

ДИАТОМОВЫЕ ВОДОРОСЛИ В АЛЬГОЦЕНОЗАХ ОЗЕРА ПИЗАНЕЦ (РЕСПУБЛИКА КАРЕЛИЯ)

© 2023 г. С. И. Генкал^{1,*}, С. Ф. Комулайнен^{2,**}

¹Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН
пос. Борок, Некоузский р-н, Ярославская обл., 152742, Россия

²Институт биологии Карельского научного центра РАН
ул. Пушкинская, 11, Петрозаводск, 185910, Россия

*e-mail: genkal@ibiw.ru

**e-mail: komsf@mail.ru

Поступила в редакцию 13.06.2022 г.

После доработки 29.05.2023 г.

Принята к публикации 06.06.2023 г.

Изучение фитопланктона, фитоперифитона и микрофитобентоса в озере Пизанец с помощью сканирующей электронной микроскопии выявило 208 таксонов Bacillariophyta видового и внутривидового рангов. Среди них 65 видов и разновидностей – новые для флоры Карелии, в том числе 8 – для флоры России. Проведена экологическая оценка видового состава по отношению к характеристикам среды.

Ключевые слова: фитопланктон, фитоперифитон, микрофитобентос, Bacillariophyta, озеро Пизанец, Республика Карелия, электронная микроскопия

DOI: 10.31857/S0006813623060042, **EDN:** UPMNNI

Малым озерам, расположенным на территории республики Карелии, имеющим площадь менее 2 км², на долю которых приходится более 95% от всей 61 тысячи водоемов, долгие годы практически не уделялось внимания. Гидрологические, гидрохимические и гидробиологические исследования проводились, главным образом, на крупных озерах и водохранилищах, имеющих хозяйственное значение (Ozega..., 2013).

В последние годы интерес к малым водоемам вырос в связи с дорожным строительством, лесозаготовками, использованием этих водоемов для садкового выращивания радужной форели, что приводит к нарушению экосистем. В то же время они стали широко использоваться в целях рекреации и туризма. Это потребовало активизировать мониторинг и разработать методы охраны. Наиболее эффективным способом сохранения природы, является организация особо охраняемых природных территорий (ООПТ). Однако из 145 ООПТ на территории Карелии в настоящее время гидрологическими являются один природный заказник и 9 памятников природы (Gosudarstvennu..., 2001). Такого количества охраняемых водоемов явно недостаточно.

Озеро Пизанец живописно, обладает большой научной и рекреационной ценностью и нуждается в охране, особенно учитывая, что в последние

годы оно стало одним из самых посещаемых в Карелии. Оно расположено в Медвежьегорском районе Республики Карелии (N 63° 12.868', E 32° 57.911'). Высота над уровнем моря – 178 м. Воды озера заполняют приразломную тектоническую котловину, ориентированную в северо-северо-западном направлении. Площадь озера 0.825 км², длина – 5.7 км, средняя ширина – 145 м. Рельеф дна сложный; максимальная глубина в центральной части до 70 м. Литоральная зона практически отсутствует. Заболоченность территории – 6–7%, населенных пунктов поблизости нет. В южной части высота берега достигает 50–60 м. Вода в озере слабоминерализованная ($\Sigma_{\text{ион}} = 8.5$ мг/л), гидрокарбонатного класса, группы кальция, слабокислая (pH = 6.1), с цветностью 65 градусов по Pt-Co шкале. Озеро мезотрофное ($P_{\text{общ}} = 16$ мкг/л); мезогумусное (гумусность = 15 ед.). Отмечена повышенная концентрация Fe_{общ} (0.18 мг/л), что является особенностью вод региона, а не показателем их загрязнения (Lozovik, 2013).

В рамках работы над созданием на озере Пизанец ООПТ выполнена оценка его современного состояния (Komulaunen et al., 2021). Впервые проведено его морфо-гидрологическое и гидрохимическое обследование, выполнен анализ структуры фитопланктона, фитоперифитона, микрофитобентоса, зоопланктона и зообентоса. Всего в

озере обнаружено 48 видов из 18 родов диатомовых водорослей (в фитопланктоне – 20 таксонов, в фитоперифитоне – 38), их численность в фитопланктоне достигает 39%, по биомассе эта группа доминирует (82%) (Komulaunet et al., 2021). Установлено, что в настоящее время озеро не подвергается антропогенному влиянию, а структура гидробиоценозов типична для водоемов региона. Однако детально состав сообществ водных организмов, в том числе водорослей, не изучался.

Разнообразие природных условий карельских озер во многом определяет уникальность их альгологических сообществ, характеризующихся специфической таксономической структурой, ведущие позиции в которой занимают диатомовые водоросли (Genkal et al., 2015).

Цель работы – уточнение видового состава Bacillariophyta в малоизученном озере Пизанец.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

В озере Пизанец было выбрано три участка, расположенных в северной, южной и центральной частях озера. Отбор проб выполнялся 2–3 августа 2020 г. Пробы фитопланктона отбирались батометром Рутнера в поверхностном горизонте (0–2 м), пробы микрофитобентоса – дночерпателем ДАК 250 с песчаных и илистых грунтов (5–7 м), пробы фитоперифитона смывались водой, счищались скальпелем или зубной щеткой с макрофитов, древесины и камней (0–0.7 м). Для диатомового анализа были использованы пробы из всех экологических группировок, собранные на трех исследованных участках. Освобождение створок диатомей от органического вещества проводили методом холодного сжигания (Balonov, 1975). Приготовленные препараты изучали в сканирующем электронном микроскопе JSM-6510LV. Полученные в процессе исследований негативы с изображением створок диатомовых водорослей хранятся в иконотеке С.И. Генкала.

При определении использовались отечественные и зарубежные систематические сводки (Krammer, Lange-Bertalot, 1986, 1988, 1991a, b; Lange-Bertalot, Moser, 1994; Krammer, 1997a, b, 2000, 2002, 2003; Lange-Bertalot, Genkal, 1999; Reichardt, 1999; Lange-Bertalot, 2001; Levkov, 2009; Lange-Bertalot et al., 2011, 2017; Levkov et al., 2013, 2016; Kulikovskiy et al., 2016; Genkal et al., 2020). Экологическую принадлежность водорослей устанавливали согласно работе Бариновой с соавторами (Barinova et al., 2006).

РЕЗУЛЬТАТЫ

В результате изучения фитопланктона, фитоперифитона и микрофитобентоса выявлено 208 видов и разновидностей Bacillariophyta (соответственно 86, 93 и 131, включая 65 новых для флоры

Карелии (*) и 8 – для флоры России (**)) (табл. 1). Ниже приведен список таксонов, новых для флоры России, с краткими диагнозами, синонимикой и оригинальными иллюстрациями. В списке кроме того приведен перечень 13 представителей диатомовых, определенных только до уровня рода, с краткими описаниями и иллюстрациями.

Achnantheidium sieminskae Witkowski, Kulikovskiy et Riaux-Gobin (рис. 1, 1). Створка 19 мкм длиной, 2.4 мкм шириной, количество штрихов в 10 мкм – 34.

Cymbella hungarica (Grunow) Pantocsek (Syn.: *Cocconema hungaricum* Grunow, *Cymbella parva* var. *hungarica* (Grunow) Cleve, *Cymbella hungarica* var. *crassior* Pantocsek, *Cymbella signata* Pantocsek, *Cymbella hungarica* var. *signata* (Pantocsek) Cleve-Euler) (рис. 1, 2). Створка 31 мкм длиной, 8.3 мкм шириной, штрихов 12 в 10 мкм.

Eunotia subherkiniensis Lange-Bertalot (рис. 1, 3). Створки длиной 16.3–17.8 мкм, 4–4.5 мкм шириной, штрихов 16–18 в 10 мкм.

Frustulia septentrionalis Lange-Bertalot (рис. 1, 4). Створки длиной 70–105 мкм, 15–23 мкм шириной, штрихов 40 в 10 мкм.

Pinnularia pseudosimilis Krammer (рис. 1, 5). Створка длиной 46 мкм, 8.4 мкм шириной, штрихов 18 в 10 мкм.

Pinnularia reichardtii Krammer (рис. 1, 6). Створка длиной 112 мкм, 21.8 мкм шириной, штрихов 8 в 10 мкм.

Sellaphora crassulexigua (E. Reichardt) C.E. Wetzel et Ector (рис. 2, 6). Створка длиной 7.2 мкм, 3 мкм шириной, штрихов 33 в 10 мкм.

Stauroneis kuelbsii Lange-Bertalot (рис. 1, 7). Створка длиной 76 мкм, 14 мкм шириной, штрихов 18 в 10 мкм.

Achnantheidium species (рис. 1, 8). Створка длиной 23.5 мкм, 3 мкм шириной, штрихов 18 в 10 мкм.

Fragilaria sp. (рис. 1, 9). Створка длиной 27.2 мкм, 2.5 мкм шириной, штрихов 15 в 10 мкм.

Frustulia sp. (рис. 1, 10). Створка длиной 45.7 мкм, 10 мкм шириной, штрихов 35 в 10 мкм.

Navicula sp. 1 (рис. 2, 1). Створка длиной 20.6 мкм, 6.7 мкм шириной, штрихов 13 в 10 мкм.

Navicula sp. 2 (рис. 2, 2). Створка длиной 43.7 мкм, 6.0 мкм шириной, штрихов 14 в 10 мкм.

Nitzschia sp. (рис. 2, 3). Створка длиной 86 мкм, 3 мкм шириной, фибул 8 в 10 мкм, штрихов 48 в 10 мкм.

Pinnularia sp. 1 (рис. 2, 4). Створка длиной 45 мкм, 5.7 мкм шириной, штрихов 13 в 10 мкм.

Pinnularia sp. 2 (рис. 2, 5). Створка длиной 41.6 мкм, 7.6 мкм шириной, штрихов 11 в 10 мкм.

Sellaphora sp. 1 (рис. 2, 7). Створка длиной 26.2 мкм, 2.4 мкм шириной, штрихов 38 в 10 мкм.

Таблица 1. Видовой состав диатомовых озера Пизанец
Table 1. Species composition of diatoms in Lake Pizanets

	Вид Species	Фитопланктон Phytoplankton	Фитоперифитон Phytoperiphyton	Микрофитобентос Microphytobenthos
Класс Coscinodiscaceae				
1	<i>Aulacoseira alpigena</i> (Grunow) Krammer	+	+	+
2	<i>A. ambigua</i> (Grunow) Simonsen	+	—	—
3	<i>A. islandica</i> (O. Müller) Simonsen	+	—	—
4	<i>A. lacustris</i> (Grunow) Krammer	—	—	+
5	<i>A. lirata</i> (Ehrenberg) Ross	—	—	+
6	<i>A. nivaloides</i> (Camburn) English et Potapova	—	—	+
7	<i>A. perglabra</i> (Oestrup) Haworth	—	—	+
8	<i>A. paffiana</i> (Reinsh) Krammer	—	+	+
9	<i>A. scalaris</i> (Grunow) Houk, Klee et Passauer (*)	+	+	+
10	<i>A. septentrionalis</i> (Kamburn et Charles) Genkal et Kulikovskiy	—	—	+
11	<i>A. subarctica</i> (O. Müller) Haworth	+	—	—
12	<i>A. tenella</i> (Nygaard) Simonsen	+	—	—
13	<i>A. valida</i> (Grunow) Krammer	—	—	+
14	<i>Cyclotella distiguenda</i> Hustedt (*)	—	—	+
15	<i>Discostella stelligera</i> (Cleve et Grunow) Houk et Klee	—	+	+
16	<i>Pantocsekiella rossii</i> (Håkansson) K.T. Kiss et E. Ács	+	+	+
17	<i>Stephanodiscus hantzschii</i> Grunow	+	—	+
18	<i>S. minutulus</i> (Kützing) Cleve et Möller	+	—	—
19	<i>S. triporus</i> Genkal et Kuzmin	—	+	—
Класс Fragilariophyceae				
20	<i>Asterionella formosa</i> Hassal	+	—	—
21	<i>Fragilaria austriaca</i> (Grunow) Lange-Bertalot	—	—	+
22	<i>F. capucina</i> Desmazieres	+	—	—
23	<i>F. crotonensis</i> Kitton	+	+	—
24	<i>F. exiguiformis</i> Lange-Bertalot	—	+	+
25	<i>F. gracilis</i> Oestrup	+	—	+
26	<i>F. lata</i> (Cleve-Euler) Renberg	—	+	—
27	<i>F. mesolepta</i> Rabenhorst	+	—	—
28	<i>F. nanana</i> Lange-Bertalot (*)	—	+	—
29	<i>Fragilaria</i> sp.	—	—	+
30	<i>F. vaucheriae</i> (Kützing) Petersen	+	—	—
31	<i>Fragilariforma quadrata</i> (Hustedt) Kharitonov	—	+	+
32	<i>Oxyneis binalis</i> var. <i>elliptica</i> (Flower) Kingston (*)	+	—	+
33	<i>Tabelaria flocculosa</i> (Roth) Kützing	+	+	+
34	<i>Tetracyclus glans</i> (Ehrenberg) Wills	—	+	+
35	<i>Ulnaria acus</i> (Kützing) Aboal	—	—	+
Класс Bacillariophyceae				
36	<i>Achnanthisdium anastasiae</i> (Kaczmarska) Chudaev et Gololobova (*)	+	+	+
37	<i>A. caledonicum</i> (Lange-Bertalot) Lange-Bertalot	+	+	—
38	<i>A. eutrophilum</i> (Lange-Bertalot) Lange-Bertalot (*)	—	—	+

Таблица 1. Продолжение

	Вид Species	Фитопланктон Phytoplankton	Фитоперифитон Phytoperiphyton	Микрофитобентос Microphytobenthos
39	<i>A. minutissimum</i> (Kützing) Czarnecki	+	+	+
40	<i>A. nodosum</i> (A. Cleve) Tseplik et Chudaev	+	+	+
41	<i>A. petersenii</i> (Hustedt) C.E. Wetzel, L. Ector, D.M. Williams et I. Jüttner	–	–	+
42	<i>A. pusillum</i> (Grunow) Czarnecki	–	+	+
43	<i>A. sieminskae</i> Witkowski, Kulikovskiy et Riaux-Gobin (**)	–	–	+
44	<i>Achnantheidium</i> sp.	–	–	+
45	<i>Adlafia minuscula</i> (Grunow) Lange-Bertalot	–	+	+
46	<i>Amphora copulata</i> (Kützing) Schoeman et Archibald	–	–	+
47	<i>Brachysira brebisonii</i> Ross	+	+	+
48	<i>B. follis</i> (Ehrenberg) Ross (*)	–	–	+
49	<i>B. neoexilis</i> Lange-Bertalot	–	+	+
50	<i>B. serians</i> (Brébissonii) Round et D.G. Mann	+	–	+
51	<i>Caloneis clevei</i> (Legerstedt) Cleve	–	–	+
52	<i>C. tenuis</i> (Gregory) Krammer	–	+	–
53	<i>C. undulata</i> (W. Gregory) Krammer	–	–	+
54	<i>Cavinula cocconeiformis</i> (Gregory ex Greville) D.G. Mann et Stickle	–	–	+
55	<i>C. pseudoscutiformis</i> (Hustedt) D.G. Mann et Stickle	+	+	–
56	<i>Chamaepinnularia hassiaca</i> (Krasske) Cantonati et Lange-Bertalot (*)	–	–	+
57	<i>C. mediocris</i> (Krasske) Lange-Bertalot (*)	–	–	+
58	<i>C. muscicola</i> (Petersen) Kulikovskiy, Lange-Bertalot et Witkowski (*)	–	–	+
59	<i>C. vyvermanii</i> Lange-Bertalot (*)	+	–	+
60	<i>Cocconeis placentula</i> Ehrenberg	+	–	–
61	<i>Cymbella hungarica</i> (Grunow) Pantocsek (**)	+	–	–
62	<i>C. mexicana</i> (Ehrenberg) Cleve	+	–	–
63	<i>C. tumida</i> (Brébisson) V. Heurck	+	–	–
64	<i>Cymbopleura incerta</i> (Grunow) Krammer	+	–	–
65	<i>C. naviculiformis</i> (Auerswald) Krammer	+	+	–
66	<i>C. perprocera</i> Krammer	–	–	+
67	<i>Encyonema cespitosum</i> Kützing	+	–	–
68	<i>E. gaenmannii</i> (Meister) Krammer	+	–	+
69	<i>E. hebridicum</i> Grunow ex Cleve	–	+	+
70	<i>E. minutum</i> (Hilse) D.G. Mann (*)	+	–	–
71	<i>E. neogracile</i> Krammer	+	+	+
72	<i>E. silesiacum</i> (Bleisch) D.G. Mann	–	+	–
73	<i>E. supergracile</i> Krammer et Lange-Bertalot	–	+	+
74	<i>Encyonopsis cesatii</i> (Rabenhorst) Krammer	–	+	+
75	<i>E. cesatiformis</i> Krammer (*)	–	+	–
76	<i>E. microcephala</i> (Grunow) Krammer (*)	–	+	–
77	<i>Eolimna minima</i> (Grunow) Lange-Bertalot	+	–	–
78	<i>Eucocconeis alpestris</i> (Brun) Lange-Bertalot	–	+	–

Таблица 1. Продолжение

	Вид Species	Фитопланктон Phytoplankton	Фитоперифитон Phytoperiphyton	Микрофитобентос Microphytobenthos
79	<i>Eucoconeis depressa</i> (Cleve) Lange-Bertalot	—	+	+
80	<i>E. diluviana</i> (Hustedt) Lange-Bertalot	—	+	+
81	<i>E. flexella</i> (Kützing) F. Meister	—	—	+
82	<i>Eunotia arcus</i> Ehrenberg (*)	+	+	—
83	<i>E. bactriana</i> Ehrenberg (*)	+	—	—
84	<i>E. biconstricta</i> (Grunow) Lange-Bertalot (*)	—	+	—
85	<i>E. bilunaris</i> (Ehrenberg) Schaarschmidt	—	+	+
86	<i>E. chelonia</i> Nörpel-Schempp, Lange-Bertalot et Metzeltin	+	—	—
87	<i>E. circumborealis</i> Lange-Bertalot et Nörpel-Schempp (*)	—	+	—
88	<i>E. diadema</i> Ehrenberg	—	+	+
89	<i>E. elegans</i> Oestrup	+	+	—
90	<i>E. exigua</i> (Brébisson ex Kützing) Rabenhorst (*)	+	+	—
91	<i>E. faba</i> Ehrenberg	+	+	+
92	<i>E. fallax</i> A. Cleve (*)	—	—	+
93	<i>E. flexuosa</i> (Brébisson ex Kützing) Kützing	—	+	+
94	<i>E. genuflexa</i> Nörpel-Schempp ex Lange-Bertalot et Metzeltin (*)	+	—	+
95	<i>E. hexaglyphis</i> Ehrenberg(*)	+	—	—
96	<i>E. iatriaensis</i> Foged	—	+	+
97	<i>E. implicata</i> Nörpel-Schempp, Alles et Lange-Bertalot	+	—	—
98	<i>E. incisa</i> Gregory	+	—	+
99	<i>E. meisterioides</i> Lange-Bertalot	+	—	+
100	<i>E. minor</i> (Kützing) Grunow	+	+	—
101	<i>E. naegelii</i> Migula	—	+	—
102	<i>E. neocompacta</i> var. <i>vixcompacta</i> Lange-Bertalot	—	—	+
103	<i>E. pseudogroenlandica</i> Lange-Bertalot et Tagliaventi	+	—	+
104	<i>E. satelles</i> (Nörpel-Schempp et Lange-Bertalot) Nörpel-Schempp et Lange-Bertalot	—	+	—
105	<i>E. scandiorussika</i> Kulikovskiy, Lange-Bertalot, Genkal et Witkovski	+	—	—
106	<i>E. serra</i> Ehrenberg	—	—	+
107	<i>E. solerolii</i> (Kützing) Rabenhorst	—	+	+
108	<i>E. subarcuatoides</i> Alles, Nörpel et Lange-Bertalot	+	—	+
109	<i>E. subherkiniensis</i> Lange-Bertalot (**)	—	—	+
110	<i>E. tenella</i> (Grunow) Hustedt	—	—	+
111	<i>E. tetraodon</i> Ehrenberg	—	+	—
112	<i>Fallacia subhamilata</i> (Grunow) D.G. Mann (*)	+	—	—
113	<i>Frustulia crassinervia</i> (Brébisson) Lange-Bertalot et Krammer	+	+	+
114	<i>F. erifuga</i> Lange-Bertalot et Krammer	—	—	+
115	<i>F. saxonica</i> Rabenhorst	+	+	+
116	<i>F. septentrionalis</i> Lange-Bertalot (**)	—	+	+

Таблица 1. Продолжение

	Вид Species	Фитопланктон Phytoplankton	Фитоперифитон Phytoperiphyton	Микрофитобентос Microphytobenthos
117	<i>Frustulia</i> sp.	—	—	+
118	<i>Gomphosphenia stoermeri</i> Kociolek et Thomas (*)	—	—	+
119	<i>Gyrosigma spencerii</i> (Quekett) Griffith et Henfrey	+	—	—
120	<i>Humidophila schmassmannii</i> (Hustedt) Buczko et Wojtal	—	—	+
121	<i>Karayevia clevei</i> (Grunow) Bukhtiyarova	+	—	—
122	<i>Kobayasiella parasubtilissima</i> (Kobayasi et Nagumo) Lange-Bertalot (*)	+	+	+
123	<i>Microcostatus naumanii</i> (Hustedt) Lange-Bertalot	—	+	—
124	<i>Navicula angusta</i> Grunow	+	+	+
125	<i>N. cryptocephala</i> Kützing	+	+	+
126	<i>N. cryptonella</i> Lange-Bertalot (*)	+	—	—
127	<i>N. radiosa</i> Kützing	—	—	+
128	<i>N. rhyngocephala</i> Kützing	—	—	+
129	<i>Navicula</i> sp. 1	+	—	—
130	<i>Navicula</i> sp. 2	—	—	+
131	<i>N. subalpina</i> Reichardt (*)	—	—	—
132	<i>N. venerabilis</i> Hohn et Hellerman	+	—	+
133	<i>Neidium affine</i> var. <i>longiceps</i> (Gregory) Cleve	—	+	—
134	<i>N. alpinum</i> Hustedt (*)	—	—	+
135	<i>N. ampliatum</i> (Ehrenberg) Krammer	—	+	+
136	<i>N. apiculatum</i> Reimer (*)	—	—	+
137	<i>N. densestriatum</i> (Oesrup) Krammer	—	—	+
138	<i>N. hercynicum</i> A. Mayer	+	+	—
139	<i>N. hitchcockii</i> (Ehrenberg) Cleve	+	—	+
140	<i>N. iridis</i> (Ehrenberg) Cleve	—	—	+
141	<i>Nitzschia angustata</i> (W. Smith) Grunow	—	+	—
142	<i>N. baciliformis</i> Hustedt (*)	+	—	+
143	<i>N. bryophila</i> (Hustedt) Hustedt (*)	—	—	+
144	<i>N. capitellata</i> Hustedt (*)	—	—	+
145	<i>N. dissipata</i> var. <i>media</i> (Hantzsch) Grunow	—	—	+
146	<i>N. fonticola</i> Grunow	—	—	+
147	<i>Nitzschia</i> species	—	+	—
148	<i>N. vermicularis</i> (Kützing) Hantzsch	—	+	+
149	<i>Nupela impexa</i> (Lange-Bertalot) Genkal et Kharitonov	—	—	+
150	<i>N. silvahercynia</i> (Lange-Bertalot) Lange-Bertalot	—	—	+
151	<i>N. tenuicephala</i> (Hustedt) Lange-Bertalot	—	—	+
152	<i>Peronia fibula</i> (Brébisson et Kützing) Ross	—	—	+
153	<i>Pinnularia acuminata</i> W. Smith (*)	+	—	+
154	<i>P. biceps</i> Gregory	—	+	+
155	<i>P. brebissonii</i> (Kützing) Rabenhorst	—	+	+
156	<i>P. decrescens</i> var. <i>rhombaria</i> Krammer (*)	—	+	—
157	<i>P. divergens</i> var. <i>media</i> Krammer	—	—	+

Таблица 1. Продолжение

	Вид Species	Фитопланктон Phytoplankton	Фитоперифитон Phytoperiphyton	Микрофитобентос Microphytobenthos
158	<i>Pinnularia divergens</i> var. <i>subbacillaris</i> Krammer (*)	—	+	—
159	<i>P. divergens</i> var. <i>sublinearis</i> P.T. Cleve	—	+	+
160	<i>P. divergentissima</i> var. <i>subrostrata</i> Cleve-Euler	+	—	—
161	<i>P. esoxiformis</i> Fusey	+	+	+
162	<i>P. gibba</i> Ehrenberg	—	+	—
163	<i>P. graciloides</i> var. <i>triundulata</i> (Fontell) Krammer	—	—	+
164	<i>P. islandica</i> Oestrup (*)	—	+	—
165	<i>P. isseliana</i> Krammer (*)	—	+	+
166	<i>P. krammeri</i> Metzeltin (*)	+	—	+
167	<i>P. lange-bertalotii</i> Krammer (*)	—	+	+
168	<i>P. nodosa</i> (Ehrenberg) W. Smith	—	—	+
169	<i>P. perspicua</i> Krammer (*)	—	—	+
170	<i>P. pseudosimilis</i> Krammer (**)	+	—	—
171	<i>P. reichardtii</i> Krammer (**)	+	—	+
172	<i>P. rhombarea</i> var. <i>halophila</i> Ehrenberg (*)	—	—	+
173	<i>P. rhombarea</i> Krammer var. <i>rhombarea</i> (*)	—	—	+
174	<i>P. rupestris</i> Hantzsch (*)	—	+	—
175	<i>Pinnularia</i> sp. 1	—	+	—
176	<i>Pinnularia</i> sp. 2	—	—	+
177	<i>P. stomatophora</i> (Grunow) Cleve (*)	—	+	—
178	<i>P. suchlandtii</i> Hustedt (*)	—	+	—
179	<i>P. subanglica</i> Krammer	—	+	+
180	<i>P. viridis</i> (Nitzsch) Ehrenberg	+	—	+
181	<i>P. viridiformis</i> Krammer	—	+	—
182	<i>Planathidium abbreviatum</i> (Reimer) Potapova (*)	+	—	—
183	<i>P. delicatulum</i> (Kützing) Round et Bukhtiyarova	+	—	—
184	<i>Psammothidium altaicum</i> (V.S. Poretzky) Bukhtiyarova	+	+	+
185	<i>P. chlidanos</i> (Hohn et Helleman) Lange-Bertalot	+	+	—
186	<i>P. curtissimum</i> (J.R. Carter) Aboal (*)	—	+	—
187	<i>P. daonense</i> (Lange-Bertalot) Lange-Bertalot	+	—	—
188	<i>P. delicatulum</i> (Kützing) Round et Bukhtiyarova	+	—	—
189	<i>P. didymum</i> (Hustedt) Bukhtiyarova et Round	+	—	+
190	<i>P. helveticum</i> (Hustedt) Bukhtiyarova et Round	—	+	+
191	<i>P. levanderi</i> (Hustedt) Bukhtiyarova et Round (*)	+	+	+
192	<i>P. kuelsbii</i> (Lange-Bertalot) Bukhtiyarova et Round	+	—	+
193	<i>P. subatomoides</i> (Hustedt) Bukhtiyarova et Round	—	+	—
194	<i>P. subsalsum</i> (J.B. Petersen) Kulikovskiy, Witkowski et Plinski (*)	—	—	+
195	<i>P. ventrale</i> (Krasske) Bukhtiyarova et Round (*)	+	+	—
196	<i>Rhoicosphenia abbreviata</i> (C. Agardh) Lange-Bertalot	+	+	—
197	<i>Sellaphora atomoides</i> (Grunow) Wetzel et Van de Vijver (*)	—	—	+

Таблица 1. Окончание

	Вид Species	Фитопланктон Phytoplankton	Фитоперифитон Phytoperiphyton	Микрофитобентос Microphytobenthos
198	<i>Sellaphora bacillum</i> (Ehrenberg) D.G. Mann	–	+	–
199	<i>S. blackfordensis</i> D.G. Mann et S. Droop (*)	+	–	–
200	<i>S. crassulexigua</i> (E. Reichardt) Wetzel et Ector (**)	+	+	–
201	<i>S. elorantana</i> (Lange-Bertalot) C.E. Wetzel emend. Genkal	–	+	+
202	<i>S. obesa</i> D.G. Mann et Bayer (*)	–	–	+
203	<i>S. pseudopupula</i> (Krasske) Lange-Bertalot (*)	–	–	+
204	<i>Sellaphora</i> sp. 1	–	+	–
205	<i>Sellaphora</i> sp. 2	–	–	+
206	(?) <i>Sellaphora</i> sp. 3	+	–	+
207	<i>S. stauroneiodes</i> (Lange-Bertalot) J. Veseda et J.R. Johansen	–	–	+
208	<i>S. stroemii</i> (Hustedt) D.G. Mann (*)	+	–	–
209	<i>Semiorbis hemicyclus</i> (Ehrenberg) Patrick	–	+	+
210	<i>Stauroneis amphicephala</i> Kützing (*)	–	+	–
211	<i>S. anceps</i> Ehrenberg	–	–	+
212	<i>S. kuelbsii</i> Lange-Bertalot (**)	–	–	+
213	<i>S. legimen</i> (Ehrenberg) Kützing	–	+	+
214	<i>S. reichardtii</i> Lange-Bertalot, Cavacini, Tagliaventi et Alfinito	–	+	–
215	<i>Stauroneis</i> sp. 1	–	+	–
216	<i>Stauroneis</i> sp. 2	–	+	+
217	<i>Stenopterobia anceps</i> (Lewis) Brébisson ex Van Heuck	–	–	+
218	<i>S. curvula</i> (W. Smith) Krammer	+	+	+
219	<i>Surirella linearis</i> W. Smith var. <i>linearis</i>	–	+	+
220	<i>S. linearis</i> var. <i>helvetica</i> (Brun) Meister (*)	–	–	+
221	<i>S. tenera</i> Gregory	–	–	+

* – new taxon to the flora of Karelia; ** – new taxon to the flora of Russia.

Sellaphora sp. 2 (рис. 2, 8). Створка длиной 26.5 мкм, 4.1 мкм шириной, штрихов 34 в 10 мкм.

(?)*Sellaphora* sp. 3 (рис. 2, 9). Створка длиной 10 мкм, 3.3 мкм шириной, штрихов 27 в 10 мкм.

Stauroneis sp. 1 (рис. 2, 10). Створка длиной 76 мкм, 14.3 мкм шириной, штрихов 20 в 10 мкм.

Stauroneis sp. 2 (рис. 2, 11). Створки длиной 40–45 мкм, 5.7–7 мкм шириной, штрихов 35–40 в 10 мкм.

ОБСУЖДЕНИЕ

По литературным данным в фитопланктоне озера обнаружено 20 таксонов диатомовых водорослей из 14 родов, включая 2 определенных только до рода (Komulaynen et al., 2021), что значительно меньше наших данных – соответственно 86 (включая определенные до уровня рода) из

33 родов. Первое исследование фитопланктона показало, что в большинстве отмеченных родов обнаружено по 1 виду и лишь в 4 родах их больше (*Aulacoseira* – по 4 вида, *Cyclotella*, *Pinnularia* и *Tabellaria* по 2 вида) (Komulaynen et al., 2021). В нашем материале только 17 родов включали по одному виду, а максимальное число видов и разновидностей отмечено в родах *Aulacoseira* (6), *Psammothidium* (7) и *Eunotia* (15). В фитоперифитоне по литературным источникам было обнаружено 38 таксонов Bacillatiophyta из 14 родов и здесь таксономическое разнообразие в пределах родов было выше, чем в фитопланктоне – всего в 4 зафиксировали по одному виду, а наиболее богатыми в таксономическом плане оказались *Symbella*, *Eunotia* и *Gomphonema* (по 4 таксона) и *Pinnularia* (7) (Komulaynen et al., 2021). Мы зафиксировали значительно больше видов и разновидностей – 93 (включая определенные до уровня рода) из 32 родов.

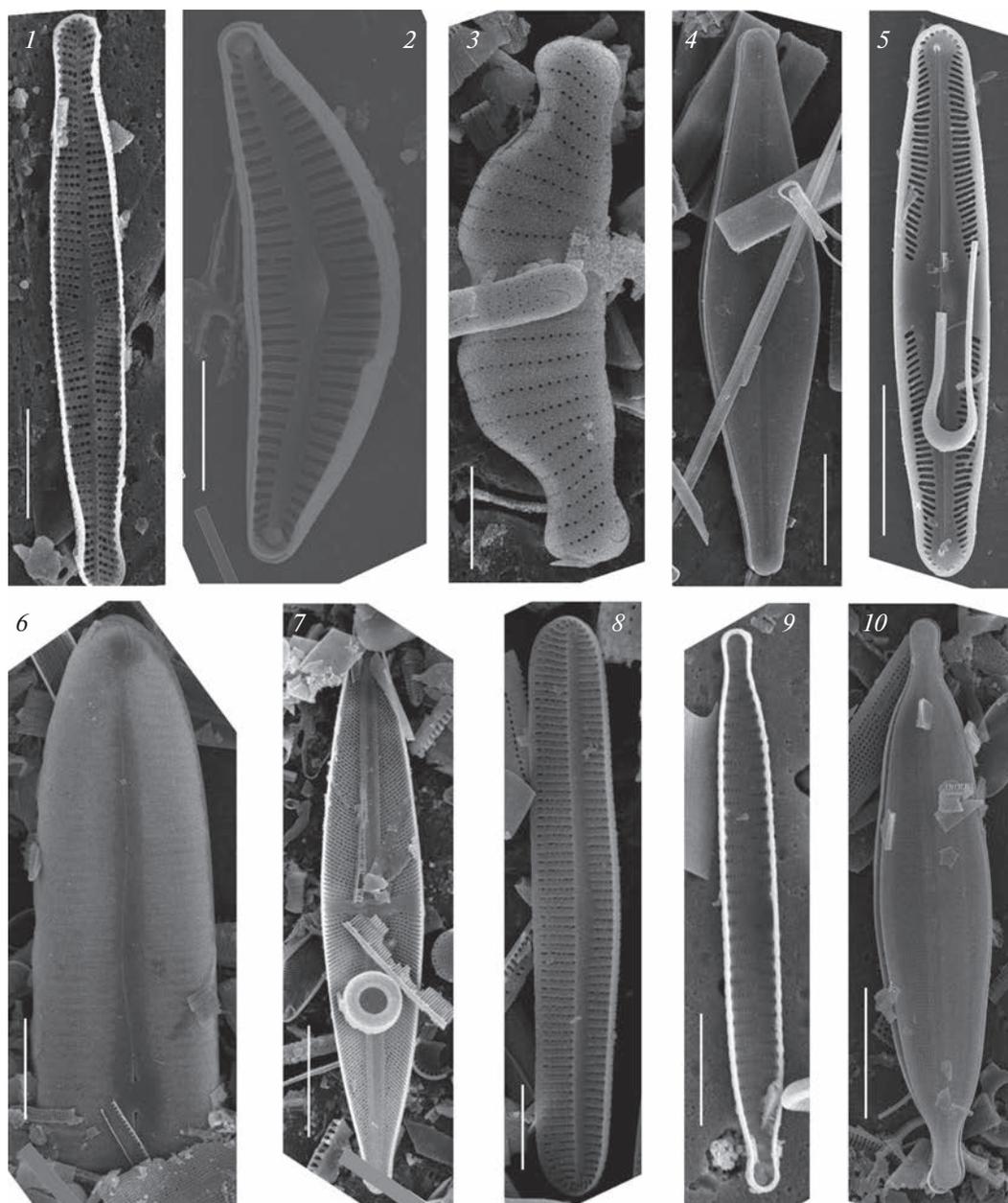


Рис. 1. Электронные микрофотографии створок (СЭМ).

1 – *Achnantheidium sieminskae*; 2 – *Cymbella hungarica*; 3 – *Eunotia subherkiniensis*; 4 – *Frustulia septentrionalis*; 5 – *Pinnularia pseudosimilis*; 6 – *P. reichardtii*; 7 – *Stauroneis kuelbsii*; 8 – *Achnantheidium* sp.; 9 – *Fragilaria* sp.; 10 – *Frustulia* sp. 1, 2, 5, 7–9 – створка с внутренней поверхности; 3, 4, 6, 10 – створка с наружной поверхности. Масштаб: 1, 2, 9 – 5 мкм; 3, 8 – 2 мкм; 4 – 20 мкм; 5, 6, 7, 10 – 10 мкм.

Fig. 1. Electron micrographs of valves (SEM).

1 – *Achnantheidium sieminskae*; 2 – *Cymbella hungarica*; 3 – *Eunotia subherkiniensis*; 4 – *Frustulia septentrionalis*; 5 – *Pinnularia pseudosimilis*; 6 – *P. reichardtii*; 7 – *Stauroneis kuelbsii*; 8 – *Achnantheidium* sp.; 9 – *Fragilaria* sp.; 10 – *Frustulia* sp. 1, 2, 5, 7–9 – internal view of the valve; 3, 4, 6, 10 – external view of the valve. Scale bars: 1, 2, 9 – 5 μm; 3, 8 – 2 μm; 4 – 20 μm; 5, 6, 7, 10 – 10 μm.

При этом, наибольшее видовое богатство наблюдали в родах *Psammothidium* (8), *Eunotia* (15) и *Pinnularia* (16), что отчасти соответствует литературным данным (Komulainen et al., 2021). Первые данные по диатомовым микрофитобентоса озера Пизанец, полученные при проведении этого ис-

следования, показали, что его таксономический спектр богаче фитопланктона и фитоперифитона как на видовом, так и родовом уровнях, соответственно 131 (включая определенные до уровня рода) и 38. Максимальное число таксонов также, как и в фитоперифитоне, зафиксировали в родах

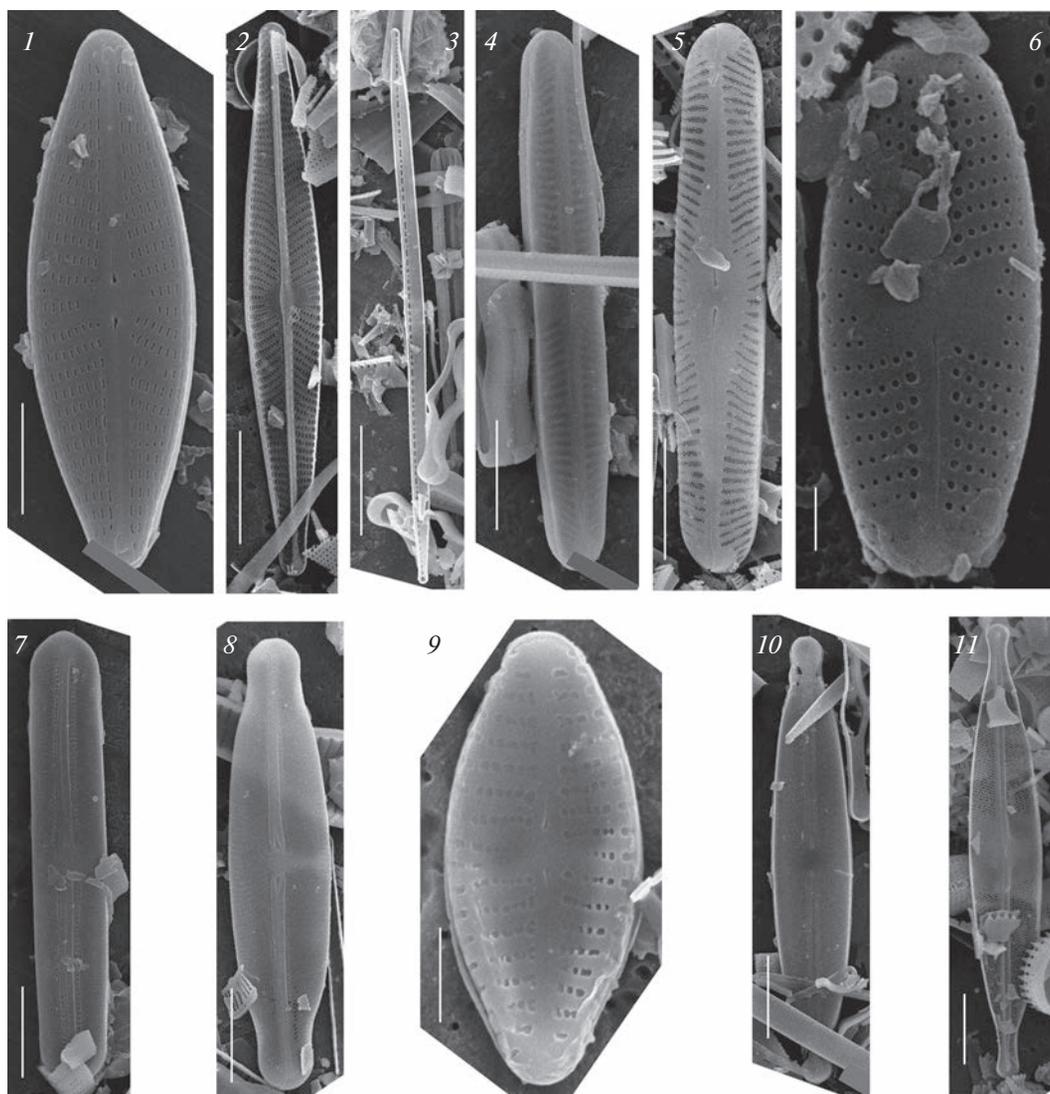


Рис. 2. Электронные микрофотографии створок (СЭМ).

1 – *Navicula* sp. 1; 2 – *Navicula* sp. 2; 3 – *Nitzschia* sp.; 4 – *Pinnularia* sp. 1; 5 – *Pinnularia* sp. 2; 6 – *Sellaphora crassulexigua*; 7 – *Sellaphora* sp. 1; 8 – *Sellaphora* sp. 2; 9 – (?)*Sellaphora* sp. 3; 10 – *Stauroneis* sp. 1; 11 – *Stauroneis* sp. 2. 1, 4–10 – створка с наружной поверхности; 2, 3, 11 – створка с внутренней поверхности. Масштаб: 1, 7, 8 – 5 мкм; 2, 4, 5, 11 – 10 мкм; 3, 10 – 20 мкм; 6, 9 – 1 мкм.

Fig. 2. Electron micrographs of valves (SEM).

1 – *Navicula* sp. 1; 2 – *Navicula* sp. 2; 3 – *Nitzschia* sp.; 4 – *Pinnularia* sp. 1; 5 – *Pinnularia* sp. 2; 6 – *Sellaphora crassulexigua*; 7 – *Sellaphora* sp. 1; 8 – *Sellaphora* sp. 2; 9 – (?)*Sellaphora* sp. 3; 10 – *Stauroneis* sp. 1; 11 – *Stauroneis* sp. 2. 1, 4–10 – external view of the valve; 2, 3, 11 – internal view of the valve. Scale bars: 1, 7, 8 – 5 μm; 2, 4, 5, 11 – 10 μm; 3, 10 – 20 μm; 6, 9 – 1 μm.

Eunotia (15) и *Pinnularia* (18), а также в пределах рода *Aulacoseira* (9), большинство представителей которого относятся к планктонным видам. Таким образом, по литературным данным в фитопланктоне и фитоперифитоне озера ранее обнаружено всего 48 видов из 18 родов (Komulaynen et al., 2021), в то время как при изучении наших материалов всего в альгоценозах озера выявлено 208 видов и разновидностей диатомовых водорослей из 45 родов.

Большинство идентифицированных в озере Пизанец диатомовых водорослей в разных про-

порциях встречались и в других водоемах и водотоках республики Карелия (Komulaynen et al., 2006; Genkal et al., 2015). Это, по-видимому, указывает на сходство условий формирования альгофлоры в регионе и определяющую роль климата. Специфика диатомовой флоры озера Пизанец связана с разнообразием донных, пеннатных форм. Многие из них оказались новыми для альгофлоры России и Карелии. Они были выявлены, главным образом, в пробах микрофитобентоса и являются для него характерными (Davudova,

1975), однако, исследования собственно микрофитобентоса проводятся в водоемах не так часто.

Многие из выявленных таксонов являются индикаторами различных характеристик среды.

Большая часть выявленных в альгофлоре озера видов — это бентосные в широком смысле формы, т.е. связанные с субстратом (97 или 77.6% от общего количества таксонов).

По приуроченности к температурному режиму преобладали индифференты (71.4%). Отмечены так же эвритермные и холодноводные виды.

Среди видов-индикаторов кислотности водной среды (113 таксонов) преобладали ацидофилы (47.7%). Разнообразие алкалофилов (23.0%) и индифферентов (29.2%) значительно меньше. Единично встречены алкалибионты.

По отношению к минерализации 57.7% перечня индикаторных видов (104 таксона) — это индифференты, т.е. типичные обитатели пресных вод. Галофилы, предпочитающие воды с повышенной минерализацией, составили только 5.8% видов-индикаторов солености воды. Доля галофобов более заметна (30.8%).

По отношению к степени загрязнения воды органическими веществами преобладали эврисапробы (62.9% индикаторных видов) — водоросли, устойчивые к органическому загрязнению, обычно развивавшиеся в слабо- и умеренно загрязненных водах. Обитателей чистых и слабо загрязненных вод — сапроксенов — значительно меньше (30.6%). Сапрофилы, преобладающие в водах с сильным органическим загрязнением, наименее заметны — 6.5%.

Значительное число индикаторов сапробности (107 таксонов) позволило корректно провести сапробиологический анализ альгоценозов. В их составе выявлены виды-индикаторы сапробности — от ксеносапробной до полисапробной. Обитатели чистых вод ксено-, олигосапробионты и обитатели переходной между ними (χ -о, о- χ) зоны — выявлены в количестве 66 и составляют 61.6% от общего числа найденных видов-индикаторов сапробности. К обитателям загрязненных и грязных вод относится всего 1 вид (*Navicula capitellata*). Более трети индикаторов сапробности (37.3%) являются видами с высокой степенью толерантности к содержанию органических веществ и могут успешно вегетировать как в чистых, так и в насыщенных органикой водах.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изучение материалов по озеру Пизанец в значительной степени расширило таксономический спектр диатомовых водорослей фитопланктона и фитоперифитона на видовом и родовом уровнях, а также позволило получить первые данные по микрофитобентосу. Всего в озере выявлено 208

таксонов Bacillariophyta видового и внутривидового ранга из 45 родов, в том числе 65 видов и разновидностей — новых для флоры Карелии и 8 — для России. Большая часть обнаруженных таксонов относятся к бентосным видам, по отношению к температурному режиму и минерализации — к индифферентам, к рН среды — ацидофилам, по отношению к степени загрязнения воды органическими веществами — эврисапробам.

БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена в рамках государственных заданий по темам FMEN-2022-07 (КарНЦРАН) и № 121051100099-5.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [Balonov] Балонов И.М. 1975. Подготовка водорослей к электронной микроскопии. — В кн.: Методика изучения биогеоценозов. М. С. 87–89.
- [Barinova et al.] Баринаова С.С., Медведева Л.А., Анисимова О.В. 2006. Биоразнообразие водорослей-индикаторов окружающей среды. Тель-Авив. 498 с.
- [Genkal et al.] Генкал С.И., Чекрыжева Т.А., Комулайнен С.Ф. 2015. Диатомовые водоросли водоемов и водотоков Карелии. М. 202 с.
- [Genkal et al.] Генкал С.И., Куликовский М.С., Кузнецова И.В. 2020. Современные пресноводные центрические диатомовые водоросли России. Ярославль. 433 с.
- [Gosudarstvennyu...] Государственный доклад о состоянии окружающей среды Республики Карелия в 2020 г. Министерство природных ресурсов и экологии Республики Карелия. 2021. Петрозаводск. 277 с.
- [Davudova] Давыдова Н.Н. 1975. Диатомеи донных отложений литоральной зоны Онежского озера. — В кн.: Литоральная зона Онежского озера. Л. С. 192–208.
- [Komulaunen et al.] Комулайнен С.Ф., Чекрыжева Т.А., Вислянская И.Г. 2006. Альгофлора озер и рек Карелии. Таксономический состав и экология. Петрозаводск. 78 с.
- [Komulaunen et al.] Комулайнен С.Ф., Барышев И.А., Круглова А.Н., Сластина Ю.Л., Потахин М.С., Галахина Н.Е., Никерова К.М. 2021. Озеро Пизанец (республика Карелия, Россия) — новый объект для создания ООПТ. — Трансформация экосистем. 4 (2): 1–12.
<https://doi.org/10.23859/estr-201126>
- 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. *Pinnularia*. — Diatoms of Europe. 1: 1–703.
- Krammer K. 2002. *Cymbella*. — Diatoms of Europe. 3: 1–584.

- Krammer K. 2003. *Cymbopleura*, *Delicata*, *Navicymbula*, *Gomphocymbellopsis*, *Afrocymbella*. — Diatoms of Europe. 4: 1–530.
- Krammer K., Lange-Bertalot H. 1986. Bacillariophyceae. Teil 1. Naviculaceae. — Süßwasserflora von Mitteleuropa. Stuttgart; New York. 876 s.
- Krammer K., Lange-Bertalot H. 1988. Bacillariophyceae. Teil 2. Epithemiaceae, Bacillariaceae, Surirellaceae. — Die Süßwasserflora von Mitteleuropa. Stuttgart. 536 s.
- Krammer K., Lange-Bertalot H. 1991a. Bacillariophyceae. Teil 3: Centrales, Fragilariaceae, Eunotiaceae. — Die Süßwasserflora von Mitteleuropa. Stuttgart, New York. 576 s.
- Krammer K., Lange-Bertalot H. 1991b. Bacillariophyceae. zu *Navicula* (Lineolatae) und *Gomphonema*. — Die Süßwasserflora von Mitteleuropa. Stuttgart. 437 s.
- [Kulikovskiy et al.] Куликовский М.С., Глушенко А.Н., Генкал С.И., Кузнецова И.В. 2016. Определитель диатомовых водорослей России. Ярославль. 804 с.
- Lange-Bertalot H. 2001. *Navicula* sensu stricto, 10 genera separated from *Navicula* sensu lato *Frustulia*. — Diatoms of Europe. 2: 1–526.
- Lange-Bertalot H., Genkal S.I. 1999. Diatoms of Siberia. I. — Iconographia Diatomologica. 6: 7–272.
- Lange-Bertalot H., Hofmann G., Werum M., Cantonati M. 2017. Freshwater benthic diatoms of Central Europe. Schmittens-Oberreifenberg. 942 p.
- Lange-Bertalot H., Bak M., Witkowski A. 2011. *Eunotia* and some related genera. — Diatoms of Europe. 6: 1–747.
- Lange-Bertalot H., Moser G. 1994. Brachysira-Monographie der Gattung. — Bibliotheca Diatomologica. 29: 1–212.
- Levkov Z. 2009. *Amphora* sensu lato. — Diatoms of Europe. 5: 1–916.
- Levkov Z., Metzeltin D., Pavlov A. 2013. *Luticola*, *Luticolopsis*. — Diatoms of Europe. 7: 1–697.
- Levkov Z., Mitić-Kopanja D., Reichardt E. 2016. The diatom genus *Gomphonema* from the Republik of Macedonia. — Diatoms of Europe. 8: 1–552.
- [Lozovik] Лозовик П.А. 2013. Геохимическая классификация поверхностных вод гумидной зоны на основе их кислотно-основного равновесия. — Водные ресурсы. 40(6): 583–592. <https://doi.org/10.7868/S0321059613060072>
- [Ozera...] Озера Карелии. Справочник. 2013. Петрозаводск. 464 с.
- Reichardt E. 1999. Zur revision der gattung *Gomphonema*. — Iconographia Diatomologica. 8: 1–203.

DIATOMS IN ALGOCENOSES OF PISANETS LAKE (REPUBLIC OF KARELIA)

S. I. Genkal^{a,#} and S. F. Komulaynen^{b,##}

^a*Papanin Institute for Biology of Inland Waters of the Russian Academy of Sciences
Borok, Yaroslavl Region, 152742, Russia*

^b*Institute of Biology, Karelian Research Centre of the Russian Academy of Sciences
Pushkinskaya Str., 11, Petrozavodsk, 185910, Russia*

[#]*e-mail: genkal@ibiw.ru*

^{##}*e-mail: komsf@mail.ru*

The scanning electron microscopy study of phytoplankton, phytoperiphyton and microphytobenthos has revealed 208 taxa of Bacillariophyta of specific and intraspecific ranks in Pisanets Lake. Among them, 66 species and varieties are new to the flora of Karelia, including 8 ones new to the flora of Russia. Some algae (13) are identified only to the genus. An ecological assessment of the species composition in relation to the characteristics of the environment is carried out.

Keywords: phytoplankton, phytoperiphyton, microphytobenthos, Bacillariophyta, Pisanets Lake, Republic of Karelia, electron microscopy

ACKNOWLEDGEMENTS

The work was carried out within the framework of the state assignments on the topics FMEN-2022-07 (Karelian Research Centre RAS) and No. 121051100099-5.

REFERENCES

- Balonov I.M. 1975. Podgotovka vodorosley k elektronnoy mikroskopii [Preparation of algae for electron microscopy]. — In: Methods for the study of biocenoses. Moscow. P. 87–8 (In Russ.).
- Barinova S.S., Medvedeva L.A., Anisimova O.V. 2006. Bioraznoobrazie vodorosley-indikatorov okruzhayushchey sredy [Biodiversity of algae-indicators of the environment]. Tel-Aviv. 498 p. (In Russ.).
- Genkal S.I., Chekryzheva T.A., Komulaynen S.F. 2015. Diatom algae in waterbodies and watercourses of Karelia. Moscow. 202 p. (In Russ.).
- Genkal S.I., Kulikovskiy M.S., Kuznetsova I.V. 2020. The recent freshwater centric diatoms of Russia. Yaroslavl. 433 p. (In Russ.).
- Gosudarstvennyy doklad o sostoyanii okruzhayushchey sredy Respubliki v 2020 g. Ministerstvo prirodnikh re-

- sursov i ekologii Respubliki Kareliya. [State Report on the State of the Environment of the Republic of Karelia in 2020. Ministry of Natural Resources and Ecology of the Republic of Karelia]. 2021. Petrozavodsk. 277 p. (In Russ.).
- Davudova N.N. 1975. Diatomei donnykh otlozheniy litoralnoy zony Onezhskogo ozera [Diatoms of bottom sediments of the littoral zone of Lake Onega]. – In: Littoral zone of Lake Onega. Leningrad. P. 192–208 (In Russ.).
- Komulaynen C.F., Chekruzhet T.A., Vislyanskaya I.G. 2006. Algoflora ozer i rek Karelii. Taksonomicheskiy sostav i ekologiya [Algoflora of lakes and rivers of Karelia. Taxonomic composition and ecology]. Petrozavodsk. 78 p. (In Russ.).
- Komulaynen C.F., Baryshev I.A., Kruglova A.N., Slastina Yu.L., Potakhin M.S., Galakhina N.E., Nikerova K.M. 2021. Ozero Pizanets (Respublika Kareliya, Rossia) – novyy obekt dlya sozdaniya OOPT [Lake Pizanets (Republic of Karelia, Russia) is a new object for the creation of protected areas]. – Ecosystem transformation. 4 (2): 1–12 (In Russ.).
<https://doi.org/10.23859/estr-201126>
- 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. *Pinnularia*. – Diatoms of Europe. 1: 1–703.
- Krammer K. 2002. *Cymbella*. – Diatoms of Europe. 3: 1–584.
- Krammer K. 2003. *Cymbopleura*, *Delicata*, *Navicymbula*, *Gomphocymbellopsis*, *Afrocymbella*. – Diatoms of Europe. 4: 1–530.
- Krammer K., Lange-Bertalot H. 1986. Bacillariophyceae. Teil 1. Naviculaceae. – Süßwasserflora von Mitteleuropa. Stuttgart; New York. 876 s.
- Krammer K., Lange-Bertalot H. 1988. Bacillariophyceae. Teil 2. Epithemiaceae, Bacillariaceae, Surirellaceae. – Die Süßwasserflora von Mitteleuropa. Stuttgart. 536 s.
- Krammer K., Lange-Bertalot H. 1991a. Bacillariophyceae. Teil 3: Centrales, Fragilariaceae, Eunotiaceae. – Die Süßwasserflora von Mitteleuropa. Stuttgart, New York. 576 s.
- Krammer K., Lange-Bertalot H. 1991b. Bacillariophyceae. zu *Navicula* (Lineolatae) und *Gomphonema*. – Die Süßwasserflora von Mitteleuropa. Stuttgart. 437 s.
- Kulikovskiy M.S., Glushchenko A.M., Genkal S.I., Kuznetsova I.V. 2016. Identification book of diatoms from Russia. Yaroslavl. 804 p. (In Russ.).
- Lange-Bertalot H. 2001. *Navicula* sensu stricto, 10 genera separated from *Navicula* sensu lato Frustulia. – Diatoms of Europe. 2: 1–526.
- Lange-Bertalot H., Genkal S.I. 1999. Diatoms of Siberia. I. – Iconographia Diatomologica. 6: 7–272.
- Lange-Bertalot H., Hofmann G., Werum M., Cantonati M. 2017. Freshwater benthic diatoms of Central Europe. Schmittens-Oberreifenberg. 942 p.
- Lange-Bertalot H., Bak M., Witkowski A. 2011. *Eunotia* and some related genera. – Diatoms of Europe. 6: 1–747.
- Lange-Bertalot H., Moser G. 1994. Brachysira-Monographie der Gattung. – Bibliotheca Diatomologica. 29: 1–212.
- Levkov Z. 2009. *Amphora* sensu lato. – Diatoms of Europe. 5: 1–916.
- Levkov Z., Metzeltin D., Pavlov A. 2013. *Luticola*, *Luticolopsis*. – Diatoms of Europe. 7: 1–697.
- Levkov Z., Mitić-Kopanja D., Reichardt E. 2016. The diatom genus *Gomphonema* from the Republic of Macedonia. – Diatoms of Europe. 8: 1–552.
- Lozovik P.A. 2013. Geokhimicheskaya klassifikatsiya poverkhnostnykh vod gumidnoy zony na osnove ikh kislotno-osnovnogo ravnovesiya [Geochemical classification of surface waters of the humid zone based on their acid-base equilibrium]. – Vodnye resursy. 40(6): 583–592 (In Russ.).
<https://doi.org/10.7868/S0321059613060072>
- Ozera Karelii [Lakes of Karelia. Guide]. 2013. Petrozavodsk. 464 p. (In Russ.).
- Reichardt E. 1999. Zur revision der gattung *Gomphonema*. – Iconographia Diatomologica. 8: 1–203.