna. The structure of phytoperiphyton is sensitive to light conditions, hydrological regimes, temperature, and nutrient concentrations (Larned, 2010). Moreover, the phytoperiphyton community shows rapid changes in composition in response to environmental changes, which makes it possible to use it for assessing water quality, the level of eutrophication, and the impact of pollutants on the ecosystem (Mauch et al., 2023). In this regard, the study of the taxonomic composition of phytoperiphyton under the sharply continental climate of the cryolithozone and a shortened growing season is of current relevance.

This study aims at the synthesis of the results on the taxonomic composition of phytoperiphyton in water bodies and watercourses belonging to the basins of the Laptev Sea and the East Siberian Sea of the Arctic Ocean.

2. Materials and methods

The study of the algal flora of phytoperiphyton was carried out during complex expeditions within the framework of the Institute's research, contract works, and grants, at 462 water bodies and watercourses of different types in the basins of 14 rivers (Fig. 1).

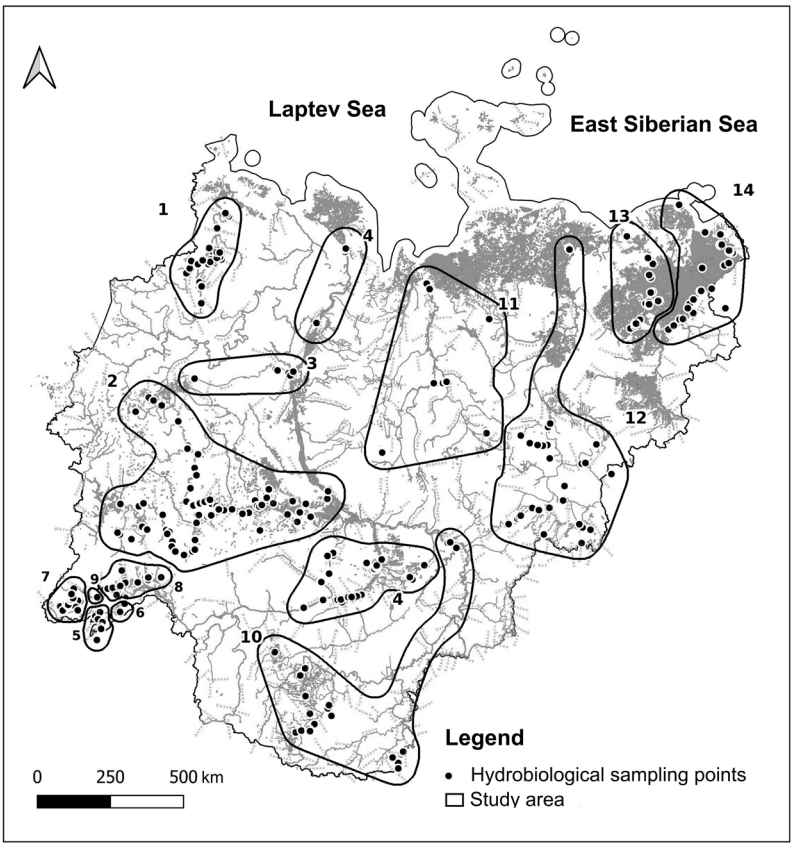


Fig. 1. Map of phytoperiphyton sampling in Yakutia. Legend: 1–Anabar; 2–Vilyui; 3–Muna; 4–Lena; 5–Vitim; 6–File; 7–Peledui; 8–Nyuya; 9–Hamra; 10–Aldan; 11–Yana; 12–Indigirka; 13–Alazea; and 14–Kolyma rivers.

Samples were collected during the summer low-water period (June-September) and the under-ice period (April-June) from deep-water lakes of the Oymyakon Highlands, hard-to-reach high-mountain lakes of the Verkhoyansk and Chersky ranges, flood-plain and thermokarst lakes of tundra polygonal-ridge water bodies of the Arctic, grassy streams, sphagnum bogs of river basins and coastal water bodies, and the waters of the East Siberian Sea. Periphyton was also studied in water bodies situated under conditions of industrial development of hydrocarbon extraction in the basins of the Peleduy and Vilyuy rivers, placer diamond deposits–the Anabar, Vilyuy, Molodo, and Muna, and gold ones–the Aldan, Yana, Indigirka, and Kolyma, as well as in resource reserves and nature parks "Lenskiye Stolby", "Sinyaya", "Ust-Vilyuysky", "Momsky", and "Kolyma". Over the study period, >7,200 phytoperiphyton samples were collected and processed.

Samples of leaves and stems of 23 aquatic plants, mosses, films and encrustations, and tufts on stones and bottom sediments were placed in jars with water from the same water body or watercourse for subsequent laboratory processing. Periphyton samples were taken in the coastal part of lakes and rivers from a depth of 1 m; samples of bottom sediments and stones were taken using a benthic tube and a Petersen grab, while during the under-ice period–with the assistance of divers (Kopyrina et al., 2020; Zakharova et al., 2025). Phytoperiphyton samples were fixed with a 4% formaldehyde solution, and chrysophytes were fixed with glutaraldehyde (final concentration 2.5%). Net samples of bottom sediment and those scraped from stones were fixed with 70% ethanol. Water temperature was determined by divers with a hand thermometer and from the side of a boat with a digital electronic thermometer "Zamer-1" No. 010804 with a 20-metre wire sensor ("Zamer", Moscow).

The work used generally accepted methods of collecting and processing algological material (Balonov, 1975; Algae..., 1989; Abakumov, 1992; Komulaynen, 2004).

Microscopy was performed using light microscopes Laboval-3 and Mikmed-6 (IBPC SB RAS), as well as an Axiostar Plus (Zeiss, Oberkochen, Germany) equipped with a TOUPCAM UA1000CA camera (ToupTek Photonics, Hangzhou, China) (LIN SB RAS). To study diatoms under the light microscope, 1,200 permanent slides were prepared by ashing the valves and mounting them in synthetic resin (Naphrax). Samples for scanning electron microscopy (SEM) were treated with 30% hydrogen peroxide for 2-3 hours at 85 °C, centrifuged, washed, and centrifuged again, and the pellet was placed on an SEM stub. All prepared samples were coated with gold in a Blazers SCD 004 vacuum sputter coater and analysed using the Philips SEM 525M (Netherlands) and Quanta 200 (FEI Company, USA) scanning electron microscopes (LIN SB RAS). About 5,000 micrographs of diatom and chrysophyte valves from various basins of the Anabar, Muna, Lena, Nyuya, Peleduy, Indigirka, Yana, and Kolyma rivers, as well as the East Siberian Sea, were captured in the SEM.

For the identification of algae, the following systematic compendia were used: (Komarenko and Vasilyeva, 1975, 1978; Krammer and Lange-Bertalot, 1986, 1988, 1991a, 1991b; Vasilyeva, 1987; Krammer, 1997a, 1997b, 2000, 2002, 2003; Lange-Bertalot and Genkal, 1999; Reichardt, 1999; Lange-Bertalot, 2001; Genkal and Vekhov, 2007; Izhboldina, 2007; Genkal and Trifonova, 2009; Levkov, 2009; Genkal et al., 2011, 2015; Krakhmalny, 2011; Lange-Bertalot et al., 2011; Popovskaya et al., 2011; Kharitonov and Genkal, 2012; Levkov et al., 2013; Kharitonov, 2014; Pomazkina and Rodionova, 2014; Pomazkina et al., 2018, 2024; Kulikovskiy et al., 2016; Chudaev and Gololobova, 2016; Voloshko, 2017; Genkal and Yarushina, 2018). The work applies the system of diatoms proposed by F. E. Round, R. M. Crawford, and D. G. Mann (Round et al., 1990).

The names of divisions and taxa are given according to the database (Guiry and Guiry, 2026; http://www.algaebase.org).

3. Results and discussion

3.1. Taxonomic composition of phytoperiphyton in Yakutia

Overall, 2,254 species, or 2,379 intraspecific taxa, from 10 divisions, 22 classes, 82 orders, 173 families, and 505 genera were identified.

Among the studied water bodies and watercourses, the greatest number of taxa was identified in the basins of the Lena (912 taxa), Kolyma (874), Aldan (775), Indigirka (760), Vilyuy (621), Peleduy (571), Anabar (555), Muna (486), Yana (468), and Nyuya (346 species) rivers, which is due to the study degree of the floras of these water bodies. The smallest number of species was found in the Pilka (216), Vitim (213), Khamra (196), and Alazeya (190) rivers (Fig. 2).

The taxonomic composition at the level of divisions showed a high diversity among representatives of the division Bacillariophyta–44.6% (Table, Fig. 3). The proportions of the following divisions were as follows: Charophyta–16%, Cyanobacteriophyta–12.6%, Heterokontophyta–11.4%, Chlorophyta–10.4%, Euglenophyta–2.3%, Dinoflagellata–1.9%, Rhodophyta–0.4%, Cryptista–0.31%, and Haptophyta–0.09%. A total of 244 new species for the flora of Yakutia were found from 9 divisions (Table, Fig. 2).

At the level of classes, diatoms of the class Bacillariophyceae form the basis of the systematic list–887 taxa. The classes Zygnematophyceae formed high species richness–369 taxa; Cyanophyceae–288; Chlorophyceae–169; Chrysophyceae–138; Fragilariophyceae–99; Xanthophyceae–74; and Thalassiosirophyceae–69 taxa. Next, there are Euglenophyceae and Trebouxiophyceae with 52 species each; Eustigmatophyceae–44; Dinophyceae–42; Ulvophyceae–27; Klebsormidiophyceae–12; Coscinodiscophyceae–11; Florideophyceae–9; Charophyceae, Coleochaetophyceae, and Cryptophyceae with 7 species each; Mediophyceae–6; Coccolithophyceae–2; and Dictyochophyceae–1 species (Fig. 4).

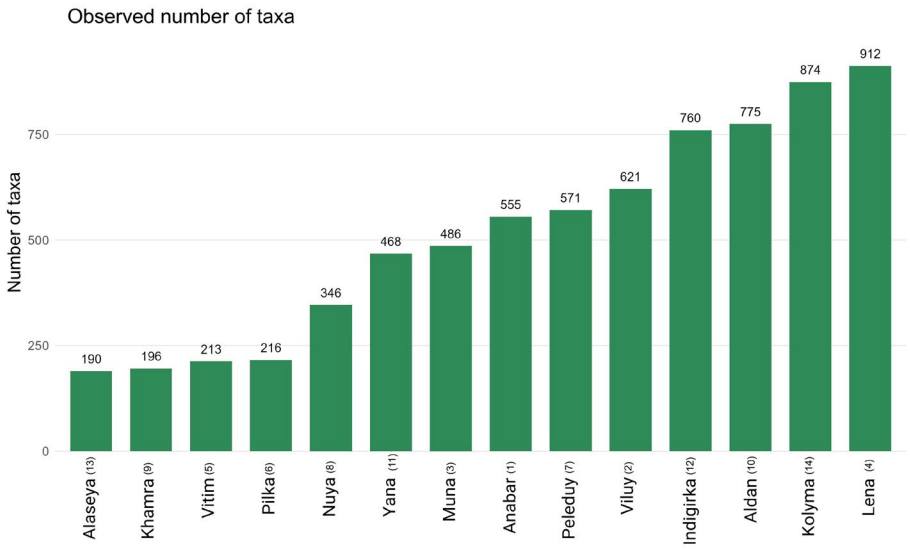


Fig. 2. Number of taxa in the studied water bodies and watercourses of Yakutia.

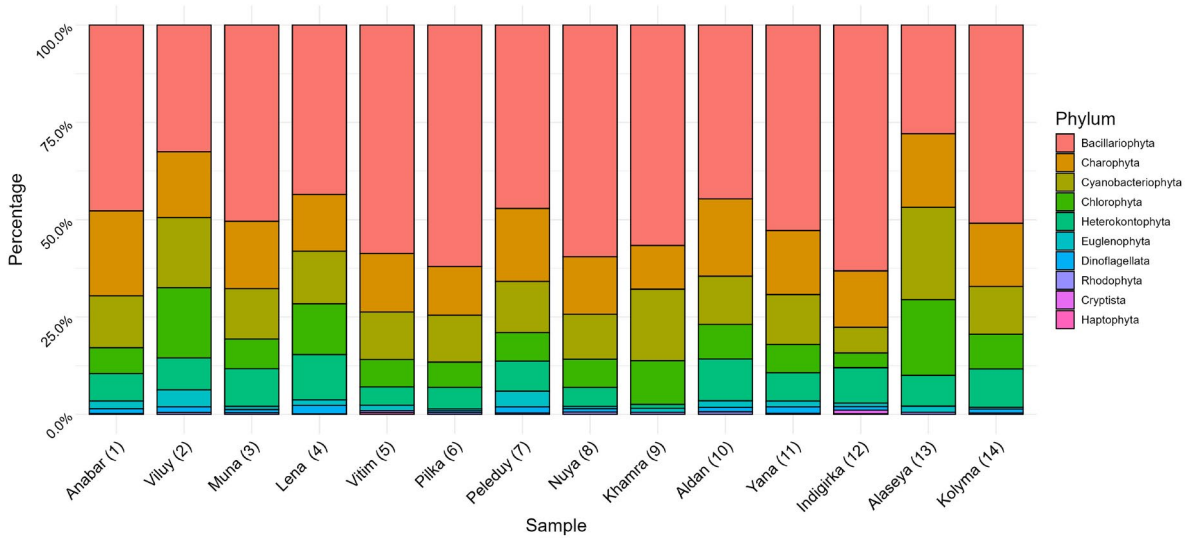


Fig. 3. Taxonomic composition at the level of phylum.

Table. Taxonomic composition of phytoperiphyton in Yakutia.

Phylum	Class	Order	Family	Genus	Species	Taxon	% of the total number of species (2254)	New species for Yakutia
Cyanobacteriophyta	1	13	32	86	283	288	12.6	16
Euglenophyta	1	1	2	11	52	52	2.3	-
Dinoflagellata	1	6	14	22	42	42	1.9	14
Cryptista	1	2	4	5	7	7	0.31	2
Bacillariophyta	5	21	40	154	1006	1072	44.6	150
Haptophyta	1	2	2	2	2	2	0.09	2
Heterokontophyta (including):	4	16	27	66	256	265	11.4	18
Heterokontophyta (Chrysophyceae)	1	8	14	35	138	146	6.1	15
Heterokontophyta (Dictyochlorophyceae)	1	1	1	1	1	1	0.04	1
Heterokontophyta (Eustigmatophyceae)	1	2	3	9	43	44	1.9	-
Heterokontophyta (Xanthophyceae)	1	5	9	29	74	74	3.3	2
Charophyta	4	6	11	33	362	395	16	32
Chlorophyta	3	12	38	112	235	248	10.4	9
Rhodophyta	1	3	3	6	9	9	0.4	1
Total:	**22**	**82**	**173**	**505**	**2254**	**2380**	**100**	**244**

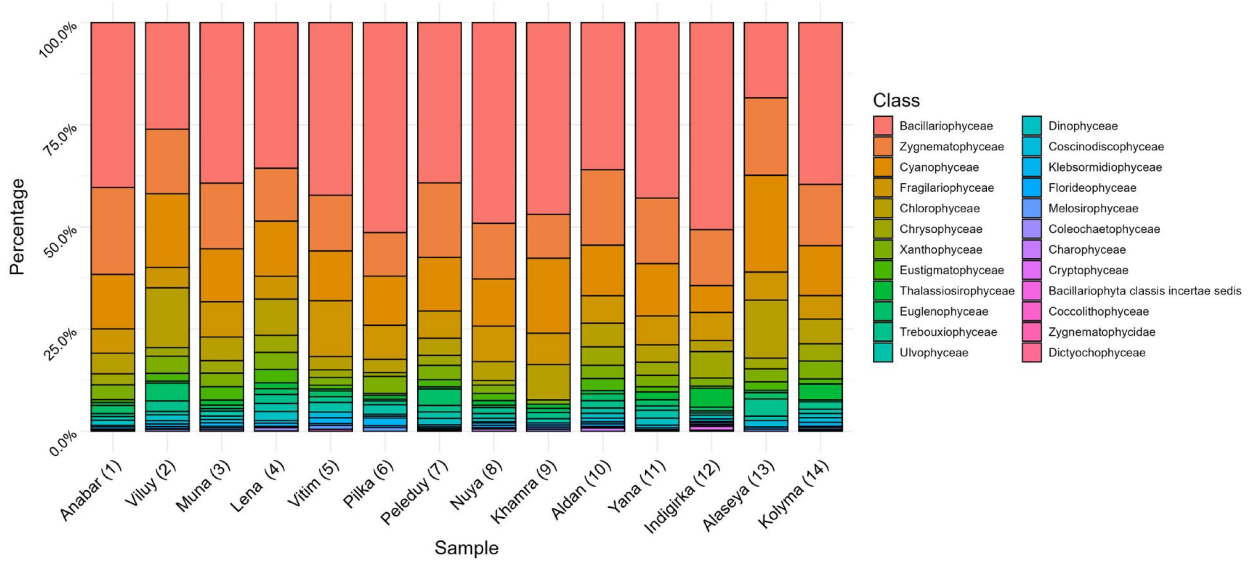


Fig. 4. Taxonomic composition of phytoperiphyton at the level of classes.

Among the 173 families represented, the family Desmidiaceae shows the greatest taxonomic diversity–284 taxa of the phylum Charophyta. The largest families are: Pinnulariaceae–106, Cymbellaceae–93, Eunotiaceae and Naviculaceae–82 species each, Bacillariaceae–80, Surirellaceae–76, Gomphonemataceae–72, Achnanthidiaceae–67, Dinobryaceae–55, and Aphanizomenonaceae and Closteriaceae–50 taxa each (Fig. 5).

Of the 505 genera, the greatest number of taxa was found in the genera: *Cosmarium* – 120 species, *Eunotia* – 80, *Pinnularia* – 78, *Staurastrum* – 68, *Gomphonema* – 59, *Navicula* – 53, *Nitzschia* – 49, *Closterium* – 48, *Cymbella* – 46, *Characiopsis* – 32, *Dinobryon* – 28, *Encyonema* – 27 and *Caloneis* – 26 species (Fig. 6).

3.2. New and rare species in the composition of phytoperiphyton in water bodies and watercourses of Yakutia

It should be noted that, based on the few studies using electron microscopy, new and rare diatom species were identified for the first time in certain water bodies and watercourses of Yakutia. Of particular significance are the results of the studies in (Kopyrina et al., 2021; Kopyrina, 2025; Potapova et al., 2014; Kopyrina et al., 2020).

Based on the results of studying diatoms on aquatic moss of a high-mountain lake of the Suntar-Khayata Range, four new species for science were identified: *Encyonopsis vasiljevae* M.G. Potapova,

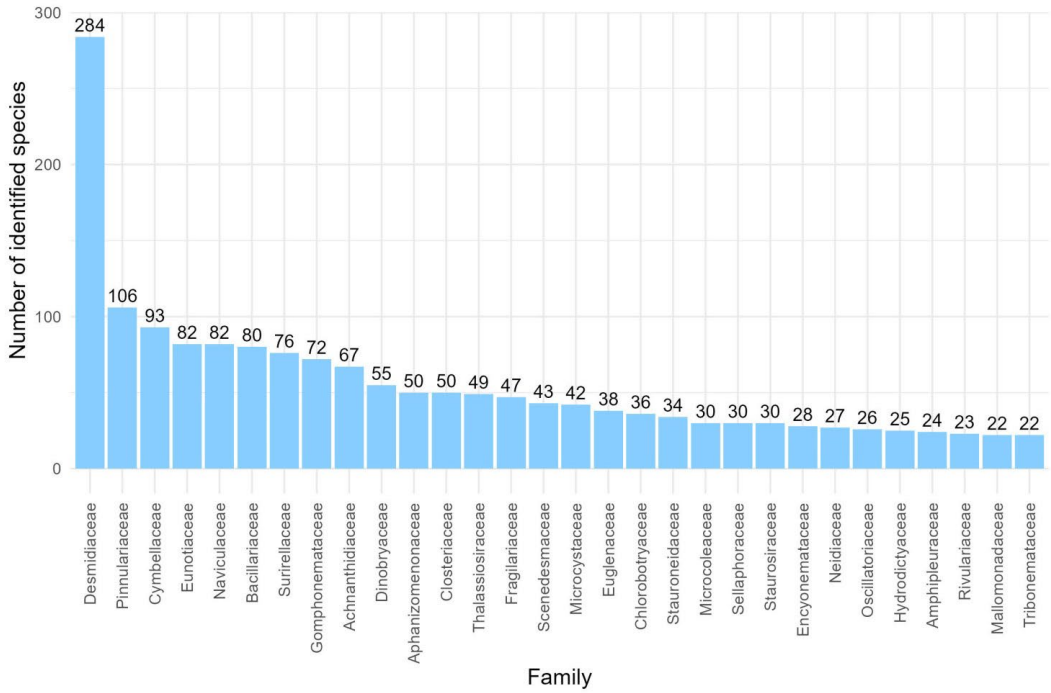


Fig. 5. Dominant families of phytoperiphyton of water bodies and watercourses in Yakutia.

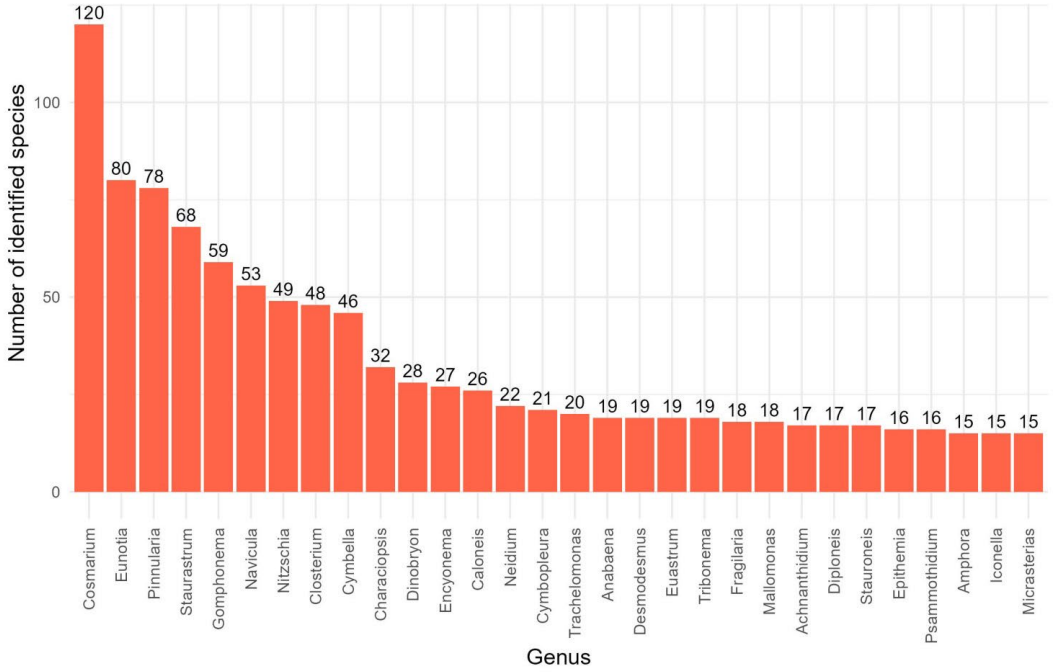


Fig. 6. Dominant genera of phytoperiphyton of water bodies and watercourses of Yakutia.

P.B. Hamilton & L.I. Kopyrina; *Eunotia frigida* M.G. Potapova, P.B. Hamilton & L.I. Kopyrina; *Brachysira subtilis* M.G. Potapova, P.B. Hamilton & L.I. Kopyrina, and *Neidium rugosum* P.B. Hamilton, M.G. Potapova & L.I. Kopyrina. In addition to these species, several rare diatoms were found in the phytoperiphyton of the lake: *Neidium boyeri* Reimer and *Stauroneis crassula* Van de Vijver & Lange-Bertalot, previously known only from North America and the Canadian Arctic (Antoniades et al., 2008); *Encyonema sibericum* Krammer & Lange-Bertalot, known only from Western Siberia; *Encyonema lunatum* var. *boreale* Krammer, previously found in Finland, as well as *Eunotia ferefalcata* Kulikovskiy & Lange-Bertalot, *Pinnularia angustarea* Kulikovskiy, Lange-Bertalot, A. Witkowski & N.I. Dorofeyuk and *Sellaphora mongolica* (Kulikovskiy, Lange-Bertalot, Witkowski & N.I. Dorofeyuk) C.E. Wetzel & Ector (= *Navicula dicta mongolica* Kulikovskiy, Lange-Bertalot, Witkowski & N.I. Dorofeyuk), until now known only from Mongolia (Potapova et al., 2014).

In the composition of phytoperiphyton, there were also rare species from small lakes of the polygonal-ridge tundra in the lower reaches of the Lena River: *Boreozonacola hustedtii* Lange-Bertalot, Kulikovskiy et Witkowski, *Cymbella neocistula* Krammer, *Cymbella neogena*, *Cymbopleura lapponica* (Grunow) Krammer, *Encyonema hustedtii* Krammer, *Eucocconeis laevis* var. *diliviana* (Hustedt) Lange-Bertalot, *Eunotia boreotenuis* Nörpel-Schempp et Lange-Bertalot, *Eunotia botuliformis* Wild, Nörpel et Lange-Bertalot, *Eunotia curtagrunowii* Nörpel-Schempp et Lange-Bertalot, *Eunotia cf. dorofeyukae* Lange-Bertalot et Kulikovskiy, *Eunotia ferefalcata* Kulikovskiy et Lange-Bertalot, *Eunotia glacialifalsa* Lange-Bertalot, *Eunotia metamonodon* Lange-Bertalot, *Eunotia scandiorussica* Kulikovskiy, Lange-Bertalot, Genkal, etc. (Kopyrina et al., 2021).

In the water bodies studied, also using SEM, we identified the greatest number of rare species from the class Mediophyceae of the genera *Cyclotella*, *Discostella*, *Lindavia*, *Pantocsekiella*, and *Stephanodiscus* from oligotrophic lakes of the Subarctic (Kopyrina et al., 2020); *Chaetoceros* sp., *Handmannia* sp., and *Pliocaenicus* sp. were found singly. Species of the genera *Skeletonema* and *Thalassiosira* were found on the bottom sediment of saline water bodies of the Arctic tundra in the lower reaches of the Kolyma River and the East Siberian Sea. From the class Coscinodiscophyceae, there were the genera *Aulacoseira*, *Ellerbeckia*, *Melosira*, and *Urosolenia* (Kopyrina, 2025).

Of the 10 phyla studied, the division Bacillariophyta was the most diverse–one of the leading groups dominant in all the studied water bodies and watercourses of the rivers (Fig. 3). For the phytoperiphyton of the studied rivers, 1,006 species (including 1,072 intraspecific taxa) from 154 genera, 40 families, 21 orders and 5 classes were identified (Table). The class Bacillariophyceae dominated by number of species (82.7% of the total number of species in the class); among them, members of the orders Cymbellales–210 taxa, Sellaphorales–135, Naviculales–134, Bacillariales–86, Eunotiales–83, Surirellales–76 and Cocconeidales–75 taxa were diverse, while the orders Diploneidales–20 and Diadesmidales–4 species were minor. Among the other classes, members of the orders Thalassiosirales–49, Fragilariales–47, Staurosirales–29, Tabellariales–16, Stephanodiscales–15, and Aulacoseirales–11 taxa were the most constant in the phytoperiphyton. Few species, normally from one to five, formed the remaining orders.

In the phylum Charophyta, 362 species (395 IST) from 4 classes were found: Zygnematophyceae–369 species, Klebsormidiophyceae–12, and Charophyceae and Coleochaetophyceae–7 species each. The greatest number of species was identified within the class Zygnematophyceae, represented by the desmid flora of the subarctic and arctic zones of Yakutia. Among the genera found, *Cosmarium*–120 species, *Staurastrum*–68, *Closterium*–48, *Euastrum*–19, and *Micrasterias*–15 species were the most diverse (Fig. 6).

At present, of the macroscopic algal species of the class Charophyceae, seven species were detected; among them *Sawia canadensis* (Sawa) R.E. Romanov (= *Tolypella canadensis* Sawa) was first included in the Red Book of the Republic of Sakha (Yakutia) (Kopyrina and Romanov, 2017) and was included in the Red Book of the Russian Federation in 2024 (Romanov et al., 2024), where rarity category 3 is indicated. The species was found by the author on a shallow pebble bottom at a depth of 12 m in Lake Vorota of the resource reserve "Verkhneindigirsky" of the Subarctic, and a second finding was identified on silty-sandy bottom sediment of a lake south of the Lena River delta (Romanov et al., 2025).

The phylum Cyanobacteriophyta, having one class Cyanophyceae, was ranged third and accounted for 283 species (288 IST). Cyanobacteria are widely distributed in shallow thermokarst, floodplain, and saline lakes from the south to the Arctic. Species of the genera *Anabaena*, *Aphanizomenon*, *Chamaesiphon*, *Gomphosphaeria*, *Lyngbya*, *Microcystis*, and *Oscillatoria* predominated more often. In watercourses, species of the genera *Gloeocapsa*, *Nostoc*, *Rivularia*, *Tolypothrix*, and *Stigonema* prevailed.

From the phylum Heterokontophyta, 256 species (265 IST) were identified. Among them, the class Chrysophyceae formed high species richness was–138 taxa, represented by the genera *Dendromonas*, *Dinobryon*, *Epipyxis*, *Mallomonas*, *Spiniferomonas*, *Synura*, and *Paraphysomonas*. On stony substrates of mountain streams, mass development of the species Hydrurus foetidus (Villars) Trevisan was observed. Additionally, a new species for science was found in the composition of chrysophytes: *Spiniferomonas heterospina* Bessudova, Firsova & Kopyrina (Bessudova et al., 2023).

From the class Xanthophyceae (74 species), the rare species *Vaucheria taylorii* Blum was detected. The species was first discovered in the algal flora of Yakutia in a small lake south of the Lena River delta, which is a circumpolar species in continental Eurasia (Romanov et al., 2025).

The phylum Chlorophyta included 235 species (248 IST). It comprised three classes: Chlorophyceae–169 taxa, Trebouxiophyceae–52, and Ulvophyceae–27 taxa. From the class Chlorophyceae, *Chaetopeltis orbicularis* Berthold and *Aphanochaete repens* A. Braun are common in the fouling of leaves and stems and on filamentous algae, and *Chaetophoropsis elegans* (Roth) B. Wen Liu, Qian Xiong, X. Dong Liu, Z. Yu Hu & G. Xiang Liu was often found on stony substrates, while *Draparnaldia mutabilis* (Roth) Bory and *Ulothrix zonata* (F. Weber & Mohr) Kützing, etc. were detectedon moss cushions of stony riffles.

The phylum Euglenophyta (Euglenophyceae) had 52 species; among them, some species of the genera *Euglena* and *Lepocinclis* were active in under-ice samples of Subarctic lakes, and *Colacium*, *Phacus* and *Trachelomonas* were permanent in eutrophic thermokarst lakes and grassy streams.

The phylum Dinoflagellata (Dinophyceae) included 42 species. The species *Ceratium hirundinella* (O.F. Müller) Dujardin occurred from oligotrophic glacial to floodplain and thermokarst lakes; the species *Parvodinium inconspicuum* (Lemmermann) Carty, *Parvodinium umbonatum* (F. Stein) Carty, *Peridinium cinctum* (O.F. Müller) Ehrenberg, and *Peridinium volzii* Lemmermann were frequent on mosses of bogs and on stony substrates of small channels of large rivers.

The phylum Rhodophyta (Florideophyceae) included nine species: *Audouinella*, *Batrachospermum*, *Kumanoa*, *Lemanea*, *Paralemanea*, and *Thorea*. Among them, *Batrachospermum gelatinosum* (Linnaeus) De Candolle, and *Audouinella chalybea* (Roth) Bory were frequent on stones of the upper reaches of rivers.

All seven species of the phylum Cryptista (Cryptophyceae) and two species of Haptophyta (Coccolithophyceae) were identified in cold oligotrophic lakes of the Oymyakon region in the Indigirka River basin (Firsova et al., 2026, in press).

3.3. Comparative floristic analysis

We compared the taxonomic structure of the species composition of phytoperiphyton of water bodies and watercourses of Yakutia with the few literature data on the algal flora of lakes of Taimyr (Yermolaev et al., 1971); periphyton of lakes of the Karelian Isthmus (Basova, 1974); a lake in the Selenga River delta (Votyakova, 1976); lakes of the Bolshezemelskaya tundra (Getsen, 1985; Stenina, 2009); the Yenisei River (Levadnaya, 1986); water bodies of the Yamal Peninsula (Naumenko and Semenova, 1996); diatoms of the Arctic tundra (Genkal and Vekhov, 2007); Lake Onega (Rychkova, 2002); Lake Ladoga (Stanislavskaya and Gorchenko, 2004); Lake Asylykul (Sharipova, 2006); rivers of Karelia (Komulaynen, 2004; 2018; Genkal et al., 2015); the Kolyma River (Kharitonov, 2014); and Lake Elgygytgyn of Chukotka (Kharitonov and Genkal, 2012).

A comparative characterisation of the composition of the leading families and genera revealed that one of the common patterns of the northern flora is regerded as the predominance of the families Desmidiaceae, Naviculaceae, Fragilariaceae, and Eunotiaceae, as well as of typical attached species of Bacillariophyta: *Achnanthidium minutissimum*, *Cocconeis pediculus*, *C. placentula*, *Hannaea arcus*, *Navicula radiosa*, *Tabellaria fenestrate*, and *T. flocculosa*; Heterokontophyta (Chrysophyceae)–*Hydrurus foetidus*; Charophyta–*Cosmarium botrytis*; Chlorophyta–*Ulothrix zonata*; and Cyanobacteriophyta–*Gloeocapsa turgida*, *Merismopedia glauca*, and *Snowella lacustris*. However, in contrast to the above-mentioned regions, the algae of the phytoperiphyton of Yakutia show certain differences both in terms of species and the complex of natural conditions, being maximally adapted to existence at extremely low temperatures, characteristic specifically of this area of the cryolithozone.

One of the most important features of northern floras is the predominance of single-species families and genera in their composition. In the samples studied, single-species families number 85 (49.1% of the total number of families) owing to the phyla

Chlorophyta, Cyanobacteriota, Bacillariophyta, and Heterokontophyta (Chrysophyceae). Two-species families number 25 (14.5%) from Cyanobacteriophyta, Chlorophyta, and Bacillariophyta. Such a distribution is characteristic of water bodies of the Bolshezemelskaya tundra, as well as of Western and North-Eastern Siberia (Getsen, 1985; Komulaynen, 2004; Diversity…, 2005; Flora of Yakutia…, 2010; Kopyrina, 2014a; b).

In the phytoperiphyton, single-species genera numbered 230 (45.5% of the total number of genera), which are largely similar to the algal flora of Yakutia (Diversity…, 2005; Flora of Yakutia…, 2010; Kopyrina, 2014a; b). The greatest number of single-species genera was recorded in the phyla Chlorophyta, Bacillariophyta, and Cyanobacteriophyta. Two-species genera numbered 80 (15.8%) in the phyla Bacillariophyta, Cyanobacteriophyta, and Chlorophyta.

4. Conclusions

Thus, in the phytoperiphyton of water bodies and watercourses of 14 rivers of Yakutia, 2,254 species, or 2,379 intraspecific taxa, from 10 divisions were identified. Analysis of electron microscopy data allowed us for the first time to characterise the rich taxonomic structure of algae of the phytoperiphyton of the phyla Bacillariophyta, Heterokontophyta (Chrysophyceae), Cryptista, and Haptophyta. Of the 9 phyla, 244 species are new to the flora of the rivers of Yakutia.

The large families Desmidiaceae–284 taxa of the phylum Charophyta–were detected, as well as Pinnulariaceae–106, Cymbellaceae–93, Eunotiaceae and Naviculaceae–82 species each, Bacillariaceae–80, Surirellaceae–76, Gomphonemataceae–72, Achnanthidiaceae–67, Dinobryaceae–55, and Aphanizomenonaceae and Closteriaceae–50 taxa each. The leading genera were *Cosmarium*–120 species, *Eunotia*–80, *Pinnularia*–78, *Staurastrum*–68, *Gomphonema*–59, *Navicula*–53, *Nitzschia*–49, *Closterium*–48, *Cymbella*–46, *Characiopsis*–32, *Dinobryon*–28, *Encyonema*–27, and *Caloneis*–26 species.

Acknowledgements

The study was financially supported by project No. 126021217283-5 of the Institute for Biological Problems of the Cryolithozone, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences. The author expresses deep gratitude to PhD., Professor Ye.V. Likhoshway, PhD. Yu.R. Zakharova, PhD.. M.V. Bashenkhaeva, PhD. A.D. Firsova, PhD. A.Yu. Bessudova, PhD. E.V. Rodionova and other colleagues for many years of joint work, for assistance in identifying diatom, chrysophyte, and cryptophyte species from oligotrophic lakes of the Subarctic, high-mountain lakes of the Chersky Range, tundra lakes of the lower Kolyma, and the East Siberian Sea, as well as for the opportunity to work with the light and electron microscopes of the Shared Research Center of the Department of Cell Ultrastructure, Limnological Institute SB RAS; to PhD. S.I. Genkal for identifying diatom species from subarctic tundra lakes (Institute of Biology of Inland Waters RAS); to M.G. Potapova for identifying diatom species from the high-mountain lake of the Suntar-Khayata Range (Academy of Natural Sciences, Philadelphia); to PhD. R.E. Romanov (Komarov Botanical Institute RAS) for identifying charophyte algae of Yakutia; to the collector colleagues PhD. A.A. Egorova, N.K. Sosina, R.R. Sofronov, PhD. N.N. Egorova, and N.I. Filippov; to the expedition leader A.A. Dolzhenkov; to the divers D.A. Shiller, A.S. Gubin, M.V. Astakhov, V.I. Chernykh, and S.V. Bulochkin for assistance in sampling from the deep-water lakes of Oymyakon; and to E.P. Chebykin, A.V. Ilyichev, M.V. Makhlin, S.V. Zverev, R.Ya. Asanov, and S.F. Sivtsev.

Conflict of interest

The author declares that there is no conflict of interest requiring disclosure in this article.

References

Abakumov V.A. 1992. Guide to hydrobiological monitoring of freshwater ecosystems. St. Petersburg: Gidrometeoizdat. (in Russian)

Algae: Directory. 1989. In: Vasser S.P., Kondratyeva N.V., Masyuk N.P. et al. (Eds.). Naukova Dumka: Kyiv. (in Russian)

Antoniades D., Hamilton P.B., Douglas M.S.V. et al. 2008. Diatoms of North America: The freshwater floras of Prince Patrick, Ellef Ringnes and northern Ellesmere Islands from the Canadian Arctic Archipelago. Iconographia Diatomologica 17: 1–649.

Azim M.E., Verdegem M.C., van Dam A.A. et al. 2005. Periphyton: ecology, exploitation and management. CABI. 352 p.

Balonov I.M. 1975. Preparation of algae for electron microscopy. In: Mordukhai-Boltovskoi F.D. (Ed.), Methods for the study of biocenoses. Moscow: Nauka, pp. 87–89. (in Russian)

Basova S.L. 1974. Periphyton and microphytobenthos of Lake Krasnoye (Karelian Isthmus). Hydrobiological Journal 10 (1): 19–25. (in Russian)

Bessudova A.Yu., Firsova A.D., Bukin Y. et al. 2023. Under-ice development of silica-scaled chrysophytes with different trophic mode in two ultraoligotrophic lakes of Yakutia. Diversity 15: 326. DOI: 10.3390/d15030326

Chistyakov G.E. 1964. Water resources of the rivers of Yakutia. Moscow: Nauka.

Chudaev D.A., Gololobova M.A. 2016. Diatoms of Lake Glubokoe (Moscow Region). Moscow: KMK Scientific Press. (in Russian)

Diversity of the plant world of Yakutia. 2005. Novosibirsk: Izdatelstvo SO RAN. (in Russian)

Firsova A.D., Bessudova A.Yu., Galachyants Y.P. et al. 2026. Features of the under-ice growth of phytoplankton of subarctic oligotrophic lakes of northeastern Yakutia. Polar Biology (in press).

Flora of Yakutia: Geographical and environmental aspects. 2010. Novosibirsk: Nauka.

Genkal S.I., Vekhov N.V. 2007. Diatoms of water bodies of the Russian Arctic. Moscow: Nauka.

Genkal S.I., Trifonova I.S. 2009. Diatoms of Lake Ladoga and its basin reservoirs. Rybinsk: Rybinskii dom pechati. (in Russian)

Genkal S.I., Bondarenko N.A., Shhur L.A. 2011. Diatoms of lakes in the south and north of Eastern Siberia. Rybinsk: Rybinskii dom pechati. (in Russian)

Genkal S.I., Chekryzheva T.A., Komulajnen S.F. 2015. Diatoms of reservoirs and watercourses of Karelia. Moscow: Nauchnyi mir. (in Russian)

Genkal S.I., Yarushina M.I. 2018. Diatoms of poorly studied aquatic ecosystems of the far north of Western Siberia. Moscow: Nauchnyi mir. 212 p. (in Russian)

Getsen M.V. 1985. Algae in the ecosystems of the Far North. Leningrad: Nauka.

Guiry M.D., Guiry G.M. 2026. AlgaeBase. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway. URL: https://www.algaebase.org

Izhboldina L.A. 2007. Atlas and identification guide to benthic and periphytic algae of Lake Baikal (meiophytes and macrophytes), with brief notes on their ecology. Novosibirsk: Science Center.

Izyumenko S.A. 1966. Meteorological Handbook of USSR. Vol. 24. Yakutian ASSR. Part 2. The temperature of air and soil. Leningrad: Gidrometeoizdat, pp. 398. (in Russian)

Kharitonov V.G., Genkal S.I. 2012. Diatoms of Lake Elgygytgyn and its environs (Chukotka). Magadan: Publishing House of the North-East Scientific Center, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences. (in Russian)

Kharitonov V.G. 2014. Diatoms of Kolyma. Magadan: Cordis. (in Russian)

Komarenko L.E., Vasilyeva I.I. 1975. Freshwater diatoms and blue-green algae in water bodies of Yakutia. Moscow: Nauka. (in Russian)

Komarenko L.E., Vasilyeva I.I. 1978. Freshwater green algae of water bodies of Yakutia. Moscow: Nauka. (in Russian)

Komulaynen S.F. 2004. Ecology of Phytoperiphyton in Small Rivers of Eastern Fennoscandia. Petrozavodsk: Institute of Biology KarRC RAS. (in Russian)

Komulaynen S.F. 2018. Phytoperiphyton of water bodies and water courses of the State Nature Reserve «Kivach» (Republic of Karelia, Russia). Nature Conservation Research 3(3): 46–60. DOI: 10.24189/ncr.2018.029 (in Russian)

Kopyrina L., Firsova A., Rodionova E. et al. 2020. The insight into diatom diversity, ecology, and biogeography of an extreme cold ultraoligotrophic Lake Labynkyr at the Pole of Cold in the northern hemisphere. Extremophiles: 603–623.

Kopyrina L.I. 2014a. Epiphytic algae of the lakes of the Tuymaada Valley (Central Yakutia). Novosibirsk: Nauka. (in Russian)

Kopyrina L.I. 2014b. Species diversity of epiphytic algae in the lakes of the Tuymaada Valley (Middle Lena). Biology of Inland Waters 4: 1–6. (in Russian)

Kopyrina L.I., Romanov R.E. 2017. Algae. Characeae family (Streptophyta: Charales). Tolypella canadensis Sawa. In: Danilova N.S. (Ed.), Red Data Book of the Republic of Sakha (Yakutia). Vol. I: Rare and Endangered Species of Plants and Fungi. Moscow: VNII “Ecology”. (in Russian)

Kopyrina L.I., Genkal S.I., Remigajlo P.A. 2021. Diatom algae of the waterbodies in the subarctic tundra. Inland Water Biology 14 (2): 107–114. (in Russian)

Kopyrina L.I. 2025. Diatoms of Arctic water bodies and watercourses in the lower Kolyma River region and the East Siberian Sea. Issues in Modern Phycology 1 (37): 103–108. DOI: 10.33624/2311-0147-2025-1(37)-103-108 (in Russian)

Korzhuev S.S. 1965. Relief and Geological Structure. Yakutia. Moscow: Nauka, pp. 29–14. (in Russian)

Krakhmalny A.F. 2011. Dinophyte algae of Ukraine (illustrated key). Kyiv: Alterpress. (in Russian)

Krammer K., Lange-Bertalot H. 1986. Bacillariophyceae (Naviculaceae). In: Ettl H., Gerloff J., Heynig H. et al. (Eds.), Süßwasserflora von Mitteleuropa. Band 2/1. Gustav Fischer, Stuttgart. pp. 1–876.

Krammer K., Lange-Bertalot H. 1988. Bacillariophyceae. 2. Teil: Bacillariaceae, Epithemiaceae, Surirellaceae. In: Ettl H., Gerloff J., Heynig H. et al. (Eds.), Süßwasserflora von Mitteleuropa 2/2. G. Fischer, Stuttgart. pp. 1–596.

Krammer K., Lange-Bertalot H. 1991a. Bacillariophyceae. 3. Teil: Centrales, Fragilariaceae, Eunotiaceae. In: Ettl H., Gerloff J., Heynig H. et al. (Eds.), Süsswasserflora von Mitteleuropa, G. Fischer, Stuttgart, pp. 1–596.

Krammer K., Lange-Bertalot H. 1991b. Bacillariophyceae. 4. Teil: Achnanthaceae, Kritische Ergänzungen zu *Navicula* (Lineolatae) und *Gomphonema*. In: Ettl H., Gerloff J., Heynig H. et al. (Eds.), Süsswasserflora von Mitteleuropa, G. Fischer, Stuttgart, pp. 1–437.

Krammer K. 1997a. Die cymbelloiden Diatomeen. Teil 1: *Allgemeines* und *Encyonema* part. Bibliotheca Diatomologica 36: 1–382.

Krammer K. 1997b. Die cymbelloiden Diatomeen. Teil 2: *Encyonema* part., *Encyonopsis* und *Cymbellopsis*. Bibliotheca Diatomologica 37: 1–469.

Krammer K. 2000. Diatoms of Europe. Vol. 1: *Pinnularia*. Ruggell: A.R.G. Gantner Verlag K.G.

Krammer K. 2002. Diatoms of Europe. Vol. 3: *Cymbella*. Ruggell: A.R.G. Gantner Verlag K.G.

Krammer K. 2003. Diatoms of Europe. Vol. 4: *Cymbopleura*, *Delicata*, *Navicymbula*, *Gomphocymbellopsis*, *Afrocymbella*. Ruggell: A.R.G. Gantner Verlag K.G.

Kulikovskiy M.S., Glushenko A.N., Genkal S.I. et al. 2016. Identification book of diatoms from Russia. Yaroslavl: Filigran Publishing House. (in Russian)

Lange-Bertalot H., Genkal S.I. 1999. Diatoms from Siberia. In: Islands in the Arctic Ocean (Yugorsky-Shar Strait). Iconographia Diatomologica 6: 1–271.

Lange-Bertalot H. 2001. Navicula sensu stricto. 10 genera separated from Navicula sensu lato. Frustulia. In: Lange-Bertalot H. (Ed.), Diatoms of Europe: diatoms of the European inland waters and comparable habitats. Vol. 2. A.R.G. Gantner Verlag K.G. Ruggell, pp. 1–526.

Lange-Bertalot H., Bak M., Witkowski A. 2011. Diatoms of Europe. Eunotia and some related genera. Vol. 6. Ruggell: A.R.G. Gantner Verlag K.G.

Larned S.T. 2010. A prospectus for periphyton: recent and future ecological research. Journal of the North American Benthological Society 29 (1): 182–206.

Levadnaya G.D. 1986. Microphytobenthos of the Yenisei River. Novosibirsk: Nauka. (in Russian)

Levkov Z. 2009. Amphora sensu lato. In: Lange-Bertalot H. (Ed.), Diatoms of Europe, vol 5. Liechtenstein, pp. 916.

Levkov Z., Metzeltin D., Pavlov A. 2013. Luticola, Luticolopsis. Diatoms of Europe: diatoms of the European inland waters and comparable habitats. Vol. 7. Königstein. pp. 1–697.

Mauch J., Kronsbein A.L., Putschew A. et al. 2023. Periphyton in urban freshwater facilitates transformation of trace organic compounds: A case study on iodinated contrast media. Frontiers in Environmental Science 11: 1142591. DOI: 10.3389/fenvs.2023.1142591

Naumenko Yu.V., Semenova L.A. 1996. A study of the algae in certain water bodies of the Yamal Peninsula (Western Siberia). Novosti sistematiki nizshikh rasteniy 31: 46–52. (in Russian)

Pomazkina G.V., Rodionova E.V. 2014. Diatoms of the family Cymbellaceae of Lake Baikal: Atlas-identifier. Novosibirsk: Nauka. (in Russian)

Pomazkina G.V., Rodionova E.V., Shherbakova T.A. 2018. Benthic diatoms of the family Naviculaceae of Lake Baikal: Atlas-Identifier. Novosibirsk: Nauka. (in Russian)

Pomazkina G.V., Rodionova E.V., Shherbakova T.A. 2024. Benthic diatoms of the genus Diploneis of Lake Baikal: Atlas-Identifier. Novosibirsk: Nauka. (in Russian)

Popovskaya G.I., Genkal S.I., Likhoshway E.V. 2011. Diatoms of Lake Baikal Plankton: An Atlas-Identification Guide. Novosibirsk: Nauka. (in Russian)

Potapova M.G., Hamilton P.B., Kopyrina L.I. et al. 2014. New and rare diatom (Bacillariophyta) species from a mountain lake in Eastern Siberia. Phytotaxa 156 (3): 100–116.

Reichardt E. 1999. Zur revision der gattung *Gomphonema*. Iconographia Diatomologica 8: 1–203.

Romanov R.E., Kopyrina L.I., Patova E. 2024. Algae. Tolypella canadensis. Red Data Book of the Russian Federation. Plants and Fungi. Moscow: VNII "Ecology". (in Russian)

Romanov R.E., Kopyrina L.I., Egorova N.N. 2025. The northernmost locations of Sphaerochara canadensis (Charophyceae, Characeae) and Vaucheria taylorii (Xanthophyceae, Vaucheriaceae) from the Lena River Delta. Botanical Journal 110 (4): 390–396. (in Russian)

Round F.E., Crawford R.M., Mann D.G. 1990. The diatoms. Biology and morphology of the genera. Cambridge: Cambridge University Press.

Rusanov B.S., Borodenkova Z.F., Goncharov V.F. 1967. Geomorphology of Eastern Yakutia. Yakutsk: Yakutknigoizdat, pp. 1–376. (in Russian)

Rychkova M.A. 2002. Periphyton. Atlas. Lake Ladoga. St. Petersburg: Nauka. (in Russian)

Sharipova M.Yu. 2006. Algae of ecotone communities. Ufa: RIO BashSU. (in Russian)

Sivtseva A.I., Mostaxov M.U., Dmitrieva Z.M. 1990. Geography of the Yakut ASSR. Yakutsk: Yakutknigoizdat, pp. 1–168. (in Russian)

Stanislavskaya E.V., Gorchenko A.S. 2004. Diversity of periphyton algae in the tributaries of Lake Ladoga. Novosti Sistematiki Nizshikh Rastenii 39: 79–98. (in Russian)

Stenina A.S. 2009. Diatoms (Bacillariophyta) in the lakes of the eastern Bolshezemelskaya Tundra. Syktyvkar: Komi Science Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences. (in Russian)

Vasilyeva I.I. 1987. Freshwater euglena and yellow-green algae of water bodies of Yakutia. Leningrad: Nauka. (in Russian)

Voloshko L.N. 2017. Golden algae of water bodies of the Russian North. St. Petersburg: Renome. (in Russian)

Votyakova N.E. 1976. Algal growths on higher aquatic plants in Lake Metyaginskoye (Selenga River delta region). Proceedings of the Siberian Branch of the USSR Academy of Sciences. Biological Sciences Series 3 (15): 27–30. (in Russian)

Yermolaev V.I., Safonova T.A., Levadnaya G.D. 1971. Algal flora of water bodies in the vicinity of the Taimyr field station. In: Tikhomirov B.A., Ponyatovskaya V.M. (Eds.), Biogeocenoses of the Taimyr tundra and their productivity, pp. 116–129. (in Russian)

Zakharova Yu.R., Bashenkhaeva M.V., Firsova A.D. et al. 2025. General patterns and regional characteristics of phytoplankton in under-ice communities of Lake Baikal and subarctic lakes in eastern Yakutia. In: Proceedings of the 3rd International Conference "Lakes of Eurasia: Problems and Solutions." Kazan, pp. 706–710. (in Russian)

Оригинальная статья

Таксономический состав фитоперифитона Якутии

Копырина Л.И.*

Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН, проспект Ленина, 41, г. Якутск, 677007, Россия

АННОТАЦИЯ. Приведены результаты многолетних исследований фитоперифитона, выполненные с 1996 по 2025 гг. в период летней межени (июнь-сентябрь) и подледный период в некоторых водоемах и водотоках 14 рек Якутии: Анабар, Вилюй, Витим, Пеледуй, Пилка, Нюя с Хамрой, Лена, Муна, Алдан с Амгой, Яна, Индигирка, Алазея и Колыма. Выявлено 2254 вида, или 2379 внутривидовых таксонов (далее ввт) из 10 отделов: Bacillariophyta – 1006 видов (1072 ввт), Charophyta – 362 (395), Cyanobacteriophyta – 283 (288), Heterokontophyta (Chrysophyceae, Xanthophyceae, Eustigmatophyceae, Dictyochophyceae) – 256 (265), Chlorophyta – 235 (248), Euglenophyta – 52, Dinoflagellata – 42, Rhodophyta – 9, Cryptista – 7 и Haptophyta – 2 вида. Из 9 отделов 244 вида являются новыми для флоры рек Якутии. Среди семейств разнообразны Desmidiaceae – 284 таксона из харофитовых. Наиболее крупными семействами отнесены семейства из диатомовых: Pinnulariaceae – 106, Cymbellaceae – 93, Eunotiaceae и Naviculaceae по 82 вида каждое, Bacillariaceae – 80, Surirellaceae – 76, Gomphonemataceae – 72, Achnanthidiaceae – 67; золотистых: Dinobryaceae – 55; синезеленых: Aphanizomenonaceae и харофитовых: Closteriaceae по 50 таксонов каждое. Из 505 родов наибольшее число таксонов обнаружено в родах: *Cosmarium* – 120 вид, *Eunotia* – 80, *Pinnularia* – 78, *Staurastrum* – 68, *Gomphonema* – 59, *Navicula* – 53, *Nitzschia* – 49, *Closterium* – 48, *Cymbella* – 46, *Characiopsis* – 32, *Dinobryon* – 28, *Encyonema* – 27, *Caloneis* – 26 видов.

Ключевые слова: фитоперифитон, видовой состав, таксон, субстрат, водоем, водоток, бассейн, река, Якутия

Для цитирования: Копырина Л.И. Таксономический состав фитоперифитона Якутии // Limnology and Freshwater Biology. 2026. — № 6. — С. 790–809. DOI: 10.31951/2658-3518-2026-A-6-790

1. Введение

Якутия представляет собой обширный участок (более 3 млн. га), как по территориальному охвату, так и по комплексу природных условий криолитозоны.

Более 2/3 территории Якутии занимают горы, плоскогорья и плато. В центральных районах распространены обширные низменные равнины, на северо-востоке – Яно-Индигирская, Колымская низменность. На западе простирается Среднесибирское плоскогорье, ограниченное на севере Северо-Сибирской низменностью, на востоке от долины р. Лена расположена система высокогорных хребтов: Верхоянский хребет, Сетте-Дабан, Сунтар-Хаята, Черского хребет (выс. до 3003 м, гора Победа – высшая точка Якутии), Момский хребет, между ними Янское плоскогорье, Оймяконское нагорье и т.д. В юго-западной части – Патомское нагорье, в южной простираются Приленское плато, Олёкмо-Чарское нагорье, Алданское нагорье. На крайнем юге возвышается Становой хребет (Коржуев, 1965; Русанов и др., 1967; Сивцева и др., 1990).

Исследованные водные объекты принадлежат к бассейнам двух морей. Наиболее крупные реки – Анабар, Лена, Яна впадают в море Лаптевых, реки Индигирка, Алазея, Колыма – в Восточно-Сибирское море. Главное направление всех исследованных рек – северное; исключение составляют р. Вилюй и притоки р. Лены – реки Амга, Муна, Нюя, Пеледуй.

В Якутии климат резко континентальный, на островах субарктический и арктический. Зима продолжительная, суровая, малоснежная с антициклональным режимом погоды. Средняя температура января от -26 (-30) °С на севере и островах до -45 (-55) °С на остальной территории (в районе Верхоянск – Оймякон находится один из полюсов холода Северного полушария с абсолютным мини-

*Автор для переписки. Адрес e-mail: l.i.kopyrina@mail.ru (Л.И. Копырина)

Поступила: 01 июля 2026;
Принята после доработки: 16 ноября 2026;
Опубликована online: 20 ноября 2026

© Автор(ы) 2026. Эта работа распространяется под международной лицензией Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0.

мумом температуры -68 ˚С). В холодное время года преобладает штилевая погода, особенно в центральной части. Зимних осадков мало (20–25% от годового количества). Число дней со снегом 200–210 на юге и в центре, 260–280 на севере Якутии. Высота снежного покрова 15 см в низовьях р. Лена, 20–25 см в центральной части, до 120 см и более в горах. На большинстве рек Якутии ледостав наступает снизу-вверх в конце первой декады октября. Средние значения толщины льда свыше 200 см. Вскрытие рек – например: в верхнем течении Лены – первая декада мая, в среднем течении – вторая и третья декада мая и в низовьях – начало июня и на всем протяжении сопровождается заторами (Чистяков, 1964; Изюменко, 1966).

Лето короткое, но тёплое и засушливое. В период белых ночей длительность светового дня 20 ч (Якутск). Средняя температура июля на побережье и островах 2–4 ˚С, в северной части 12–15 ˚С, в центральной 18–19 ˚С (макс. 38 ˚С). Максимум осадков летом выпадает в июле–августе. Годовое количество осадков составляет 150–250 мм, в горах 400–700 мм и более. Одной из наиболее существенных особенностей изучаемой территории является повсеместное распространение многолетней мерзлоты на севере – сплошная (мощность 400-500 м), на юге прерывистая; максимальная мощность – 1500 м (в долине р. Мархa, притока р. Вилюй) (Русанов и др., 1967).

Фитоперифитон – сообщество фотосинтезирующих микроорганизмов, прикреплённых к подводным субстратам (камни, водные растения, искусственные поверхности) и образующих биоплёнку на их поверхности (Azim et al., 2005). В его состав входят прежде всего диатомовые и зелёные водоросли, а также цианобактерии. Фитоперифитон обеспечивает локальное первичное производство, участвует в углеродном и азотном цикле, влияет на газообмен и прозрачность воды, а также служит важной пищевой базой для зоопланктона и донной фауны. Структура фитоперифитона чувствительна к световым условиям, гидрологическим режимам, температуре и концентрациям питательных веществ (Larned, 2010). Кроме того, сообщество фитоперифитона демонстрирует быстрое изменение состава в ответ на изменения среды, что позволяет использовать его для оценки качества воды, уровня эвтрофикации и воздействия загрязнителей на экосистему (Mauch et al., 2023). В связи с этим, изучение таксономического состава фитоперифитона в условиях резко континентального климата криолитозоны и укороченного вегетационного периода является актуальным.

Настоящая работа посвящена обобщению полученных результатов таксономического состава фитоперифитона водоемов и водотоков относящихся к бассейнам морей Лаптевых и Восточно-Сибирского моря Северного Ледовитого океана.

2. Материалы и методы

Изучение флоры водорослей фитоперифитона проводили в ходе комплексных экспедиций, выполненные в рамках НИР Института, хоздоговорных работ и грантов на 462 разнотипных водоемах и водотоках бассейнов 14 рек (Рис. 1).

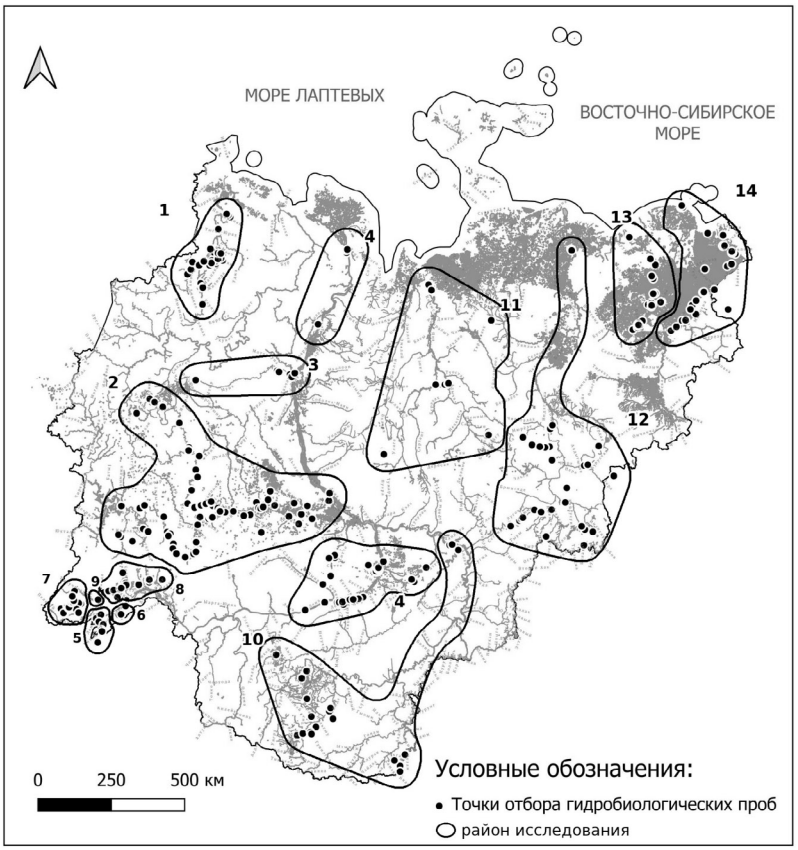


Рис. 1. Карта-схема отбора проб фитоперифитона Якутии. Условные обозначения: 1 – р. Анабар; 2 – р. Вилюй; 3 – р. Муна; 4 – р. Лена; 5 – р. Витим; 6 – р. Пилка; 7 – р. Пеледуй; 8 – р. Нюя; 9 – р. Хамра; 10 – р. Алдан; 11 – р.Яна; 12 – р. Индигирка; 13 – р. Алазея; 14 – р. Колыма.

Пробы были отобраны в период летней межени (июнь-сентябрь) и подледный период (апрель-июнь) из глубоководных озер Оймяконского нагорья, из труднодоступных высокогорных озер хребтов Верхоянского, Черского, пойменных и термокарстовых озер из тундровых полигонально-валиковых водоемов Арктики, травянистых речек, сфагновых болот бассейнов рек и прибрежных водоемов и вод Восточно-Сибирского моря. Также исследованы перифитон водных объектов, находящиеся в условиях промышленного освоения добычи углеводородного сырья в бассейнах рек Пеледуй, Вилюй, россыпных месторождений алмазов – Анабар, Вилюй, Молодо, Муна, золота – Алдан, Яна, Индигирки и Колымы и ресурсных резерватов, природных парков «Ленские Столбы», «Синяя», «Усть-Вилюйский», «Момский» и «Колыма». За период исследований собрано и обработано более 7200 проб фитоперифитона.

Образцы листьев и стеблей 23 водных растений, мхов, налёты и наросты, космы на камнях и грунтах помещали в баночки с водой из того же водоема или водотока для последующей обработки в лабораторных условиях. Пробы перифитона отбирали в прибрежной части озер, рек с глубины 1 м, пробы грунта со дна и камней отбирали при помощи бентосной трубки и дночерпателя Петерсена, в подледный период с помощью аквалангистов (Kopyrina et al., 2020; Захарова и др., 2025). Пробы фитоперифитона фиксировали 4% раствором формальдегида, золотистые фиксировали глутаровым альдегидом (конечная концентрация 2,5%). Сетные пробы грунта и пробы, счищенные с камней, фиксировали 70% этанолом. Температуру воды определяли аквалангисты наручным термометром и с борта лодки цифровым электронным термометром «Замер-1» № 010804 с 20-метровым проводом-датчиком («Замер», г. Москва).

В работе использованы общепринятые методы сбора и обработки альгологического материала (Балонов, 1975; Водоросли, 1989; Абакумов, 1992; Комулайнен, 2004).

Микроскопирование выполнено с применением световых микроскопов Laboval-3, Микмед-6 (ИБПК СО РАН), Axiostar Plus (Zeiss, Oberkochen, Germany), оснащенного камерой TOUPCAM UA1000CA (ToupTek Photonics, Hangzhou, China) (ЛИН СО РАН). Для изучения диатомовых водорослей в световом микроскопе было изготовлено 1200 постоянных препаратов путем прокаливания створок и помещения их в синтетическую смолу (Naphrax). Пробы для сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) обрабатывали 30% перекисью водорода в течение 2-3 часов при температуре 85°С, центрифугировали, промывали, центрифугировали, осадок помещали на столик для СЭМ. Все подготовленные образцы напыляли золотом в вакуумной напылительной установке Blazers SCD 004 и анализировали с помощью сканирующих электронных микроскопов Philips SEM 525M (Нидерланды) и Quanta 200 (FEI Company, USA) (ЛИН СО РАН). В СЭМ отсняты около 5 тыс. микрофотографий створок диатомовых и золотистых водорослей из различных бассейнов рек Анабар, Муна, Лены, Нюя, Пеледуй, Индигирки, Яны, Колымы и Восточно-Сибирского моря.

Для идентификации водорослей использовали следующие систематические сводки – (Комаренко и Васильева, 1975; 1978; Krammer and Lange-Bertalot, 1986; 1988; 1991a; 1991b; Васильева, 1987; Krammer, 1997a; 1997b; 2000; 2002; 2003; Lange-Bertalot and Genkal, 1999; Reichardt, 1999; Lange-Bertalot, 2001; Генкал и Вехов, 2007; Ижболдина, 2007; Генкал и Трифонова, 2009; Levkov, 2009; Генкал и др., 2011, 2015; Крахмальный, 2011; Lange-Bertalot et al., 2011; Поповская и др., 2011; Харитонов и Генкал, 2012; Levkov et al., 2013; Харитонов, 2014; Помазкина и Родионова, 2014; Помазкина и др., 2018; 2024; Куликовский и др., 2016; Чудаев и Гололобова, 2016; Волошко, 2017; Генкал и Ярушина, 2018). В работе применяется система диатомовых водорослей, предложенная Ф. Е. Раундом, Р. М. Кравфордом и Д. Г. Манном (Round et al., 1990).

Названия отделов и таксонов приведены согласно базе данных (Guiry and Guiry, 2026; http://www.algaebase.org).

3. Результаты и обсуждение

3.1. Таксономический состав фитоперифитона Якутии

Всего выявлено 2254 вида, или 2379 внутривидовых таксонов из 10 отделов, 22 классов, 82 порядков, 173 семейств и 505 родов.

Среди исследованных водоемов и водотоков наибольшее количество таксонов выявлено в бассейнах рек Лена (912 таксонов), Колыма (874), Алдан (775), Индигирка (760), Вилюй (621), Пеледуй (571), Анабар (555), Муна (486), Яна (468) и Нюя (346 видов), что объясняется степенью изученности флор водных объектов. Наименьшее число видов найдено в реках Пилка (216), Витим (213), Хамра (196) и Алазея (190) (Рис. 2).

Таксономический состав на уровне отделов показал высокую степень разнообразия представителей отдела Bacillariophyta – 44,6% (Таблица, Рис. 3). Доля следующих отделов составила: Charophyta – 16%, Cyanobacteriophyta – 12,6%, Heterokontophyta – 11,4%, Chlorophyta – 10,4%, Euglenophyta – 2,3%, Dinoflagellata – 1,9%, Rhodophyta – 0,4%, Cryptista – 0,31% и Haptophyta – 0,09%. Обнаружено 244 новых видов для флоры Якутии из 9 отделов (Таблица, Рис. 2).

На уровне классов основу систематического списка составляют диатомовые водоросли класса Bacillariophyceae – 887 таксонов. Высокое видовое богатство сформировали классы Zygnematophyceae – 369 таксонов, Cyanophyceae – 288, Chlorophyceae – 169, Chrysophyceae – 138, Fragilariophyceae – 99, Xanthophyceae – 74 и Thalassiosirophyceae – 69 таксонов. Далее идут Euglenophyceae и Trebouxiophyceae по 52 вида каждое, Eustigmatophyceae – 44, Dinophyceae – 42, Ulvophyceae – 27, Klebsormidiophyceae – 12,

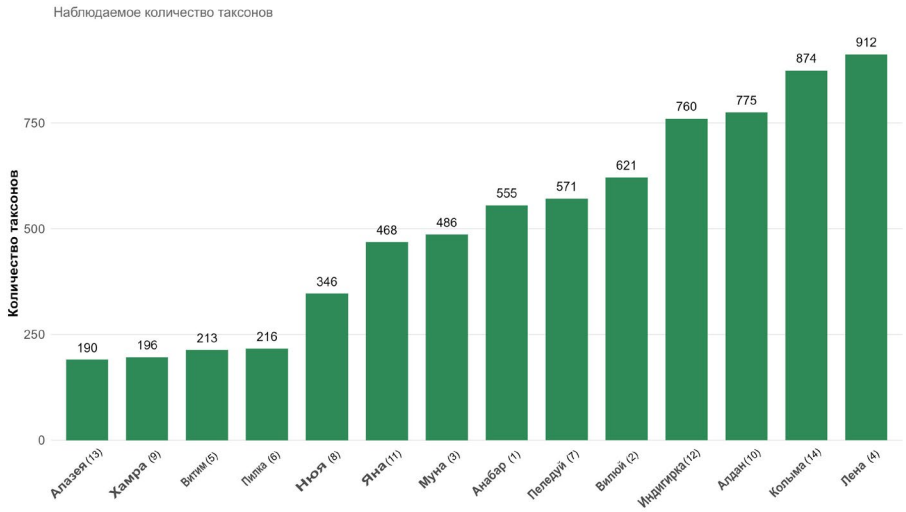


Рис. 2. Число таксонов в исследованных водоемах и водотоках Якутии.

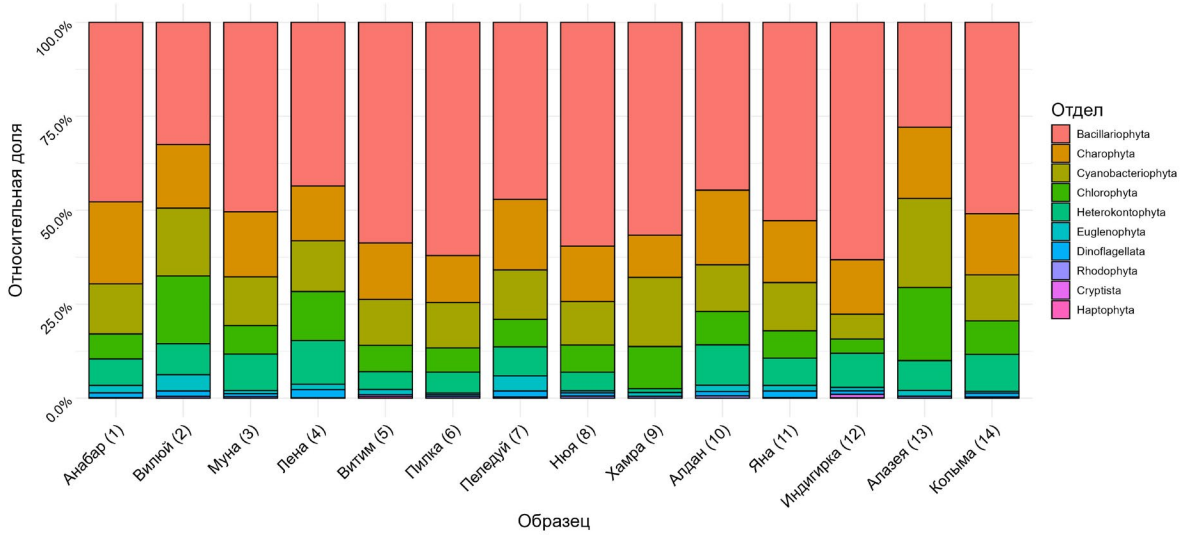


Рис. 3. Таксономический состав на уровне отделов.

Таблица. Таксономический состав фитоперифитона Якутии.

Отдел	Класс	Порядок	Семейство	Род	Вид	Таксон	% от общего числа видов (2254)	Новые виды для Якутии
Cyanobacteriophyta	1	13	32	86	283	288	12.6	16
Euglenophyta	1	1	2	11	52	52	2.3	-
Dinoflagellata	1	6	14	22	42	42	1.9	14
Cryptista	1	2	4	5	7	7	0.31	2
Bacillariophyta	5	21	40	154	1006	1072	44.6	150
Haptophyta	1	2	2	2	2	2	0.09	2
Heterokontophyta (в том числе):	4	16	27	66	256	265	11.4	18
Heterokontophyta (Chrysophyceae)	1	8	14	35	138	146	6.1	15
Heterokontophyta (Dictyochlorophyceae)	1	1	1	1	1	1	0.04	1
Heterokontophyta (Eustigmatophyceae)	1	2	3	9	43	44	1.9	-
Heterokontophyta (Xanthophyceae)	1	5	9	29	74	74	3.3	2
Charophyta	4	6	11	33	362	395	16	32
Chlorophyta	3	12	38	112	235	248	10.4	9
Rhodophyta	1	3	3	6	9	9	0.4	1
Всего:	**22**	**82**	**173**	**505**	**2254**	**2380**	**100**	**244**

Coscinodiscophyceae – 11, Florideophyceae – 9, Charophyceae, Coleochaetophyceae и Cryptophyceae по 7 видов каждый, Mediophyceae – 6, Coccolithophyceae – 2, Dictyochophyceae – 1 вид (Рис. 4).

Среди представленных 173 семейств наибольшим таксономическим разнообразием выделяется семейство Desmidiaceae – 284 таксона из отдела Charophyta. Наиболее крупными семействами отнесены семейства: Pinnulariaceae – 106, Cymbellaceae – 93, Eunotiaceae и Naviculaceae по 82 вида каждое, Bacillariaceae – 80, Surirellaceae – 76, Gomphonemataceae – 72, Achnanthidiaceae – 67, Dinobryaceae – 55, Aphanizomenonaceae и Closteriaceae по 50 таксонов каждое (Рис. 5).

Из 505 родов наибольшее число таксонов обнаружено в родах: *Cosmarium* – 120 вид, *Eunotia* – 80, *Pinnularia* – 78, *Staurastrum* – 68, *Gomphonema* – 59, *Navicula* – 53, *Nitzschia* – 49, *Closterium* – 48, *Cymbella* – 46, *Characiopsis* – 32, *Dinobryon* – 28, *Encyonema* – 27 и *Caloneis* – 26 видов (Рис. 6).

3.2. Новые и редкие виды в составе фитоперифитона водоемов и водотоков Якутии

Следует отметить, что по немногочисленным работам с использованием электронной микроскопии впервые найдены новые и редкие виды диатомовых водорослей из некоторых водоемов и водотоков Якутии. Особую значимость имеют результаты работ (Копырина и др., 2021; Копырина, 2025; Potapova et al., 2014; Kopyrina et al., 2020).

По результатам изучения диатомовых водорослей на водном мхе высокогорного озера хребта Сунтар-Хаята выявлены 4 новых вида для науки: *Encyonopsis vasiljevae* M.G.Potapova, P.B.Hamilton & L.I.Kopyrina; *Eunotia frigida* M.G. Potapova, P.B.Hamilton & L.I.Kopyrina; *Brachysira subtilis* M.G.Potapova, P.B.Hamilton & L.I.Kopyrina; *Neidium rugosum* P.B.Hamilton, M.G.Potapova & L.I.Kopyrina. Помимо этих видов, в фитоперифитоне озера были найдены несколько редких диатомей: *Neidium boyeri* Reimer и *Stauroneis crassula* Van de Vijver & Lange-Bertalot, ранее известные только из Северной Америки и Канадской Арктики (Antoniades et al., 2008); *Encyonema sibericum* Krammer & Lange-Bertalot, известен только из Западной Сибири; *Encyonema lunatum var. boreale* Krammer, ранее найденный в Финляндии, а также *Eunotia ferefalcata* Kulikovskiy & Lange-Bertalot, *Pinnularia angustarea* Kulikovskiy, Lange-Bertalot, A.Witkovski & N.I.Dorofeyuk и *Sellaphora mongolica* (Kulikovskiy, Lange-Bertalot, Witkowski & N.I.Dorofeyuk) C.E.Wetzel & Ector (=*Navicula dicta mongolica* Kulikovskiy, Lange-Bertalot, Witkowski & N.I.Dorofeyuk, до настоящего времени известные только из Монголии (Potapova et al., 2014).

В составе фитоперифитона также отмечены редкие виды из мелких озер полигонально-валиковой тундры низовьев р. Лены: *Boreozonacola hustedtii* Lange-Bertalot, Kulikovskiy et Witkowski, *Cymbella neocistula* Krammer, *Cymbella neogena*, *Cymbopleura lapponica* (Grunow) Krammer, *Encyonema hustedtii* Krammer, *Eucocconeis laevis* var. *diliviana* (Hustedt) Lange-Bertalot, *Eunotia boreotenuis* Nörpel-Schempp et Lange-Bertalot, *Eunotia botuliformis* Wild, Nörpel et Lange-Bertalot, *Eunotia curtagrunowii* Nörpel-Schempp et Lange-Bertalot, *Eunotia cf. dorofeyukae* Lange-Bertalot et Kulikovskiy, *Eunotia ferefalcata* Kulikovskiy et Lange-Bertalot, *Eunotia glacialifalsa* Lange-Bertalot, *Eunotia metamonodon* Lange-Bertalot, *Eunotia scandiorussica* Kulikovskiy, Lange-Bertalot, Genkal и т.д (Копырина и др., 2021).

В исследованных водоемах, также с использованием СЭМ нами определено наибольшее число редких видов из класса Mediophyceae родов: *Cyclotella*, *Discostella*, *Lindavia*, *Pantocsekiella*, *Stephanodiscus* из олиготрофных озер Субарктики (Kopyrina et al., 2020), единично найдены *Chaetoceros* sp., *Handmannia* sp., *Pliocaenicus* sp. Виды родов *Skeletonema*, *Thalassiosira* обнаружены на грунте соленых водоемов арктической тундры в низовьях реки Колымы и Восточно-Сибирского моря. Из класса Coscinodiscophyceae рода: *Aulacoseira*, *Ellerbeckia*, *Melosira* и *Urosolenia* (Копырина, 2025).

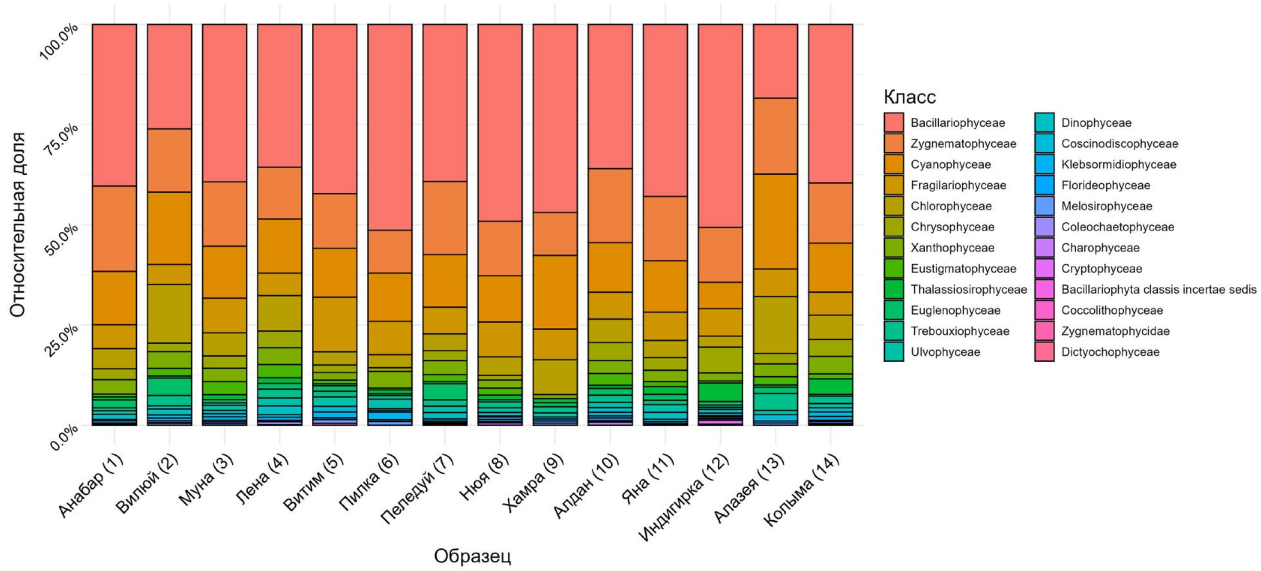


Рис. 4. Таксономический состав фитоперифитона на уровне классов.

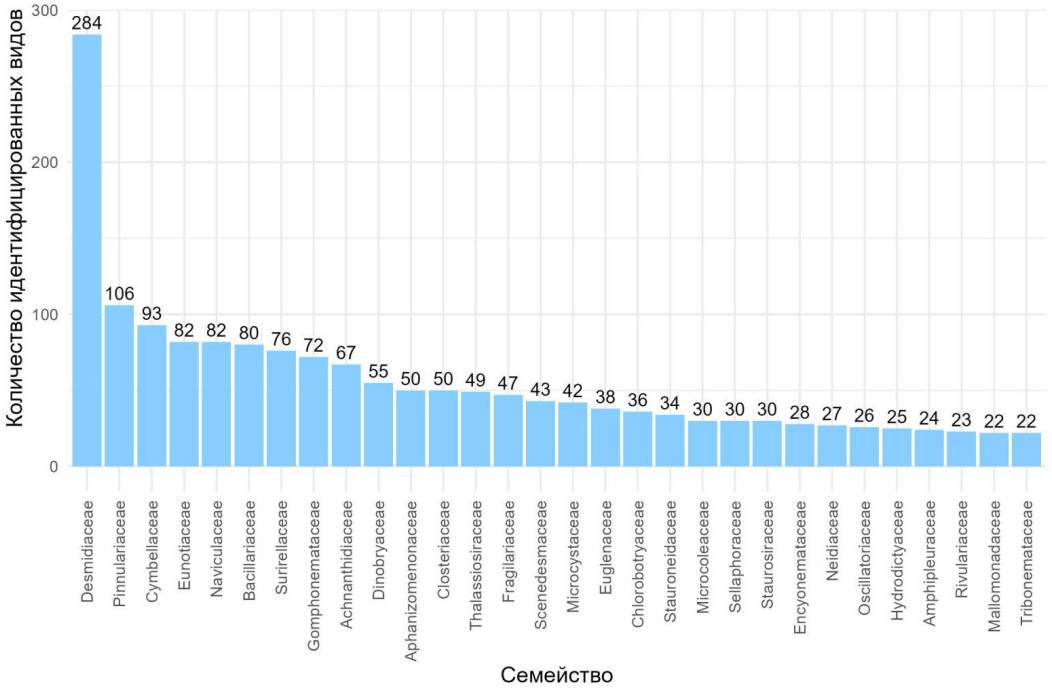


Рис. 5. Семейства с наибольшим числом видов.

Из 10 изученных отделов наиболее разнообразно представлен отдел Bacillariophyta – одна из ведущих групп доминирующего во всех исследованных водоемах и водотоков рек (Рис. 3). Для фитоперифитона исследованных рек выявлено 1006 видов (в том числе 1072 внутривидовых таксона) из 154 родов, 40 семейств, 21 порядка и 5 классов (Таблица). По числу видов доминировал класс Bacillariophyceae (82,7 % от общего числа видов в классе), среди них разнообразны представители порядков Cymbellales – 210 таксонов, Sellaphorales – 135, Naviculales – 134, Bacillariales – 86, Eunotiales – 83, Surirellales – 76, Cocconeidales – 75 таксонов, менее разнообразны порядки Diploneidales – 20, Diadesmidiales – 4 вида. Среди других классов наиболее постоянны в фитоперифитоне представители порядков Thalassiosirales – 49, Fragilariales – 47, Staurosirales – 29, Tabellariales – 16, Stephanodiscales – 15, Aulacoseirales – 11 таксонов. Остальные порядки сформированы небольшим числом видов, как правило, от 1 до 5 видов.

В отделе Charophyta обнаружено 362 вида (395 ввт) из 4 классов: Zygnematophyceae – 369 видов, Klebsormidiophyceae – 12, Charophyceae и Coleochaetophyceae по 7 видов. Наибольшее число видов выявлено в составе класса Zygnematophyceae представителями десмидиевой флоры субарктической и арктических зон Якутии, среди обнаруженных родов разнообразны *Cosmarium* – 120 видов, *Staurastrum* – 68, *Closterium* – 48, *Euastrum* – 19,

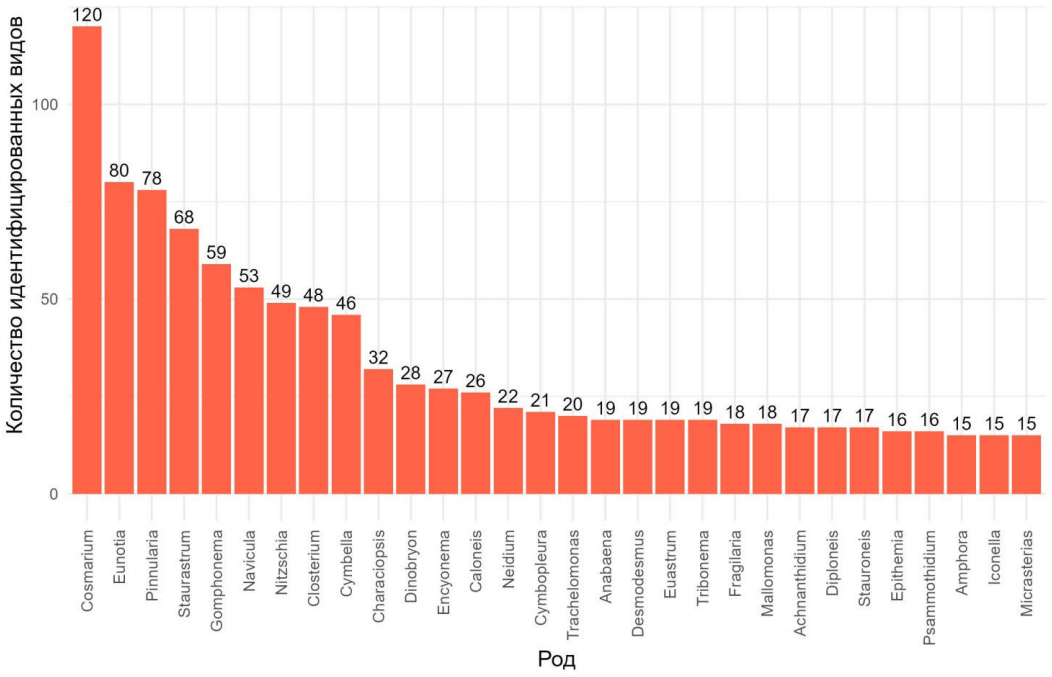


Рис. 6. Доминирующие рода фитоперифитона водоемов и водотоков Якутии.

Micrasterias – 15 видов (Рис. 6).

В настоящее время из макроскопических видов водорослей класса Charophyceae найдено 7 видов, среди них вид *Sawia canadensis* (Sawa) R.E.Romanov (= *Tolypella canadensis* Sawa) впервые занесён в Красную книгу Республики Саха (Якутия) (Копырина и Романов, 2017) и в 2024 г. занесен в Красную книгу Российской Федерации (Романов и др., 2024), где указывается категория редкости 3. Вид найден автором на мелком галечнике глубине 12 м в озере Ворота ресурсного резервата «Верхнеиндигирский» Субарктики и вторая находка выявлена на илисто-песчаном грунте озера южнее дельты р. Лены (Романов и др., 2025).

Отдел Cyanobacteriophyta имеющий один класс Cyanophyceae занял третье место и составил 283 вида (288 ввт). Синезеленые водоросли широко распространены в неглубоких термокарстовых, пойменных, соленых озерах от юга до арктики, чаще преобладали виды из родов *Anabaena*, *Aphanizomenon*, *Chamaesiphon*, *Gomphosphaeria*, *Lyngbya*, *Microcystis*, *Oscillatoria*; в водотоках виды родов *Gloeocapsa*, *Nostoc*, *Rivularia*, *Tolypothrix* и *Stigonema*.

Из отдела Heterokontophyta выявлено 256 видов (265 ввт), среди них высокое видовое богатство сформировал класс Chrysophyceae – 138 таксонов и представлен родами *Dendromonas*, *Dinobryon*, *Epipyxis*, *Mallomonas*, *Spiniferomonas*, *Synura* и *Paraphysomonas*. На каменистых субстратах горных речек наблюдали массовое развитие вида *Hydrurus foetidus* (Villars) Trevisan. Кроме того, в составе золотистых водорослей встречен новый для науки вид: *Spiniferomonas heterospina* Bessudova, Firsova & Kopyrina (Bessudova et al., 2023).

Из класса Xanthophyceae (74 вид), найден редкий вид *Vaucheria taylorii* Blum, вид впервые обнаружен для альгофлоры Якутии в малом озере южнее дельты р. Лены, что является циркумполярным видом в континентальной Евразии (Романов и др., 2025).

Отдел Chlorophyta включил 235 видов (248 ввт), в его состав вошли 3 класса: Chlorophyceae – 169 таксонов, Trebouxiophyceae – 52, Ulvophyceae – 27 таксонов. Из класса Chlorophyceae обычны в обрастаниях листьев и стеблей и на нитчатых водорослях *Chaetopeltis orbicularis* Berthold, *Aphanochaete repens* A.Braun, а также на каменистых субстратах часто встречались *Chaetophoropsis elegans* (Roth) B.Wen Liu, Qian Xiong, X.Dong Liu, Z.Yu Hu & G.Xiang Liu, на моховых подушках каменистых перекатов *Draparnaldia mutabilis* (Roth) Bory и *Ulothrix zonata* (F.Weber & Mohr) Kützing и т.д.

Отдел Euglenophyta (Euglenophyceae) имеет 52 вида, среди них некоторые виды родов *Euglena* и *Lepocinclis* активны в подледных пробах озер Субарктики, постоянны в эвтрофных термокарстовых озерах и травяных речках – *Colacium*, *Phacus* и *Trachelomonas*.

Отдел Dinoflagellata (Dinophyceae) включил 42 вида. Вид *Ceratium hirundinella* (O.F.Müller) Dujardin встречается от олиготрофных ледниковых до пойменных и термокарстовых озер, виды *Parvodinium inconspicuum* (Lemmermann) Carty, *Parvodinium umbonatum* (F.Stein) Carty, *Peridinium cinctum* (O.F.Müller) Ehrenberg, *Peridinium volzii* Lemmermann часты на мхах болот и на каменистых субстратах мелких проток больших рек.

Отдел Rhodophyta (Florideophyceae) состоит из 9 видов: *Audouinella, Batrachospermum, Kumanoa, Lemanea, Paralemanea* и *Thorea*, среди них часты на камнях верховьев рек – *Batrachospermum gelatinosum* (Linnaeus) De Candolle и *Audouinella chalybea* (Roth) Bory.

Все 7 видов из отдела Cryptista (Cryptophyceae) и 2 вида из Haptophyta (Coccolithophyceae) были выявлены в холодных олиготрофных озерах Оймяконья в бассейне р. Индигирка (Firsova et al., 2026 in press).

3.3. Сравнительно-флористический анализ

Проведено сравнение таксономической структуры видового состава фитоперифитона водоемов и водотоков Якутии с немногочисленными литературными данными альгофлоры озер Таймыра (Ермолаев и др., 1971); перифитона озер Карельского перешейка (Басова, 1974); озера на дельте р. Селенги (Вотякова, 1976); озер Большеземельской тундры (Гецен, 1985; Стенина, 2009), реки Енисея (Левадная, 1986), водоемов полуострова Ямал (Науменко и Семенова, 1996), диатомовых водорослей арктической тундры (Генкал и Вехов, 2007); Онежского озера (Рычкова, 2002); Ладожского озера (Станиславская и Горченко, 2004); озера Асылыкуль (Шарипова, 2006); рек Карелии (Комулайнен, 2004; 2018; Генкал и др., 2015); реки Колымы (Харитонов, 2014); озера Эльгыгытгын Чукотки (Харитонов и Генкал, 2012).

Сравнительная характеристика состава ведущих семейств и родов показала, что одним из общих закономерностей северной флоры считается преобладание семейств – Desmidiaceae, Naviculaceae, Fragilariaceae, Eunotiaceae и типичные прикрепленные виды из Bacillariophyta – *Achnanthidium minutissimum*, *Cocconeis pediculus, C. placentula, Hannaea arcus, Navicula radiosa, Tabellaria fenestrata, T. flocculosa;* Heterokonthophyta *(Chrysophyceae)* – *Hydrurus foetidus*; Charophyta – *Cosmarium botrytis;* Chlorophyta – *Ulothrix zonata* и Cyanobacteriophyta – *Gloeocapsa turgida, Merismopedia glauca, Snowella lacustris.* Однако, в отличии от вышеуказанных регионов, водоросли фитоперифитона Якутии имеют некоторые различия как в видовом отношении, так и по комплексу природных условий, максимально приспособленные к существованию в экстремально низких температурах, характерные именно для данной территории криолитозоны.

Одним из важнейших особенностей северных флор является в их составе преобладание одновидовых семейств и родов. В изученных нами пробах одновидовых семейств составляет 85 семейств (49,1 % от общего числа семейств) за счет отделов Chlorophyta, Cyanobacteriophyta, Bacillariophyta и

Heterokontophyta (Chrysophyceae). Двувидовые 25 семейств (14,5%) из Cyanobacteriophyta, Chlorophyta и Bacillariophyta. Такое распределение характерно для водоемов Большеземельской тундры, Западной и Северо-Восточной Сибири (Гецен, 1985; Комулайнен, 2004; Разнообразие…, 2005; Флора Якутии…, 2010; Копырина, 2014а; б).

В фитоперифитоне одновидовые роды составили 230 родов (45,5% от общего числа родов), что в значительной степени сходны с альгофлорой Якутии (Разнообразие …, 2005; Флора Якутии …, 2010; Копырина, 2014а; б). Наибольшее число одновидовых родов отмечено в отделах Chlorophyta, Bacillariophyta и Cyanobacteriophyta. Двувидовые роды составили 80 родов (15,8%) из отделов Bacillariophyta, Cyanobacteriophyta и Chlorophyta.

4. Выводы

Таким образом, в фитоперифитоне водоемов и водотоков 14 рек Якутии выявлено 2254 вида, или 2379 внутривидовых таксонов из 10 отделов. Анализ данных электронного микроскопирования позволил впервые охарактеризовать богатую таксономическую структуру водорослей фитоперифитона отделов Bacillariophyta, Heterokontophyta (Chrysophyceae), Cryptista и Haptophyta. Из 9 отделов 244 вида являются новыми для флоры рек Якутии.

Установлены крупные семейства Desmidiaceae – 284 таксона из отдела Charophyta, а также Pinnulariaceae – 106, Cymbellaceae – 93, Eunotiaceae и Naviculaceae по 82 вида каждое, Bacillariaceae – 80, Surirellaceae – 76, Gomphonemataceae – 72, Achnanthidiaceae – 67, Dinobryaceae – 55, Aphanizomenonaceae и Closteriaceae по 50 таксонов каждое. Ведущие рода: *Cosmarium* – 120 вид, *Eunotia* – 80, *Pinnularia* – 78, *Staurastrum* – 68, *Gomphonema* – 59, *Navicula* – 53, *Nitzschia* – 49, *Closterium* – 48, *Cymbella* – 46, *Characiopsis* – 32, *Dinobryon* – 28, *Encyonema* – 27 и *Caloneis* – 26 видов.

Благодарности

Исследование было финансово поддержано проектами № 126021217283-5 Института биологических проблемы криолитозоны СО РАН. Автор выражает глубокую благодарность д.б.н., профессору Е.В. Лихошвай, к.б.н. Ю.Р. Захаровой, к.б.н. М.В. Башенхаевой, к.б.н. А.Д. Фирсовой, к.б.н. А. Ю. Бессудовой, к.б.н. Е.В. Родионовой и другим коллегам за многолетнюю совместную работу, помощь в определении диатомовых, золотистых, криптофитовых видов олиготрофных озер субарктики, высокогорных озер хребта Черского, тундровых озер нижней Колымы, Восточно-Сибирского моря и возможность работы в световом и электронном микроскопах ЦКП отдела ультраструктуры клетки ЛИН СО РАН; д.б.н. С.И. Генкалу за определение диатомовых видов субарктических озер тундры (ИБВВ РАН); М.Г. Потаповой за определение диатомовых видов высокогорного озера хребта Сунтар-Хаята (Академия естественных наук, Филадельфия); к.б.н. Р.Е. Романову (БИН РАН) за определение харовых водорослей Якутии; коллегам-коллекторам к.б.н. Егоровой А.А., Н.К. Сосиной, Р.Р. Софронову, к.б.н. Егоровой Н.Н, Филиппову Н.И.; руководителю экспедиций А.А. Долженкову; дайверам Д.А. Шиллеру, А.С. Губину, М.В. Астахову, В.И. Черных, С.В. Булочкину за помощь в отборе проб из глубоководных озер Оймякона, а также Е.П. Чебыкину А.В. Ильичеву, М.В. Махлину, С.В. Звереву, Р.Я. Асанову, С.Ф. Сивцеву.

Конфликт интересов

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов, требующего раскрытия в данной статье.

Список литературы

Абакумов В.А. 1992. Руководство по гидробиологическому мониторингу пресноводных экосистем. Санкт-Петербург: Гидрометеоиздат.

Балонов И.М. 1975. Подготовка водорослей к электронной микроскопии. Методика изучения биогеоценозов внутренних водоемов. Москва: Наука, С. 87–89.

Басова С.Л. 1974. Перифитон и микрофитобентос оз. Красного (Карельский перешеек). Гидробиологический журнал 10 (1): 19–25.

Васильева И.И. 1987. Пресноводные эвгленовые и желтозеленые водоросли водоемов Якутии. Ленинград: Наука.

Водоросли: Справочник. 1989. В: Вассер С.П., Кондратьева Н.В., Масюк Н.П. и др. (ред.). Киев: Наукова думка.

Волошко Л.Н. 2017. Золотистые водоросли водоемов Севера России. Санкт-Петербург: Реноме.

Вотякова Н.Е. 1976. Водорослевые обрастания на высших водных растениях озера Метягинское (район дельты реки Селенги). Известия СО РАН СССР. Серия биологических наук 3 (15): 27–30.

Генкал С.И., Вехов Н.В. 2007. Диатомовые водоросли водоемов Русской Арктики. Москва: Наука.

Генкал С.И., Трифонова И.С. 2009. Диатомовые водоросли Ладожского озера и водоемов его бассейна. Рыбинск: Рыбинский Дом печати.

Генкал С.И., Бондаренко Н.А., Щур Л.А. 2011. Диатомовые водоросли озер юга и севера Восточной Сибири. Рыбинск: Рыбинский дом печати.

Генкал С.И., Чекрыжева Т.А., Комулайнен С.Ф. 2015. Диатомовые водоросли водоемов и водотоков Карелии. Москва: Научный мир.

Генкал С.И., Ярушина М.И. 2018. Диатомовые водоросли слабоизученных водных экосистем Крайнего Севера Западной Сибири. Москва: Научный мир.

Гецен М.В. 1985. Водоросли в экосистемах Крайнего Севера. Ленинград: Наука.

Ермолаев В.И., Сафонова Т.А., Левадная Г.Д. 1971. Альгофлора водоёмов окрестностей Таймырского стационара. В: Биогеоценозы Таймырской тундры и их продуктивность. С. 116–129.

Захарова Ю.Р., Башенхаева М.В., Фирсова А.Д. и др. 2025. Общие закономерности и региональные особенности фитопланктона в подледных сообществах озера Байкал и субарктических озер восточной Якутии. Материалы III Междунар. конф. «Озера Евразии: проблемы и пути их решения». Казань. С. 706–710.

Ижболдина Л.А. 2007. Атлас-определитель водорослей бентоса и перифитона озера Байкал (мейо- и макрофиты) с краткими очерками по их экологии. Новосибирск: Наука центр.

Изюменко С.А. 1966. Метеорологический справочник СССР. Т. 24. Якутская АССР. Часть 2. Температура воздуха и почвы. Ленинград: Гидрометеоиздат, С. 398.

Комаренко Л.Е., Васильева И.И. 1975. Пресноводные диатомовые и синезеленые водоросли водоемов Якутии. Москва: Наука.

Комаренко Л.Е., Васильева И.И. 1978. Пресноводные зеленые водоросли водоемов Якутии. Москва: Наука.

Комулайнен С.Ф. 2004. Экология фитоперифитона малых рек Восточной Фенноскандии. Петрозаводск: Институт биологии КарНЦ РАН.

Комулайнен С.Ф. 2018. Фитоперифитон водоемов и водотоков заповедника «Кивач» (Республика Карелия, Россия). Заповедная наука 3(3): 46–60.

Копырина Л.И. 2014а. Эпифитные водоросли озер долины Туймаада (Центральная Якутия). Новосибирск: Наука.

Копырина Л.И. 2014б. Видовое разнообразие эпифитных водорослей в озерах долины Туймаада (Средняя Лена). Биология внутренних вод 4: 1–6.

Копырина Л.И., Романов Р.Е. 2017. Водоросли. Семейство Харовые (Streptophyta: Charales). *Tolypella canadensis* Sawa. В: Данилова Н.С. (ред.), Красная книга Республики Саха (Якутия). Т. I: Редкие и находящиеся под угрозой исчезновения виды растений и грибов. Москва: ВНИИ «Экология».

Копырина Л.И., Генкал С.И., Ремигайло П.А. 2021. Диатомовые водоросли водоемов субарктической тундры. Биология внутренних вод 2: 107–114.

Копырина Л.И. 2025. Диатомовые водоросли арктических водоёмов и водотоков нижней р. Колымы и Восточно-Сибирского моря. Вопросы современной альгологии 1 (37): 103–108. DOI: 10.33624/2311-0147-2025-1(37)-103-108

Коржуев С.С. 1965. Рельеф и геологическое строение. Якутия. Москва: Наука, С. 29–14.

Крахмальный А.Ф. 2011. Динофитовые водоросли Украины (иллюстрированный определитель). Киев: Альтерпрес.

Куликовский М.С., Глущенко А.Н., Генкал С.И. и др. 2016. Определитель диатомовых водорослей России. Ярославль: Филигрань.

Левадная Г.Д. 1986. Микрофитобентос реки Енисей. Новосибирск: Наука.

Науменко Ю.В., Семенова Л.А. 1996. К изучению водорослей некоторых водоемов полуострова Ямал (Западная Сибирь). Новости систематики низших растений 31: 46–52.

Помазкина Г.В., Родионова Е.В. 2014. Диатомовые водоросли семейства Cymbellaceae озера Байкал: Атлас-определитель. Новосибирск: Наука.

Помазкина Г.В., Родионова Е.В., Щербакова Т.А. 2018. Бентосные диатомовые водоросли семейства Naviculaceae озера Байкал: Атлас-определитель. Новосибирск: Наука.

Помазкина Г.В., Родионова Е.В., Щербакова Т.А. 2024. Бентосные диатомовые водоросли рода Diploneis озера Байкал: Атлас-определитель. Новосибирск: Наука.

Поповская Г.И., Генкал С.И., Лихошвай Е.В. 2011. Диатомовые водоросли планктона озера Байкал: атлас-определитель. Новосибирск: Наука.

Разнообразие растительного мира Якутии. 2005. В: Данилова Н.С. (ред.). Новосибирск: Издательство СО РАН.

Романов Р.Е., Копырина Л.И., Патова Е. 2024. Водоросли. *Tolypella canadensis*. Красная книга Российской Федерации. Растения и грибы. Моква: ВНИИ «Экология», С. 704.

Романов Р.Е., Копырина Л.И., Егорова Н.Н. 2025. Наиболее северные местонахождения *Sphaerochara canadensis* (Charophyceae, Characeae) и *Vaucheria taylorii* (Xanthophyceae, Vaucheriaceae) из дельты реки Лена. Ботанический журнал 110 (4): 390–396.

Русанов Б.С., Бороденкова З.Ф., Гончаров В.Ф. 1967. Геоморфология Восточной Якутии. Якутск: Якуткнигоиздат, С. 1–376.

Рычкова М.А. 2002. Перифитон. Атлас. Ладожское озеро. Санкт-Петербург: Наука.

Сивцева А.И., Мостахов М.У., Дмитриева З.М. 1990. География Якутской АССР. Якутск: Якуткнигоиздат, С. 1–168.

Станиславская Е.В., Горченко А.С. 2004. Разнообразие водорослей перифитона в притоках Ладожского озера. Новости систематики низших растений: 79–98.

Стенина А.С. 2009. Диатомовые водоросли (Bacillariophyta) в озерах востока Большеземельской тундры. Сыктывкар: Коми НЦ УрО РАН.

Флора Якутии: Географический и экологический аспекты. 2010. Новосибирск: Наука.

Харитонов В.Г., Генкал С.И. 2012. Диатомовые водоросли озера Эльгыгытгын и его окрестностей (Чукотка). Магадан: Издательство СВНЦ ДВО РАН.

Харитонов В.Г. 2014. Диатомовые водоросли Колымы. Магадан: Кордис.

Чистяков Г.Е. 1964. Водные ресурсы рек Якутии. Москва: Наука.

Чудаев Д.А., Гололобова М.А. 2016. Диатомовые водоросли озера Глубокого (Московская область). Москва: Товарищество научных изданий КМК.

Шарипова М.Ю. 2006. Водоросли экотонных сообществ. Уфа: РИО БашГУ.

Antoniades D., Hamilton P.B., Douglas M.S.V. et al. 2008. Diatoms of North America: The freshwater floras of Prince Patrick, Ellef Ringnes and northern Ellesmere Islands from the Canadian Arctic Archipelago. Iconographia Diatomologica 17: 1–649.

Azim M.E., Verdegem M.C., van Dam A.A. et al. 2005. Periphyton: ecology, exploitation and management. CABI. 352 p.

Bessudova A.Yu., Firsova A.D., Bukin Y. et al. 2023. Under-ice development of silica-scaled chrysophytes with different trophic mode in two ultraoligotrophic lakes of Yakutia. Diversity 15: 326. DOI: 10.3390/d15030326

Firsova A.D., Bessudova A.Yu., Galachyants Y.P. et al. 2026. Features of the under-ice growth of phytoplankton of subarctic oligotrophic lakes of northeastern Yakutia. Polar Biology (in press).

Guiry M.D., Guiry G.M. 2026. AlgaeBase. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway. URL: https://www.algaebase.org

Kopyrina L., Firsova A., Rodionova E. et al. 2020. The insight into diatom diversity, ecology, and biogeography of an extreme cold ultraoligotrophic Lake Labynkyr at the Pole of Cold in the northern hemisphere. Extremophiles: 603–623.

Krammer K., Lange-Bertalot H. 1986. Bacillariophyceae (Naviculaceae). In: Ettl H., Gerloff J., Heynig H. et al. (Eds.), Süßwasserflora von Mitteleuropa. Band 2/1. Gustav Fischer, Stuttgart. pp. 1–876.

Krammer K., Lange-Bertalot H. 1988. Bacillariophyceae. 2. Teil: Bacillariaceae, Epithemiaceae, Surirellaceae. In: Ettl H., Gerloff J., Heynig H. et al. (Eds.), Süßwasserflora von Mitteleuropa 2/2. G. Fischer, Stuttgart, pp. 1–596.

Krammer K., Lange-Bertalot H. 1991a. Bacillariophyceae. 3. Teil: Centrales, Fragilariaceae, Eunotiaceae. In: Ettl H., Gerloff J., Heynig H. et al. (Eds.), G. Fischer, Stuttgart, pp. 1–596.

Krammer K., Lange-Bertalot H. 1991b. Bacillariophyceae. 4. Teil: Achnanthaceae, Kritische Ergänzungen zu *Navicula* (Lineolatae) und *Gomphonema*. In: Ettl H., Gerloff J., Heynig H. et al. (Eds.), Süsswasserflora von Mitteleuropa, G. Fischer, Stuttgart, pp. 1–437.

Krammer K. 1997a. Die cymbelloiden Diatomeen. Teil 1: *Allgemeines* und *Encyonema* part. Bibliotheca Diatomologica 36: 1–382.

Krammer K. 1997b. Die cymbelloiden Diatomeen. Teil 2: *Encyonema* part., *Encyonopsis* und *Cymbellopsis*. Bibliotheca Diatomologica 37: 1–469.

Krammer K. 2000. Diatoms of Europe. Vol. 1: *Pinnularia*. Ruggell: A.R.G. Gantner Verlag K.G.

Krammer K. 2002. Diatoms of Europe. Vol. 3: *Cymbella*. Ruggell: A.R.G. Gantner Verlag K.G.

Krammer K. 2003. Diatoms of Europe. Vol. 4: *Cymbopleura*, *Delicata*, *Navicymbula*, *Gomphocymbellopsis*, *Afrocymbella*. Ruggell: A.R.G. Gantner Verlag K.G.

Lange-Bertalot H., Genkal S.I. 1999. Diatoms from Siberia. In: Islands in the Arctic Ocean (Yugorsky-Shar Strait). Iconographia Diatomologica 6: 1–271.

Lange-Bertalot H. 2001. Navicula sensu stricto. 10 genera separated from Navicula sensu lato. Frustulia. In: Lange-Bertalot H. (Ed.), Diatoms of Europe: diatoms of the European inland waters and comparable habitats. Vol. 2. A.R.G. Gantner Verlag K.G. Ruggell, pp. 1–526.

Lange-Bertalot H., Bak M., Witkowski A. 2011. Diatoms of Europe. Eunotia and some related genera. Vol. 6. Ruggell: A.R.G. Gantner Verlag K.G.

Larned S.T. 2010. A prospectus for periphyton: recent and future ecological research. Journal of the North American Benthological Society 29 (1): 182–206.

Levkov Z. 2009. Amphora sensu lato. In: Lange-Bertalot H. (Ed.), Diatoms of Europe, vol 5. Liechtenstein, pp. 916.

Levkov Z., Metzeltin D., Pavlov A. 2013. Luticola, Luticolopsis. Diatoms of Europe: diatoms of the European inland waters and comparable habitats. Vol. 7. Königstein. pp. 1–697.

Mauch J., Kronsbein A.L., Putschew A. et al. 2023. Periphyton in urban freshwater facilitates transformation of trace organic compounds: A case study on iodinated contrast media. Frontiers in Environmental Science 11: 1142591. DOI: 10.3389/fenvs.2023.1142591

Potapova M.G., Hamilton P.B., Kopyrina L.I. et al. 2014. New and rare diatom (Bacillariophyta) species from a mountain lake in Eastern Siberia. Phytotaxa 156 (3): 100–116.

Reichardt E. 1999. Zur revision der gattung *Gomphonema*. Iconographia Diatomologica 8: 1–203.

Round F.E., Crawford R.M., Mann D.G. 1990. The diatoms. Biology and morphology of the genera. Cambridge: Cambridge University Press.