НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 582.26

ДИАТОМОВЫЕ ВОДОРОСЛИ (BACILLARIOPHYTA) ЭПИПЕЛОНА ПРУДА В АЛЬПИНАРИИ БОТАНИЧЕСКОГО САДА МГУ НА ЛЕНИНСКИХ ГОРАХ (МОСКВА)

Елена Михайловна Ляпишева, Дмитрий Алексеевич Чудаев

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, биологический факультет, кафедра микологии и альгологии

Автор, ответственный за переписку: Елена Михайловна Ляпишева, lena.kelpy@yandex.ru

Аннотация. Методом выделения на ткань изучен видовой состав и сезонная динамика относительного обилия диатомовых водорослей эпипелона пруда в альпинарии ботанического сада МГУ на Ленинских горах. Обнаружено 97 видов и морфотипов диатомовых водорослей из 3 классов, 9 порядков, 18 семейств и 31 рода. Самыми многочисленными по числу видов являются порядок Naviculales, семейство Pinnulariaceae, роды *Pinnularia* и *Sellaphora*. Три вида являются новыми для водоемов Москвы, причем два из них – новые для Московского региона в целом. По экологическим предпочтениям большая часть видов бентосные, почти все – космополиты, большинство видов приурочено к нейтральной или щелочной реакции воды. В состав доминирующего комплекса вошли виды: *Lemnicola hungarica*, *Sellaphora atomoides*, *Nitzschia palea*, *Sellaphora saugerresii* и *Planothidium straubianum*. В сезонном распределения доминирующих видов было выявлено заметное отличие апрельского комплекса диатомовых от остального периода наблюдений. На примере видового комплекса *Navicula cryptocephala* s. l. были выявлены фенологические различия между морфологически близкими видами.

Ключевые слова: диатомовые водоросли, эпипелон, сезонная динамика, пруды

DOI: 10.55959/MSU0027-1403-BB-2024-129-5-34-49

Благодарности. Исследование было проведено в центре коллективного пользования «Электронная микроскопия в науках о жизни» МГУ имени М.В. Ломоносова (УНУ «Трехмерная электронная микроскопия и спектроскопия»).

Финансирование. Работа выполнена в рамках научного проекта государственного задания МГУ № 121032300080-0.

Для цитирования: Ляпишева Е.М., Чудаев Д.А. Диатомовые водоросли эпипелона пруда в альпинарии ботанического сада МГУ на Ленинских горах (Москва) // Бюл. МОИП. Отд. биол. 2024. Т. 129. Вып. 5. С. 34–49.

ORIGINAL ARTICLE

EPIPELIC DIATOMS (BACILLARIOPHYTA) FROM ALPINARIUM POND IN MSU BOTANICAL GARDEN AT LENINSKIE GORY (MOSCOW)

Elena M. Liapisheva, Dmitry A. Chudaev

M.V. Lomonosov Moscow State University

Corresponding author: Elena M. Liapisheva, lena.kelpy@yandex.ru

Abstract. Species composition and seasonal dynamics of relative abundance of epipelic diatoms from alpinarium pond of MSU botanical garden at Leninskie Gory were studied using tissue method for cell isolation. 97 diatom species and morphotypes from 3 classes, 18 families and 31 genera were listed. Maximal numbers of species belong to the order Naviculales, family Pinnulariaceae and genera *Pinnularia* and *Sellaphora*. Three species are recorded for the first time in waterbodies of Moscow, two of them are new for the whole Moscow Region. According to the ecological preferences most species are benthic, cosmopolitan in distribution and prefer neutral or alkaline pH-values. The complex of dominant taxa includes *Lemnicola hungarica*, *Sellaphora atomoides*, *Nitzschia palea*, *Sellaphora saugerresii* and *Planothidium straubianum*. The structure of the complex of dominant species observed in April was markedly different from the other months of observation. Species complex of *Navicula cryptocephala* s.l. served as an example of phenological differences between morphologically closely similar taxa.

Keywords: diatoms, epipelon, seasonal dynamics, ponds

Acknowledgements. SEM studies were carried out at the Shared Research «Facility Electron microscopy in life sciences at Moscow State University» (Unique Equipment «Three-dimensional electron microscopy and spectroscopy»).

Financial Support. The research was carried out as part of the Scientific Project of the State Order of the Government of Russian Federation to Lomonosov Moscow State University No. 121032300080-0.

For citation: Liapisheva E.M., Chudaev D.A. Epipelic diatoms from alpinarium pond in MSU botanical garden at Leninskie Gory (Moscow) // Byul. MOIP. Otd. biol. 2024. T. 129. Vyp. 5. S. 34–49.

Эпипелон представляет собой совокупность микроорганизмов, живущих на мелкозернистых субстратах (Poulíčková et al., 2008). Одним из основных компонентов сообществ эпипелона являются диатомовые водоросли (Round, 1981). Несмотря на то, что диатомовые водоросли водоемов Москвы активно изучаются (Дексбах, 1925; Киреева, 1927; Дексбах, 1931; Успенская, 1979; Гололобова, 2000; Гололобова, Белякова, 2000; Белякова и др., 2002; Баринова, Анисимова, 2003; Белякова и др., 2004; Куликовский и др., 2020), к настоящему времени отсутствуют данные о видовом составе диатомей водоемов Ботанического сада МГУ на Ленинских Горах. Более того, имеющиеся в литературе данные по сезонной динамике сообществ диатомовых водорослей эпипелона стоячих пресных водоемов весьма немногочисленны (Round, 1953; Round, 1972; Špačková et al., 2009).

Пионерные работы, в которых содержатся сведения о сезонной динамике пресноводных эпипелитных диатомовых, принадлежат Ф.Е. Раунду (Round 1953, Round, 1972). В первой из публикаций был изучен эпипелон оз. Малхам Тарн в Йоркшире, автор отмечает два пика развития диатомей – весной и осенью, а также связь роста диатомовых с концентрацией кремнезема в воде (Round, 1953). Позднее были опубликованы результаты исследования сезонной динамики относительного обилия диатомовых водорослей

эпипелона прудов Ботанического сада Бирмингемского университета. Автор выделил несколько групп видов в зависимости от времени года, на которое приходится период их максимального развития. Для видов, представляющих собой сложные комплексы (*Navicula cryptocephala*, *Nitzschia palea* и др.) Ф.Е. Раунд предположил существование морфологически сходных форм с различными периодами развития (Round, 1972).

Сравнительно недавно была опубликована работа, посвященная исследованию эпипелона пруда Безедник в Чешской республике (Špačková et al., 2009). В ней была описана сезонная динамика относительного обилия водорослей с особым вниманием к диатомеям. Род *Sellaphora* был выбран для демонстрации сезонного распределения видов из видовых комплексов. Сравнивая свои результаты с результатами Ф.Е. Раунда (Round, 1972), авторы отмечают сходную закономерность в развитии ряда видов. В комплексе *Sellaphora pupula* авторы отмечают несколько морфотипов с различными сезонными проявлениями (Špačková et al., 2009).

Целью настоящей работы было изучение видового состава и сезонной динамики относительного обилия диатомовых водорослей в пруду альпинария Ботанического сада МГУ на Ленинских горах.

Материалы и методы

Пробы отбирали ежемесячно с апреля по ноябрь 2022 г. в одной и той же точке пруда в альпинарии ботанического сада. Географические координаты станции отбора проб – N 55.70730° E 37.52537°. Всего было отобрано и проанализировано 8 проб.

Отбор проб осуществляли по методике, описанной Ф.Е. Раундом (Round, 1953). С помощью стеклянной трубки (бюретки) отбирали 0,5 л суспензии поверхностного донного осадка. Параллельно определяли температуру, удельную электропроводность и pH воды с помощью кондуктометра «Mettler-Toledo FG3» и pH-метра «Mettler-Toledo FG2». Собранный материал транспортировали в пластиковых бутылях в лабораторию, отстаивали около получаса, затем сливали надосадочную жидкость. Осадок распределяли по чашкам Петри и накрывали двумя слоями марли. Далее с целью выделения живых подвижных клеток диатомовых проводили инкубацию на естественном рассеянном свету (северное окно). Через 8 ч верхний слой марли снимали и фиксировали в 70%-м спирте. Очистку панцирей диатомей от органики проводили нагреванием в концентрированной перекиси водорода в течение 1 ч с последующим добавлением 1–2 капель концентрированной соляной кислоты. После этого проводили отмывку створок дистиллированной водой с помощью четырехкратного центрифугирования в течение 10 мин при 2000 об/мин. Постоянные препараты для световой микроскопии приготовляли с использованием анилин-формальдегидной смолы (Эльяшев, 1957). Для исследования методом сканирующей электронной микроскопии стекла с высушенным материалом приклеивали к алюминиевым столикам с помощью лака для ногтей и покрывали слоем Au–Pd в ионном распылителе «Eiko IB-3». Постоянные препараты исследовали с помощью светового микроскопа «Leica DM500» и сканирующего электронного микроскопа «Jeol JSM-6380». Относительное обилие видов оценивали путем подсчета 300 створок в каждой пробе. За виды-доминанты были приняты виды, доля которых составляет 10 или больше процентов створок в препарате (Давыдова, 1985). Для определения соотношения численности морфотипов *Navicula cryptocephala* s.l. подсчитывали по 100 створок всех представителей видового комплекса. Исследованные микропрепараты депонированы в коллекцию диатомовых водорослей кафедры микологии и альгологии биологического факультета МГУ (MW-D).

Для расчета индекса видового разнообразия Шеннона (H) (Shannon, Weaver, 1949), коэффициента сходства видового разнообразия Сьёренсена–Чекановского (K's) (Боголюбов, 1998), построения графиков и диаграмм использовали программу Microsoft Excel. Кластерный анализ проведен в программе R (R Core Team, 2022), использованы метод полной связи и дистанция 1–K's.

Результаты

Динамика некоторых физико-химических параметров воды изученного водоема

Графики, иллюстрирующие изменение температуры, pH и удельной электропроводности воды в исследованном водоеме приведены на рис. 1.

Самая низкая температура воды в пруду за исследуемый период была зарегистрирована в апреле (2,7 °C). С мая, температура начинала резко расти, достигала пика в июле (21,8 °C) и с сентября снова начинала снижаться. Последнее измерение было проведено в ноябре (4,1 °C). В апреле реакция воды пруда в альпинарии была нейтральной (pH 7,00). Самые низкие показатели pH наблюдались в летние месяцы. Минимальное значение

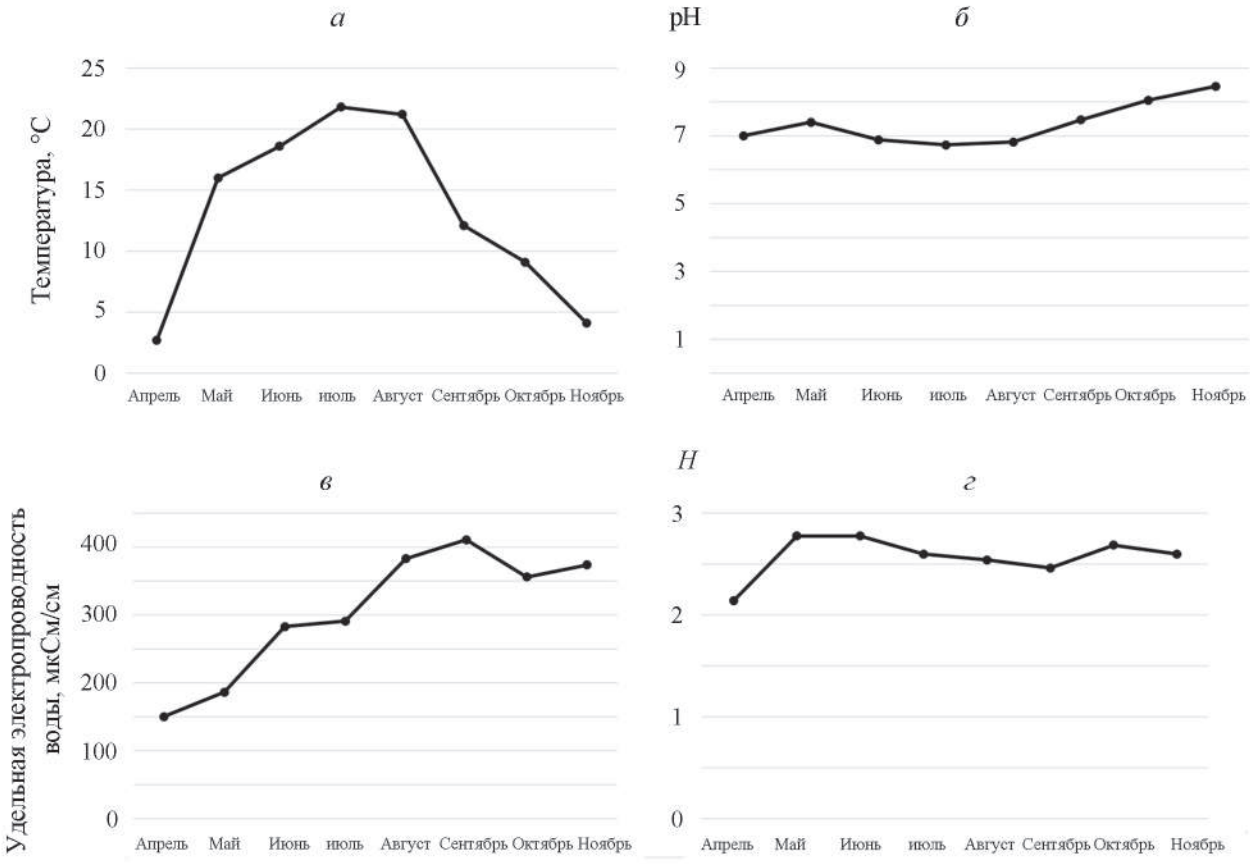


Рис. 1. Сезонная динамика физико-химических параметров и значений индекса Шеннона в исследованном водоеме. *а* – температура воды, *б* – pH, *в* – удельная электропроводность воды, *г* – индекс Шеннона

было зарегистрировано в июле (6,73). В осенние месяцы pH увеличивался. Максимум наблюдался в ноябре (8,46). Содержание электролитов в воде пруда в альпинарии было наиболее низким в апреле (150 мкСм/см) и достигало максимума в сентябре (411 мкСм/см).

Таксономический состав диатомовых водорослей

За все время исследования было обнаружено 97 видов и морфотипов диатомовых водорослей из 3 классов, 9 порядков, 18 семейств и 31 рода (по системе Cox, 2015). Для 24 таксонов не удалось определить видовую принадлежность. Список обнаруженных таксонов приведен в таблице. Подавляющее большинство обнаруженных таксонов – пеннатные диатомеи, к центрическим относится только *Stephanocyclus meneghinianus*.

Класс Mediophyceae включает 1 вид (*Stephanocyclus meneghinianus*), относящийся к порядку Stephanodiscales и семейству Stephanodiscaceae. Класс Fragilariophyceae в исследованном материале представлен 3 видами, принадлежащими порядку Licmophorales, семейству Ulnariaceae и роду *Ulnaria*. Класс Bacillariophyceae представлен 7 порядками. Наиболее многочисленным по числу видов является порядок Naviculales (46 видов и морфотипов). К порядку Cymbellales относятся 16 видов, Bacillariales – 13 видов, Cocconeidales – 6 видов, Rhopalodiales – 5 видов, к порядкам Eunotiales и Thalassiophysales – по 4 вида.

Наиболее многочисленное по числу видов семейство – Pinnulariaceae, представленное 15 видами. На втором месте – Bacillariaceae, насчитывающее 13 видов. К семейству Sellaphoraceae относятся 11 видов и морфотипов. Семейства Naviculaceae и Gomphonemataceae насчитывают по 10 видов, Stauroneidaceae – 9, Rhopalodiaceae – 5, Cymbellaceae, Achnanthidiaceae, Eunotiaceae, Catenulaceae – по 4, Cocconeidaceae – 2, Anomoeon eidaceae,Rhoicospheniaceae, Neidiaceae – по 1 виду.

Больше всего видов включает род *Pinnularia* (12 видов). На втором месте род *Sellaphora* (11 видов и морфотипов). Род *Nitzschia* насчитывает

Список выявленных таксонов с данными по их относительному обилию в разные месяцы

Название таксона	Фототаблица	Относительное обилие видов по месяцам							
		IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI
Achnanthidium minutissimum (Kützing) Czarnecki	1:15–16	ед.	6%	6%	2%	3%	3%	1%	3%
Amphora copulata (Kützing) Schoeman et R.E.M. Archibald	3:26	ед.	ед.	ед.	ед.	ед.	ед.	ед.	ед.
Amphora indistincta Levkov	3:24–25	–	ед.	ед.	–	–	–	ед.	ед.
Anomoeoneis sphaerophora Pfitzer	1:32	–	ед.	ед.	ед.	ед.	ед.	ед.	ед.
Caloneis lancettula (Schulz–Danzing) Lange–Bertalot et Witkowski	1:43–44	–	–	ед.	–	–	–	–	ед.
Caloneis silicula (Ehrenberg) Cleve	1:37	–	–	ед.	–	–	–	–	–
Caloneis ventricosa F.Meister	1:36	–	ед.	–	–	–	–	–	ед.
Cocconeis placentula Ehrenberg s.l. морфотип 1	1:9–10	ед.	4%	2%	1%	6%	3%	6%	ед.
Cocconeis placentula Ehrenberg s.l. морфотип 2	1:11–12	ед.	5%	3%	3%	8%	4%	5%	4%
Craticula buderi (Hustedt) Lange–Bertalot	3:4	–	–	–	–	–	–	–	ед.
Craticula cuspidata (Kützing) D.G.Mann	2:4	–	–	ед.	ед.	ед.	–	–	–
Craticula lange–bertalotii E.Reichardt	2:3	–	ед.	ед.	–	–	ед.	–	–
Cymbella cf. *affiniformis* Krammer	1:23	ед.	–	–	–	–	–	–	–
Cymbella cymbiformis C.Agardh	1:22	–	ед.	ед.	ед.	–	ед.	–	–
Cymbella proxima Reimer	1:21	ед.	ед.	ед.	ед.	ед.	ед.	ед.	ед.
Cymbopleura naviculiformis (Auerswald ex Heiberg) Krammer	1:24	–	–	–	–	–	ед.	–	–
Encyonema minutum (Hilse) D.G.Mann	1:25	–	ед.	–	ед.	–	–	–	ед.
Encyonema ventricosum (C.Agardh) Grunow	1:26	–	–	ед.	ед.	ед.	ед.	–	ед.
Epithemia adnata var. *adnata* (Kützing) Brébisson	3:44	ед.	ед.	1%	ед.	ед.	ед.	ед.	ед.
Epithemia adnata var. *porcellus* (Kützing) R.Ross	3:43	ед.	ед.	ед.	ед.	ед.	ед.	ед.	ед.
Epithemia sorex Kützing	3:45	–	ед.	ед.	ед.	ед.	ед.	–	ед.
Epithemia turgida (Ehrenberg) Kützing	3:46	ед.	ед.	ед.	ед.	ед.	ед.	1%	1%
Eunotia bilunaris (Ehrenberg) Schaarschmidt	1:6	ед.	5%	1%	ед.	ед.	1%	1%	ед.
Eunotia glacialifalsa Lange–Bertalot	1:7	–	–	–	–	–	ед.	–	–
Eunotia minor (Kützing) Grunow	1:8	ед.	1%	ед.	ед.	ед.	ед.	ед.	ед.
Eunotia sp.	1:5	ед.	ед.	ед.	ед.	–	ед.	ед.	ед.
Gomphonema acuminatum Ehrenberg	1:30	–	ед.	ед.	ед.	ед.	ед.	ед.	–
Gomphonema graciledictum E.Reichardt	1:31	–	–	–	–	–	ед.	ед.	ед.
Gomphonema parvulum (Kützing) Kützing	1:28	2%	4%	3%	3%	3%	3%	4%	2%
Gomphonema subclavatum (Grunow) Grunow	1:29	ед.	ед.	ед.	ед.	ед.	ед.	ед.	ед.
Gomphonema truncatum Ehrenberg	1:27	ед.	ед.	2%	ед.	ед.	ед.	1%	ед.
Gomphonema sp.	1:33–34	–	ед.	ед.	ед.	–	–	ед.	ед.
Gyrosigma acuminatum (Kützing) Rabenhorst	3:1	–	–	ед.	–	–	ед.	–	–

Продолжение таблицы

Название таксона	**Фототаблица**	**Относительное обилие видов по месяцам**							
		IV	**V**	**VI**	**VII**	**VIII**	**IX**	**X**	**XI**
Halamphora montana (Krasske) Levkov	3:28	ед.	–	–	–	–	–	–	–
Halamphora veneta (Kützing) Levkov	3:27	–	–	–	–	–	ед.	–	ед.
Hantzschia amphioxys (Ehrenberg) Grunow	3:29	–	–	–	ед.	–	ед.	–	–
Hippodonta capitata (Ehrenberg) Lange–Bertalot, Metzeltin et Witkowski	3:23	–	–	ед.	ед.	ед.	–	ед.	ед.
Lemnicola hungarica (Grunow) Round et Basson	1:13–14	10%	24%	17%	17%	23%	26%	27%	24%
Navicula cryptocephala Kützing s.l. морфотип 1	3:15–17	7%	2%	1%	ед.	5%	ед.	ед.	1%
Navicula cryptocephala Kützing s.l. морфотип 2	3:18–20	2%	ед.	ед.	ед.	3%	3%	1%	2%
Navicula cryptotenella Lange–Bertalot	3:10–11	1%	ед.	ед.	1%	ед.	ед.	2%	ед.
Navicula libonensis Schoeman	3:7	ед.	–	–	–	–	–	–	–
Navicula radiosa Kützing	3:5	ед.	ед.	1%	ед.	ед.	ед.	1%	ед.
Navicula trivialis Lange–Bertalot	3:6	–	ед.	ед.	ед.	–	ед.	–	ед.
Navicula veneta Kützing	3:8–9	ед.	–	–	–	–	–	–	–
Navicula sp.	3:21	–	ед.	ед.	–	–	–	–	ед.
Neidium affine (Ehrenberg) Pfitzer	1:46	–	–	–	ед.	ед.	–	–	–
Nitzschia palea (Kützing) W. Smith	3:30	40%	9%	7%	9%	7%	2%	6%	6%
Nitzschia tabellaria Grunow	3:41	–	ед.	ед.	ед.	ед.	–	–	–
Nitzschia sp. 1	3:33	ед.	1%	ед.	2%	ед.	1%	2%	1%
Nitzschia sp. 2	3:34	2%	ед.	–	1%	ед.	ед.	ед.	ед.
Nitzschia sp. 3	3:35	–	ед.	2%	ед.	ед.	ед.	1%	ед.
Nitzschia sp. 4	3:36	ед.	–	–	–	–	ед.	–	ед.
Nitzschia sp. 5	3:37	–	–	–	–	ед.	ед.	ед.	–
Nitzschia sp. 6	3:38	–	–	ед.	–	–	–	–	–
Nitzschia sp. 7	3:39	–	–	–	–	ед.	–	–	–
Nitzschia sp. 8	3:40	–	–	–	–	–	–	–	ед.
Pinnularia borealis Ehrenberg	1:39	–	–	–	–	–	–	ед.	–
Pinnularia subcapitata var. *elongata* Krammer	1:38	–	ед.	–	–	–	–	–	–
Pinnularia gentilis (Donkin) Cleve	2:1	–	–	–	ед.	–	–	–	–
Pinnularia gibba Ehrenberg	2:25	ед.	–	–	–	–	–	–	–
Pinnularia grunowii Krammer	1:45	–	–	ед.	–	–	–	ед.	ед.
Pinnularia isselana Krammer	2:11	–	ед.	–	ед.	–	–	–	–
Pinnularia marchica I.Schönfelder	1:40	ед.	–	ед.	–	ед.	ед.	ед.	ед.
Pinnularia sinistra Krammer	1:41	–	–	–	ед.	–	–	–	–
Pinnularia undula (Schumann) Krammer	2:2	–	ед.	ед.	ед.	ед.	ед.	–	ед.
Pinnularia viridiformis Krammer	2:27	–	ед.	–	–	–	–	–	–
Pinnularia sp. 1	2:24	–	–	ед.	–	–	–	–	–

Окончание таблицы

Название таксона	**Фототаблица**	**Относительное обилие видов по месяцам**							
		IV	**V**	**VI**	**VII**	**VIII**	**IX**	**X**	**XI**
Pinnularia sp. 2	2:26	–	–	–	ед.	–	–	–	–
Placoneis cf. *elginensis* (W.Gregory) E.J.Cox	1:35	–	–	–	–	–	ед.	–	–
Planothidium straubianum C.E.Wetzel, Van de Vijver et L.Ector	1:19–20	5%	7%	11%	8%	10%	10%	10%	10%
Platessa conspicua (Ant. Mayer) Lange–Bertalot	1:17–18	–	ед.	–	–	–	–	ед.	–
Rhoicosphenia abbreviata (C.Agardh) Lange–Bertalot	1:42	–	ед.	ед.	–	–	–	–	–
Rhopalodia gibba (Ehrenberg) O.Müller	3:42	–	–	ед.	ед.	–	–	ед.	ед.
Sellaphora atomoides (Grunow) C.E. Wetzel et Van de Vijver	2:9–10	10%	12%	18%	18%	17%	18%	13%	20%
Sellaphora disjuncta (Hustedt) D.G.Mann	2:16	1%	–	1%	ед.	2%	1%	ед.	2%
Sellaphora labernardierei Beauger, C.E. Wetzel et Ector	2:19–21	9%	4%	6%	7%	2%	7%	4%	7%
Sellaphora laevissima (Kützing) D.G. Mann	2:13	ед.	ед.	1%	–	ед.	ед.	ед.	ед.
Sellaphora pupula (Kützing) Mereschkovsky s.l. морфотип 1	2:14	ед.	ед.	ед.	ед.	ед.	ед.	ед.	ед.
Sellaphora pupula (Kützing) Mereschkovsky s.l. морфотип 2	2:15	ед.	ед.	ед.	ед.	–	–	ед.	ед.
Sellaphora pupula (Kützing) Mereschkovsky s.l. морфотип 3	2:18	–	ед.	–	–	–	–	ед.	ед.
Sellaphora pupula (Kützing) Mereschkovsky s.l. морфотип 4	2:12	–	–	–	–	–	ед.	–	–
Sellaphora pupula (Kützing) Mereschkovsky s.l. морфотип 5	2:17	–	–	ед.	–	–	–	–	–
Sellaphora saugerresii (Desmazières) C.E.Wetzel et D.G.Mann	2:6–8	3%	3%	4%	13%	4%	7%	5%	4%
Sellaphora sp.	2:22–23	1%	2%	ед.	ед.	ед.	ед.	ед.	2%
Stauroneis amphicephala Kützing	3:3	ед.	ед.	ед.	–	ед.	ед.	–	–
Stauroneis gracilis Ehrenberg	3:2	ед.	ед.	ед.	ед.	ед.	ед.	ед.	ед.
Stauroneis kriegeri R.M.Patrick	3:22	ед.	ед.	ед.	ед.	–	ед.	–	ед.
Stauroneis phoenicenteron (Nitzsch) Ehrenberg	2:5	ед.	ед.	ед.	ед.	–	ед.	ед.	ед.
Stauroneis thermicola Lange–Bertalot	3:12–13	–	–	–	–	ед.	–	–	–
Stauroneis smithii Grunow	3:14	–	–	–	–	–	ед.	–	–
Stephanocyclus meneghinianus (Kützing) Kulikovskiy, Genkal et Kociolek	1:4	1%	2%	ед.	1%	1%	2%	1%	ед.
Tryblionella salinarum (Grunow) Pantocsek	3:31	–	–	–	–	–	ед.	–	ед.
Tryblionella sp.	3:32	–	–	–	–	ед.	–	–	–
Ulnaria acus (Kützing) Aboal	1:3	ед.	ед.	ед.	2%	ед.	ед.	2%	ед.
Ulnaria biceps (Kützing) Compère	1:1	ед.	ед.	2%	–	ед.	–	ед.	ед.
Ulnaria ulna (Nitzsch) Compère	1:2	–	–	–	ед.	–	–	ед.	–

10 видов, *Navicula* – 8 видов, *Gomphonema* – 7, *Stauroneis* – 6, *Epithemia*, *Eunotia* – по 4 вида, *Ulnaria*, *Cymbella*, *Caloneis* и *Craticula* – по 3 вида, *Encyonema*, *Cocconeis*, *Amphora*, *Halamphora, Tryblionella* – по 2 вида, остальные – по 1 виду.

В исследованном материале видовой комплекс *Cocconeis placentula* s.l. оказался представлен двумя морфотипами. В комплекс *Sellaphora pupula* s.l. входят 5 морфотипов. Видовой комплекс *Navicula cryptocephala* s.l. включает 2 морфотипа.

Три вида, обнаруженные в пруду ботанического сада (*Pinnularia isselana*, *Planothidium straubianum* и *Sellaphora labernardierei*), являются новыми для водоемов Москвы, последние два таксона – новые для Московского региона в целом.

Экологические предпочтения выявленных видов диатомовых водорослей

Данные об экологических предпочтениях видов были взяты из публикации С.С. Бариновой с соавт. (2006). Бентосными являются 43 вида, планктонно-бентосными – 9, к планктонным относится только *Ulnaria acus*, для 45 видов нет данных о принадлежности к какой-либо экологической группе. Почти все обнаруженные виды являются космополитами, только 2 вида (*Neidium affine* и *Pinnularia gibba*) – бореальные. Большинство видов – алкалифилы, алкалибионты или индифферентны, 2 обнаруженных вида (*Pinnularia subcapitata* var. *elongata* и *Eunotia bilunaris*) – ацидофилы.

Сезонная динамика видового состава и относительного обилия видов

Число видов, выявленных в разные месяцы наблюдений, было сопоставимым. Меньше всего видов было обнаружено в апреле (43 вида), больше всего – в июне (61). Сезонная динамика относительного обилия видов-доминантов представлена на графике (рис. 2). На протяжении всего периода исследования, за исключением апреля, основным доминирующим видом являлась *Lemnicola hungarica*. Реже всего *L. hungarica* встречалась в апреле (10%), в мае встречаемость этого вида возрастала, в июне и июле снова немного снижалась, с августа снова начинала возрастать, пик развития приходился на октябрь (27%). В апреле наблюдалось значительное преобладание *Nitzschia palea* (40%). В последующие месяцы встречаемость этого вида резко снижалась. Другим доминирующим видом являлась *Sellaphora atomoides*. Реже всего этот вид встречался в апреле (10%). В остальные месяцы его встречаемость росла и в ноябре достигала максимума (20%). В июне, сентябре и ноябре в число видов-доминантов попал *Planothidium straubianum* (10–11%). В июле наблюдался рост численности *Sellaphora saugerresii* (13%).

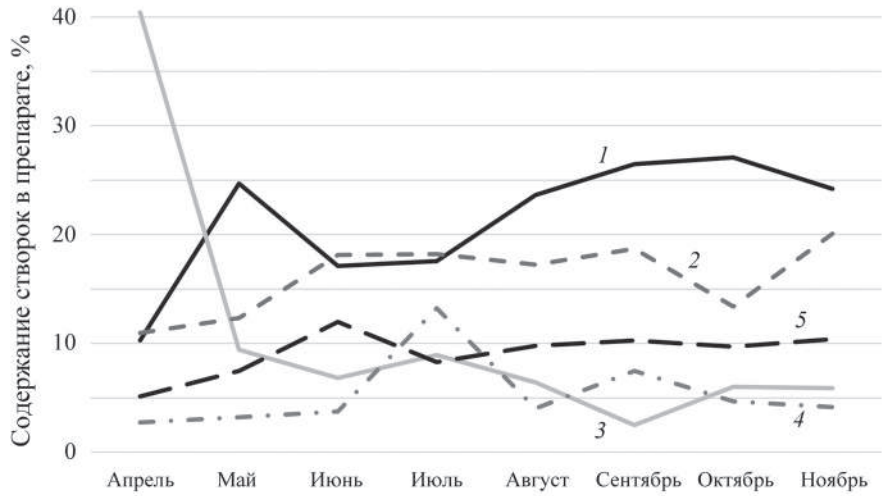


Рис. 2. Сезонная динамика относительного обилия видов-доминантов в эпипелоне исследованного водоема: *1 – Lemnicola hungarica*, *2 – Sellaphora atomoides*, *3 – Nitzschia palea*, *4 – Sellaphora saugerresii*, *5 – Planothidium straubianum*

Для оценки видового разнообразия на протяжении всего периода наблюдений был подсчитан индекс Шеннона (*H*). В различные месяцы значения индекса Шеннона колебались в диапазоне 2,14–2,78. Динамика значений индекса Шеннона приведена на рис. 1, *г*. Самым высоким видовое разнообразие было в мае, июне и октябре, самым низким – в апреле.

Для оценки сходства видового разнообразия в разные месяцы был рассчитан коэффициент Сьёренсена–Чекановского (K's). Наибольшее сходство по коэффициенту Сьёренсена–Чекановского было замечено между маем и октябрем (K's = 0,95), июнем и июлем (K's = 0,91), августом и ноябрем (K's = 0,91), сентябрем и ноябрем (K's = 0,90). Сильнее всего от остальных месяцев отличался апрель (K's = 0,57–0,79). На основании значений коэффициента Сьёренсена–Чекановского был проведен кластерный анализ и построена дендрограмма (рис. 3). Из рисунка хорошо видно, что апрельский комплекс эпипелитных диатомовых отличался от остальных месяцев, формирующих единый кластер.

Динамика численности видов из группы ***Navicula cryptocephala*** **s.l.**

На примере видового комплекса *Navicula cryptocephala* s.l. было проведено исследование различий в фенологии морфологически схожих видов. В исследованном пруду были обнаружены два морфотипа из этого видового комплекса. Морфотип 1 (фототаблица 3: 15–17) характеризуется более широкими створками (5,2–6,3 мкм), более крупным средним полем, центральными порами шва, отогнутыми на вторичную сторону створки (рис. 4, *а*); морфотип 2 характеризуется более узкими створками (4,9–5,5 мкм), несколько меньшим средним полем, центральными порами шва, отогнутыми на первичную сторону створки (фототаблица 3: 18–20; рис. 4, *б*).

Оба морфотипа встречались во все месяцы наблюдений и имели ярко выраженные различия в сезонном распределении. В апреле наблюдалось значительное преобладание морфотипа 1 (81% всех створок этого видового комплекса в препарате). В остальные месяцы преобладал морфотип 2 (67–81%). Соотношение численности морфотипов *Navicula cryptocephala* s.l. демонстрирует график (рис. 5).

Обсуждение результатов

Число видов, выявленных в исследованном водоеме (97), несколько меньше, но сопоставимо с числом видов, отмеченных в других московских прудах, по которым есть литературные данные (Большой и Малый Кусковские пруды – 114 и 93 вида соответственно, Кузьминский пруд – 122 вида, Люблинский пруд – 156 видов (Гололобова, 2000)). Отличие пруда ботанического

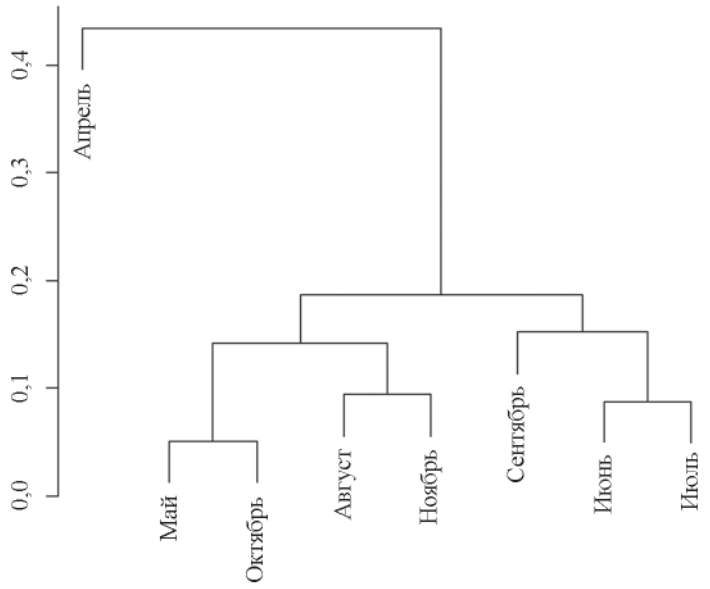


Рис. 3. Кластерный анализ сходства комплексов эпипелитных диатомовых исследованного водоема в разные месяцы на основании матрицы коэффициентов Сьёренсена–Чекановского (метод полной связи, дистанция 1–K' s)

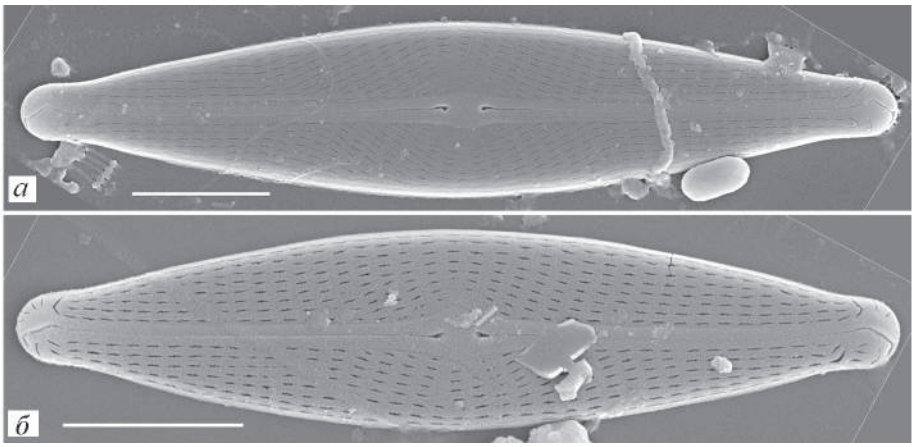


Рис. 4. Электронные микрофотографии выявленных морфотипов *Navicula cryptocephala* s.l: *а* – морфотип 1, *б* – морфотип 2 (масштаб: 5 мкм)

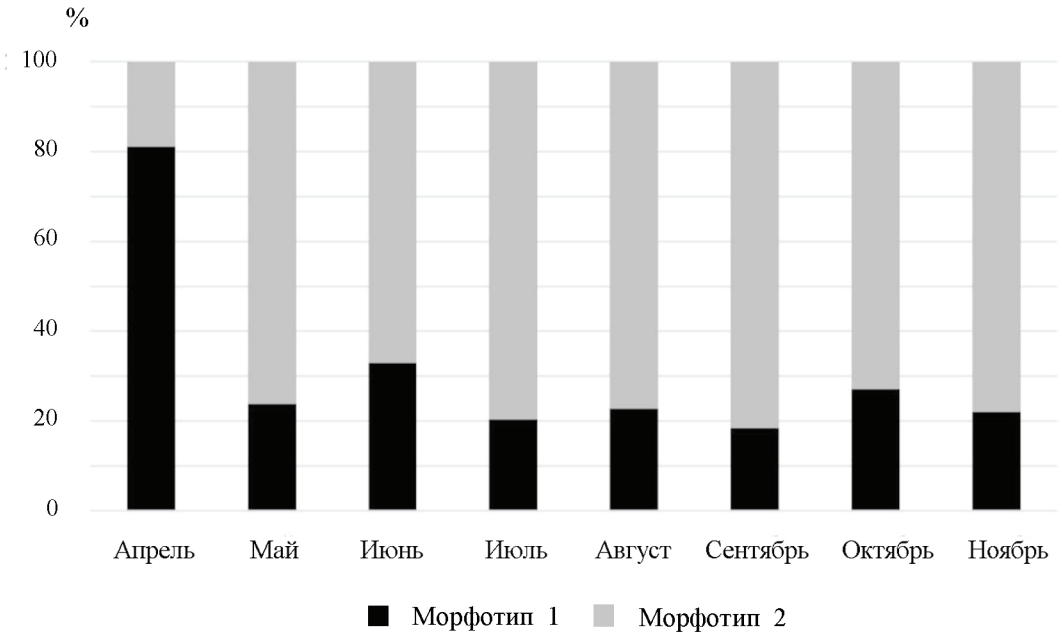


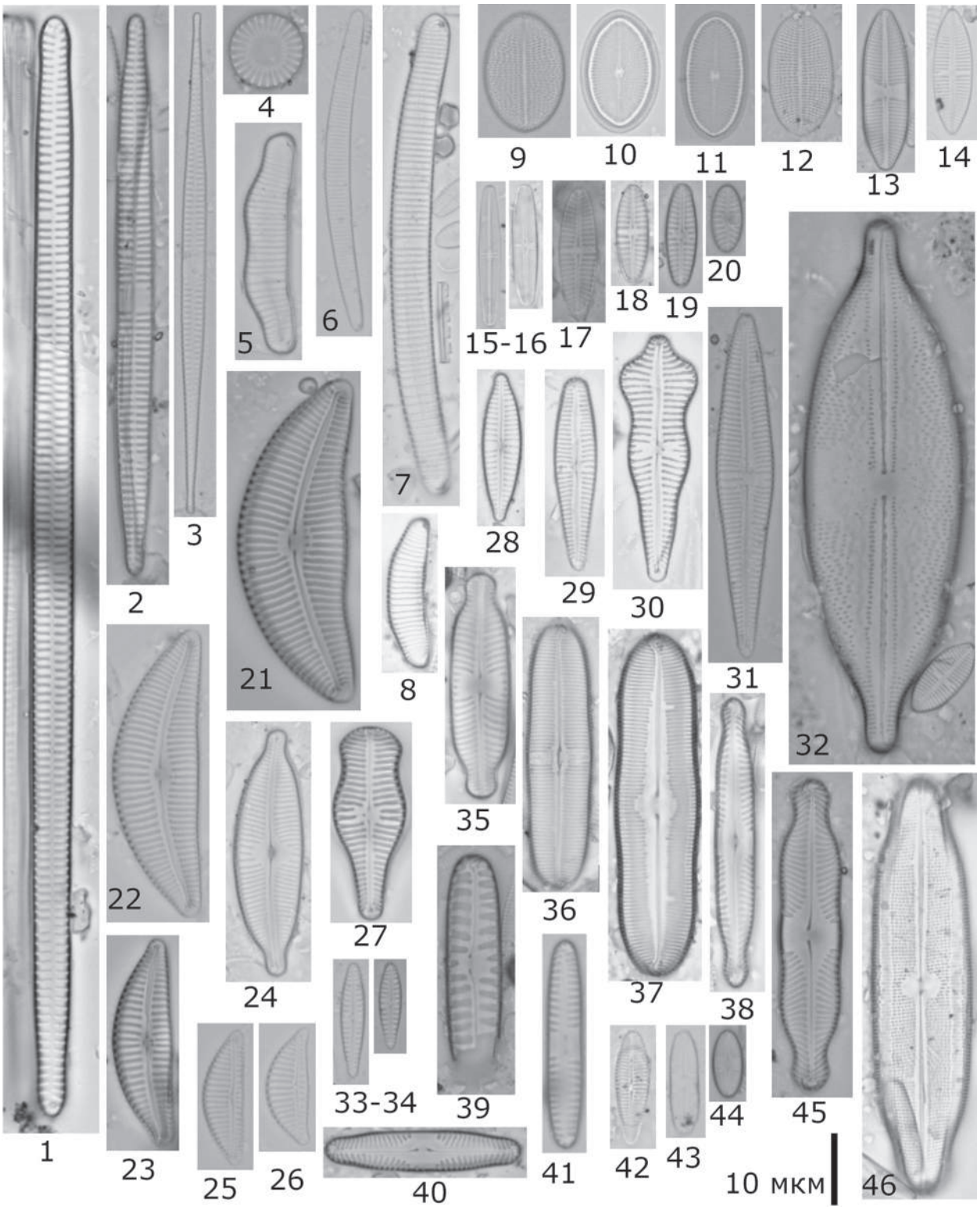
Рис. 5. Соотношение численности морфотипов *Navicula cryptocephala* s.l. в исследованном водоеме в разные месяцы

сада по числу выявленных видов в меньшую сторону может объясняться, во-первых, тем, что в настоящей работе изучался только комплекс эпипелона, а не все типы местообитаний, и, во-вторых, небольшим размером изученного водоема.

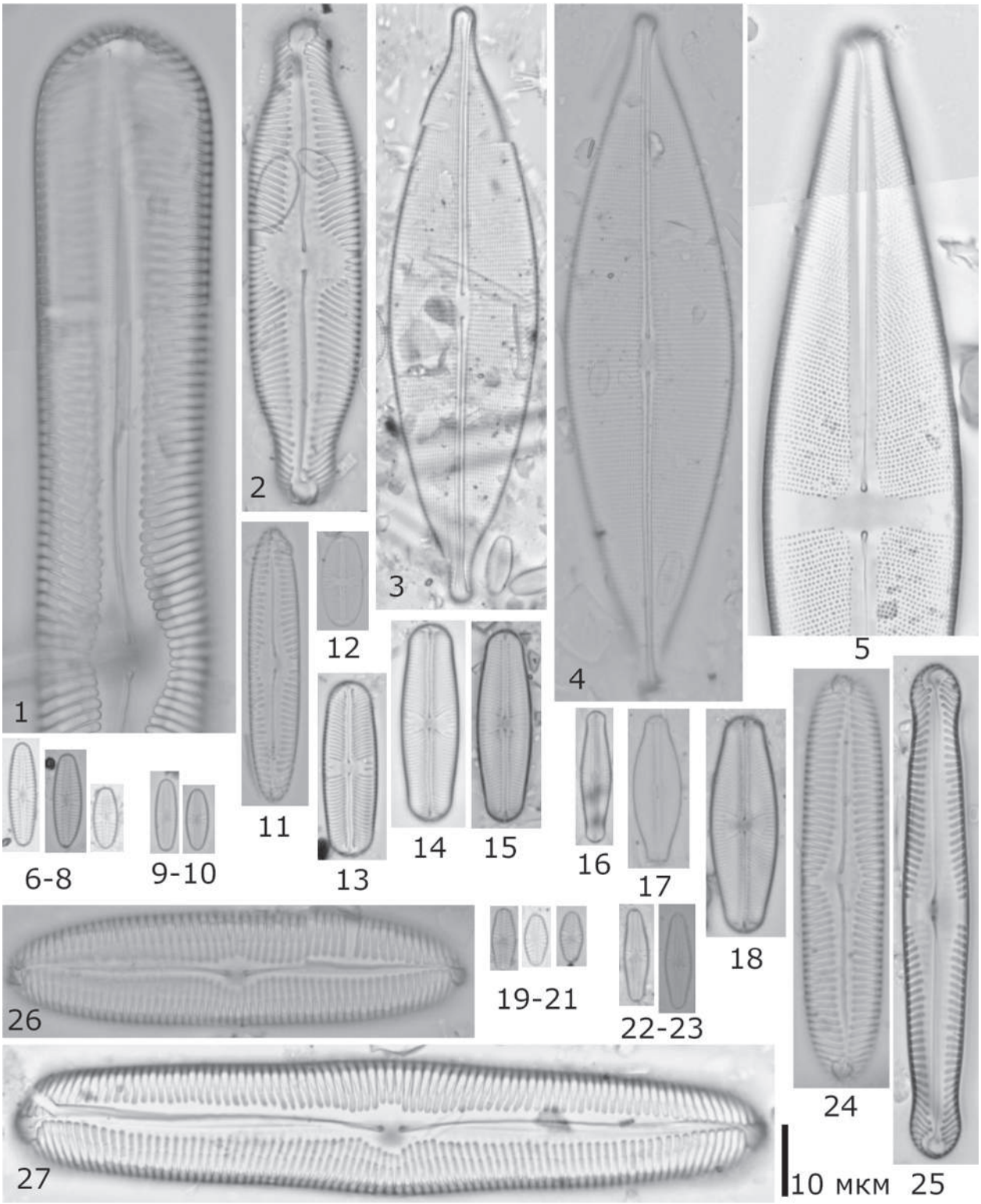
Лидирующим по числу видов порядком является Naviculales. Диатомеи, принадлежащие этому порядку, характеризуются наличием двух швов и створками, симметричными относительно продольной и поперечной оси. Такая форма клеток позволяет водорослям двигаться по субстрату в разных направлениях, что можно рассматривать как приспособление к обитанию в поверхностном слое донного осадка. Преобладание навикулоидных диатомовых, вероятно, может быть связано с методом выделения клеток. В процессе инкубации с двумя слоями марли подвижные клетки поднимаются вверх к свету и остаются на верхнем слое.

Преобладание бентосных видов связано с тем, что объектом изучения был комплекс эпипелона. По приуроченности к pH большинство видов – алкалифилы, алкалибионты иди индифференты. Очевидно, это обусловлено циркумнейтральными и слабощелочными условиями водоема.

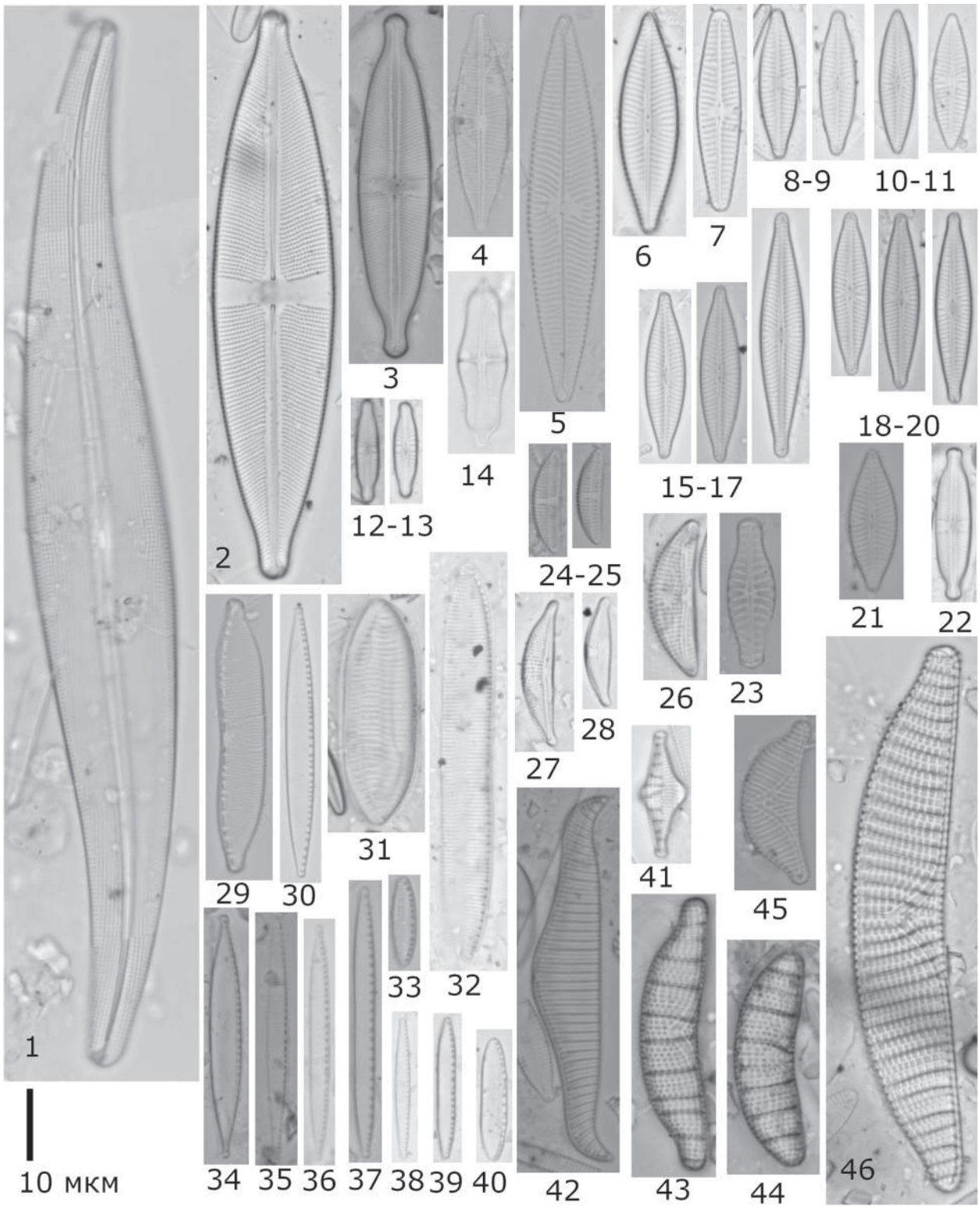
В сезонной динамике диатомовых водорослей в пруду в альпинарии наблюдается явное



Фототаблица. 1. 1 – *Ulnaria biceps*; 2 – *U. ulna*; 3 – *U. acus*; 4 – *Stephanocyclus meneghinianus*; 5 – *Eunotia* sp.; 6 – *E. bilunaris*; 7 – *E. glacialifalsa*; 8 – *E. minor*; 9–10 – *Cocconeis placentula* s.l. морфотип 1; 11–12 – *C. placentula* s.l. морфотип 2; 13–14 – *Lemnicola hungarica*; 15–16 – *Achnanthidium minutissimum*; 17–18 – *Platessa conspicua*; 19–20 – *Planothidium straubianum*; 21 – *Cymbella proxima*; 22 – *C. cymbiformis*; 23 – *C.* cf. *affiniformis*; 24 – *Cymbopleura naviculiformis*; 25 – *Encyonema minutum*; 26 – *E. ventricosum*; 27 – *Gomphonema truncatum*; 28 – *G. parvulum*; 29 – *G. subclavatum*; 30 – *G. acuminatum*; 31 – *G. graciledictum*; 32 – *Anomoeoneis sphaerophora*; 33–34 – *Gomphonema* sp.; 35 – *Placoneis* cf. *elginensis*; 36 – *Caloneis ventricosa*; 37 – *C. silicula*; 38 –*Pinnularia subcapitata* var. *elongata*; 39 – *P. borealis*; 40 – *P. marchica*; 41 – *P. sinistra*; 42 – *Rhoicosphenia abbreviata*; 43–44 – *Caloneis lanceolata*; 45 – *Pinnularia grunowii*; 46 – *Neidium affine*. Масштаб: 10 мкм



Фототаблица 2. 1 – *Pinnularia gentilis*; 2 – *P. undula*; 3 – *Craticula lange-bertalotii*; 4 – *C. cuspidata*; 5 – *Stauroneis phoenicenteron*; 6–8 – *Sellaphora saugerresii*; 9–10 – *S. atomoides*; 11 – *Pinnularia isselana*; 12 – *Sellaphora pupula* s.l. морфотип 4; 13 – *S. laevissima* s.l.; 14 – *S. pupula* s.l. морфотип 1; 15 – *S. pupula* s.l. морфотип 2; 16 – *S. disjuncta*; 17 – *S. pupula* s.l. морфотип 5; 18 – *S. pupula* s.l. морфотип 3; 19–21 – *S. labernardierei*; 22–23 – *Sellaphora* sp.; 24 – *Pinnularia* sp.1; 25 – *P. gibba*; 26 – *Pinnularia* sp.2; 27 – *P. viridiformis*. Масштаб: 10 мкм



Фототаблица. 3. 1 – *Gyrosigma acuminatum*; 2 – *Stauroneis gracilis*; 3 – *S. amphicephala*; 4 – *Craticula buderi*; 5 – *Navicula radiosa*; 6 – *N. trivialis*; 7 – *N. libonensis*; 8–9 – *N. veneta*; 10–11 – *N. cryptotenella*; 12–13 – *Stauroneis thermicola*; 14 – *S. smithii*; 15–17 – *Navicula cryptocephala* s.l. морфотип 1; 18–20 – *N. cryptocephala* s.l. морфотип 2; 21 – *Navicula* sp.; 22 – *Stauroneis kriegeri*; 23 – *Hippodonta capitata*; 24–25 – *Amphora indictincta*; 26 – *A. copulata*; 27 – *Halamphora veneta*; 28 – *H. montana*; 29 – *Hantschia amphioxis*; 30 – *Nitschia palea*; 31 – *Tryblionella salinarum*; 32 – *Tryblionella* sp.; 33 – *Nitschia* sp.1; 34 – *Nitschia* sp.2; 35 – *Nitschia* sp.3; 36 – *Nitschia* sp.4; 37 – *Nitschia* sp.5; 38 – *Nitschia* sp.6; 39 – *Nitschia* sp.7; 40 – *Nitschia* sp.8; 41 – *N. tabellaria*; 42 – *Rhopalodia gibba*; 43 – *Epithemia adnata* var. *porcellus*; 44 – *E. adnata* var. *adnata*; 45 – *E. sorex*; 46 – *E. turgida*. Масштаб: 10 мкм

отличие апреля от остальных месяцев как по относительному обилию видов-доминантов, так и по соотношению численности морфотипов *Navicula cryptocephala* s.l.

Изучением сезонной динамики диатомовых сообществ эпипелона стоячих водоемов ранее занимался Ф.Е. Раунд (Round, 1972). Автор разделил доминирующие виды на группы в зависимости от периода, на который приходится максимум их развития. Сезонную смену комплексов видов-доминантов Ф.Е. Раунд (Round, 1972) объяснял разной степенью приспособленности к температуре и освещенности.

В нашем исследовании сезонные различия в развитии видов могут быть связаны с рядом факторов: низким содержанием электролитов в воде, температурным минимумом и относительно короткой длительностью светового дня в апреле. Согласно литературным данным, вид *Lemnicola hungarica*, относительная численность которого в апреле была минимальна, а в остальные месяцы заметно увеличивалась, характерен для водоемов со средним или высоким содержанием электролитов (Lange-Bertalot et al., 2017). Еще одной причиной фенологических различий может быть обильное развитие водных растений. Начиная с мая, исследуемый пруд интенсивно зарастал ряской (*Lemna trisulca*) и другими водными макрофитами, а *Lemnicola hungarica* обычно развивается в ассоциации с мелкими плавающими растениями, такими как *Lemna* (Lange-Bertalot et al., 2017).

В динамике значений индекса видового разнообразия (индекса Шеннона) мы наблюдаем отклонение апреля от всех других месяцев. Низкий уровень видового разнообразия в апреле объясняется наличием всего одного явно доминирующего вида (*Nitzschia palea*).

Согласно литературным данным, *Navicula cryptocephala* s.l. является комплексом криптических и псевдокриптических видов (Poulíčková et al., 2010; Poulíčková et al., 2016). В нашем исследовании были выявлены фенологические различия между двумя морфотипами (скорее всего, представляющими собой два псевдокриптических вида) этого комплекса. Исследование фенологии близких, морфологически трудноразличимых видов ранее проводили на примере видового комплекса *Sellaphora pupula* s.l. в пруду Безедник (Чехия) (Špačková et al., 2009). Различие в фенологии двух различных морфотипов авторы объясняли корреляцией с температурой воды. Встречаемость одного из морфотипов совпадала с температурным максимумом. В нашем случае период преобладания *N. cryptocephala* s.l. морфотип 1 совпадал с температурным минимумом в апреле. Однако в осенние месяцы, когда температура воды снова понизилась, доминирования этого морфотипа не наблюдалось. Видимо, в данном случае основную роль играли какие-то другие факторы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ
REFERENCES

Баринова С.С., Анисимова О.В. Альгофлора водных объектов в бассейне р. Городня (Москва, Россия) // Бюл. МОИП. Отд. биол. 2003. Т. 108. Вып. 6. С. 55–63 [Barinova S.S., Anisimova O.V. Algoflora of Water Bodies of River Gorodnja Basin (Moscow, Russia) // Byul. MOIP. Otd. biol. 2003. T. 108 Vyp. 6. S. 55–63 (in Russ.)].

Баринова С.С., Медведева Л.А., Анисимова О.В. Биоразнообразие водорослей-индикаторов окружающей среды. Тель Авив, 2006. 498 с. [Barinova S.S., Medvedeva L.A., Anisimova O.V. Bioraznoobrazie vodoroslei-indikatorov okruzhayushchei sredy. Tel' Aviv, 2006. 498 s. (in Russ.)].

Белякова Г.А., Гололобова М.А., Романова О.Л., Тумбинская Л.В. Род Navicula s.l. (Bacillariophyta) в водоемах г. Москвы // Бюл. МОИП. Отд. биол. 2002. Т. 107. Вып. 3. С. 80–83 [Belyakova G.A., Gololobova M.A., Romanova O.L., Tumbinskaya L.V. Genus Navicula s.l. (Bacillariophyta) of water bodies of Moscow // Byul. MOIP. Otd. biol. 2002. T. 107. Vyp. 3. S.80–83 (in Russ.)].

Белякова Г.А., Гололобова М.А., Романова О.Л., Тумбинская Л.В. Представители двушовных диатомовых водорослей (Diatomeae), исключая род Navicula s.l., в водоемах г. Москвы // Бюл. МОИП. Отд. биол. 2004. Т. 109. Вып. 5. С. 55–59. [Belyakova G.A., Gololobova M.A., Romanova O.L., Tumbinskaya L.V. On diraphid diatoms (Diatomeae) excluding genus Navicula s.l. in water bodies of Moscow // Byul. MOIP. Otd. biol. 2004. T. 109 Vyp. 5 S. 55–59 (in Russ.)].

Боголюбов А.С. Методы статистической обработки результатов экологических исследований. М., 1998. 8 с. [Bogolyubov A.S. Metody statisticheskoi obrabotki rezul'tatov ekologicheskikh issledovanii. M., 1998. 8 s. (in Russ.)].

Гололобова М.А. Диатомовые водоросли водоемов восточной части г. Москвы // Дис. … канд. биол. наук. М., 2000. 254 с. [Gololobova M.A. Diatomovye vodorosli vodoemov vostochnoi chasti g. Moskvy // Dis. … kand. biol. nayk. M., 2000. 254 s. (in Russ.)].

Гололобова М.А., Белякова Г.А. Некоторые уродливые формы диатомовых водорослей Косинских озер (Москва) // Бот. журн. 2000. Т.85. № 10. С. 39–42 [Gololobova M.A., Belyakova G.A. Some teratological forms of Bacillariophyta from Kosino lakes (Moscow) // Bot. zhurn. 2000. T. 85 № 10 S. 39–42 (in Russ.)].

Давыдова Н.Н. Диатомовые водоросли-индикаторы природных условий водоемов в голоцене. Л., 1985. 244 с. [Davydova N.N. Diatomovye vodorosli-indikatory prirodnykh uslovii vodoemov v golotsene. L., 1985. 244 s. (in Russ.)].

Дексбах Н.К. Дно Косинских озер, как среда и его обитатели // Тр. Косинской биол. станции Моск. о-ва испытателей природы. 1925. Вып. 4. С. 21–34 [Deksbakh N.K. Dno Kosinskikh, kak sreda i ego obitateli // Tr. Kosinskoi biol. stantsii Mosk. o-va ispytatelei prirody. 1925. Vyp. 4. S. 21–34. (in Russ.)].

Дексбах Н.К. Пруды окрестностей Косина // Тр. Лимнол. Станции в Косине. 1931. Вып. 12. С. 7–12. [Deksbakh N.K. Prudy okrestnostei Kosina // Tr. Limnol. Stantsii v Kosine. 1931. Vyp. 12. S. 7–12. (in Russ.)].

Киреева М.С. Эпифитные диатомовые Косинских озёр // Тр. Косинской биол. станции Моск. о-ва исп. природы. 1927. Вып. 6. С. 15–26 [Kireeva M.S. Epifitnye diatomovye Kosinskikh ozer // Tr. Kosinskoi biol. stantsii Mosk. o-va isp. prirody. 1927. Vyp. 6. S. 15–26 (in Russ.)].

Куликовский М.С., Глушенко А.М., Мартыненко Н.А., Кузнецова И.В., Капустин Д.А., Мальцев Е.И. Водоросли водоёмов Москвы. Ярославль, 2020. 197 с. [Kulikovskiy M.S., Glushchenko A.M., Martynenko N.A., Kuznetsova I.V., Kapustin D.A., Maltsev Ye.I. The algae of Moscow waterbodies. Yaroslavl, 2020. 197 p. (in Russ.)].

Успенская О.Н. Изучение истории озер методом комплексного биологического анализа // Дис. ... канд. биол. наук. М., 1979. 114 с. [Uspenskaya O.N. Izuchenie istorii ozer metodom kompleksnogo biologicheskogo analiza // Dis. ... kand. biol. nauk. M., 1979. 114 s. (in Russ.)].

Эльяшев А.А. О простом способе приготовления высокопреломляющей среды для диатомового анализа // Тр. НИИ геологии Арктики. 1957. № 4. С. 74–76 [El'yashev A.A. O prostom sposobe prigotovleniya vysokoprelomlyayushchei sredy dlya diatomovogo analiza // Tr. NII geologii Arktiki. 1957. № 4. S. 74–76 (in Russ.)].

Cox E.J. Coscinodiscophyceae, Mediophyceae, Fragilariophyceae, Bacillariophyceae (Diatoms). In: Frey W. (ed.) Syllabus of Plant Families. Adolf Engler's Syllabus der Pflanzenfamilien, 13th ed. Part 2/1: Photoautotrophic Eucaryotic Algae. Stuttgart: Borntraeger Verlagsbuchhandlung, 2015. P. 64–103.

Lange-Bertalot H., Hofmann G., Werum M., Cantonati M. Freshwater Benthic Diatoms of Central Europe: Over 800 Common Species Used in Ecological Assessment. Schmitten-Oberreifenberg: Koeltz Botanical Books, 2017. 942 p.

Poulíčková A., Hašler P., Lysakova M., Spears B. The ecology of freshwater epipelic algae: an update // Phycologia. 2008. Vol. 47. P. 437–450.

Poulíčková A., Vesela J., Neustupa J., Skaloud P. Pseudocryptic diversity versus cosmopolitanism in diatoms: a case study on Navicula cryptocephala Kütz. (Bacillariophyceae) and morphologically similar taxa // Protist. 2010. Vol. 161. P. 353–369.

Poulíčková A., Neustupa J., Hašler P., Tomanec O., Cox E.J. A new species, Navicula lothargeitleri sp. nov., within the Navicula cryptocephala complex (Bacillariophyceae) // Phytotaxa. 2016. Vol. 273. N 1. P. 023–033.

R Core Team. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. 2022. URL https://www.R-project.org/.

Round F.E. An investigation of two benthic algal communities in Malham Tarn, Yorkshire // J. Ecol. 1953. Vol. 41. P. 174–179.

Round F.E. Patterns of seasonal succession of freshwater epipelic algae. // Br. phycol. J. 1972. Vol. 7. P. 213–220.

Round F.E. The ecology of algae. Cambridge: Cambridge University Press, 1981. 653 p.

Shannon C.E., Weaver W. The mathematical theory of communication. Urbana: Univ. Illinois Press, 1949. 117 p.

Špačková J., Hašler P., Štěpánková J., Poulíčková A. Seasonal succession of epipelic algae: a case study on a mesotrophic pond in a temperate climate // Fottea. 2009. Vol. 9. N 1. P. 121–133.

Информация об авторах

Елена Михайловна Ляпишева – магистрант кафедры микологии и альгологии биологического факультета Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова (lena.kelpy@yandex.ru);

Дмитрий Алексеевич Чудаев – науч. сотр. кафедры микологии и альгологии биологического факультета Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова, канд. биол. наук (chudaev@list.ru).

Information about the authors

Elena Mikhailovna Liapisheva – magister student of the Department of Mycology and

Algology, Faculty of Biology, M.V. Lomonosov Moscow State University (lena.kelpy@yandex.ru);

Dmitry Alekseevich Chudaev – Researcher, Department of Mycology and Algology, Faculty of Biology, M.V. Lomonosov Moscow State University, Candidate of Science (chudaev@list.ru).

Вклад авторов

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Contribution of the authors

The authors contributed equally to this article.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interests

The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 29.01.2024; одобрена после рецензирования 21.06.2024; принята к публикации 29.08.2024.

The article was submitted 29.01.2024; approved after reviewing 21.06.2024; accepted for publication 29.08.2024.