

ДИАТОМОВЫЕ ПОЧВ И ПИРОКЛАСТИЧЕСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ ВУЛКАНОВ ЮГА КАМЧАТКИ (РОССИЯ)

© 2024 г. Р. З. Сущенко*, В. Б. Багмет**

ФНЦ Биоразнообразия ДВО РАН

пр. 100-летия Владивостока, 159/1, Владивосток, 690022, Россия

*e-mail: allaguvatova@yandex.ru

**e-mail: chara1989@yandex.ru

Поступила в редакцию 13.11.2023 г.

Получена после доработки 24.01.2024 г.

Принята к публикации 30.01.2024 г.

В почвах и пирокластических отложениях вулканов Горелый, Мутновский, Авачинский, Корякский и Вилучинский (Камчатка, Россия) было выявлено 24 вида диатомовых водорослей, относящихся к 14 родам, 12 семействам и 5 порядкам. Из них два вида (*Nupela tenuicephala*, *Pinnularia bullacostae*) оказались новыми для флоры полуострова Камчатка, три (*Eunotia palatina*, *Neidium bergii*, *Stauroneis borrichii*) – для Российского Дальнего Востока, три (*Psammothidium lacustre*, *Humidophila sceppacuerciae*, *Gomphonema reichardtii*) – для флоры России. В ходе работы обнаружены таксоны *Navicula* sp., *Chamaepinnularia* sp. и *Pinnularia* sp., которые, возможно, являются новыми для науки, так как их морфологические и морфометрические характеристики отличаются от ранее описанных видов.

Ключевые слова: вулканический субстрат, почвенные диатомовые водоросли, сканирующая электронная микроскопия, флористические находки, Bacillariophyta, Камчатка

DOI: 10.31857/S0006813624030016, **EDN:** RAZNJD

Камчатка – полуостров на крайнем востоке Евразии (Россия), являющийся частью Тихоокеанского вулканического кольца и омываемый водами Берингова и Охотского морей и Тихого океана. Здесь насчитывается около 30 действующих и более 100 потухших вулканов (Karpachevskii et al., 2009; Neshataeva, 2009). Выпадение пеплов в результате активной вулканической деятельности обновляет поверхностный слой, погребая под собой ранее существовавший почвенный горизонт. Геохимический состав вулканических почв зависит от химического состава пеплов, которые являются почвообразующими породами для большинства почв Камчатки, и характеризуется высоким содержанием Cu, Mn, Sc, V и Ag (Zakharikhina, Litvinenko, 2010). Вулканические почвы полуострова отличаются кислой и слабокислой реакцией среды и низкой насыщенностью основаниями, что обусловлено процессом выщелачивания (Resursy..., 1973). На почвообразование влияет холодный, гумидный климат, температура субстрата, микроэлементный состав вулканического материала

(пепла) и тип растительности. Также большое значение оказывают почвенные микроорганизмы, в том числе диатомовые водоросли, способствующие изменению структуры и химического состава вулканических отложений в результате своей жизнедеятельности.

Диатомеи представляют собой микроскопические одноклеточные или колониальные водоросли и являются одной из наиболее распространенных и разнообразных групп водорослей как в пресноводной, так и в морской среде (Round et al., 1990). Хотя диатомеи обычно считаются обитателями водоемов, многие таксоны способны выживать и размножаться в различных наземных экосистемах, таких как почвы, мхи, влажные скалы и камни (Smol, Stoermer, 2010). Наземные виды диатомей развили ряд особенностей (как морфологических, так и физиологических), позволяющих справляться с колебаниями температуры и дефицитом влаги. Например, для предотвращения потери воды у них часто уменьшается количество пор в кремниевой клеточной стенке или формируются структуры,

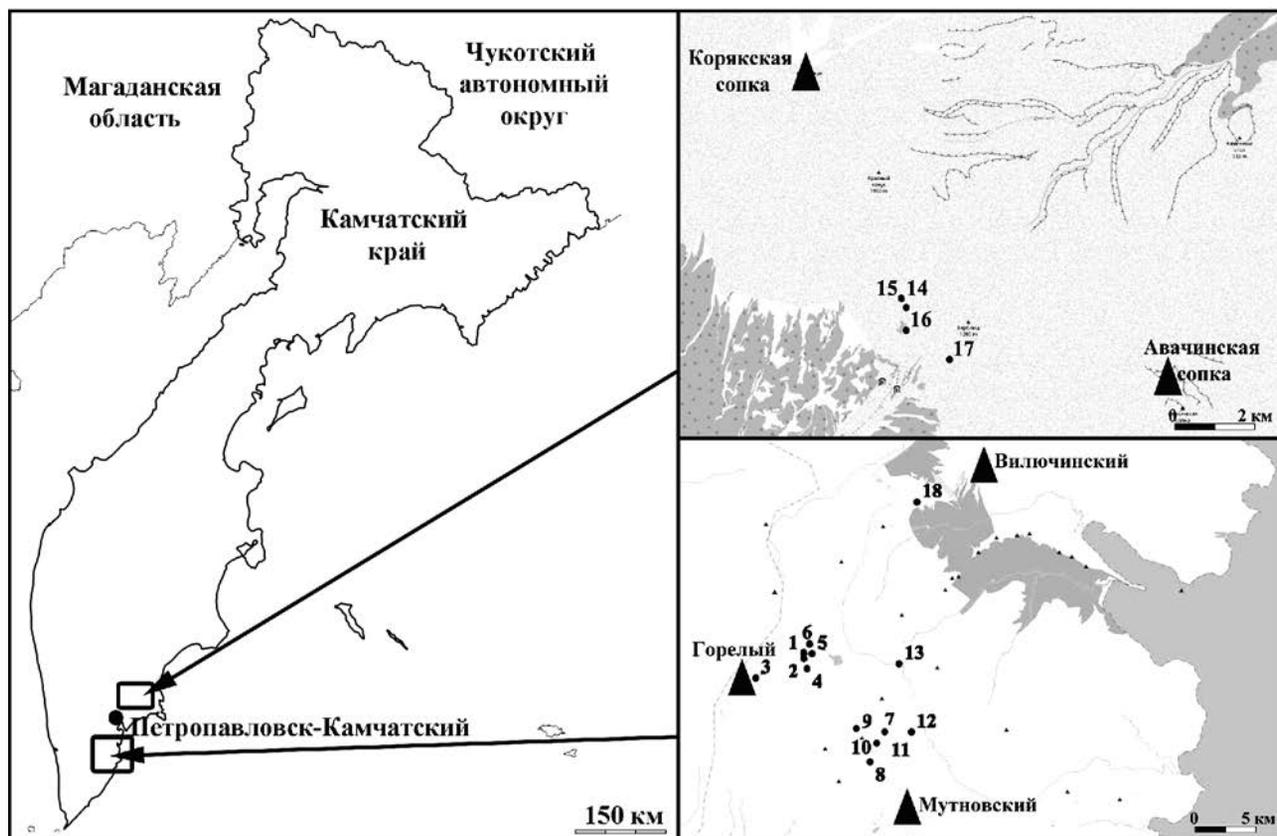


Рис. 1. Карта района исследования и места отбора проб.

Fig. 1. Map of the study area and sampling locations.

Магаданская область – Magadan Region; Чукотский автономный округ – Chukotka Autonomous Area; Камчатский край – Kamchatka Territory; Петропавловск-Камчатский – Petropavlovsk-Kamchatsky; Корякская сопка – Koryakskaya Sopka volcano; Авачинская сопка – Avachinskaya Sopka volcano; Вилучинский – Vilyuchinsky volcano; Горелый – Gorely volcano; Мутновский – Mutnovsky volcano

закрывающие их снаружи или изнутри (Lowe et al., 2007; Ress, 2012). Будучи неотъемлемым компонентом почвенного микробиома, диатомеи играют важную роль в формировании почв и функционировании экосистем. На начальной стадии сукцессии вулканического субстрата они способствуют высвобождению минеральных солей из нерастворимых соединений и выветриванию силикатов за счет создания слабокислой среды (Gollerbach, Shtina, 1969; Wu et al., 2013). Перемещаясь по поверхности почвы или прикрепляясь к ее частицам, они производят внеклеточный матрикс из мукополисахаридов, который связывает частицы почвы и, таким образом, стабилизирует почву (Jewson et al., 2006). Эта агрегация впоследствии уменьшит потерю воды за счет испарения, ограничит эрозию почвы и улучшит инфильтрацию воды (Hoffmann, 1989).

Изучение биоразнообразия диатомовых водорослей, обитающих в почвах и пирокластических отложениях вулканов полуострова Камчатка, имеет большое значение. Однако работ, посвященных этой теме, мало. На сегодняшний день исследована диатомовая флора вулканов Толбачинский (Shtina et al., 1992), Горелый, Мутновский (Fazlutdinova et al., 2021), Шивелуч (Allaguvatova et al., 2021), Авачинский, Корякский и Вилучинский (Allaguvatova et al., 2022), а также диатомеи лавовых пещер Гончарова и Погибшая на вулкане Горелый-3 (Abdullin, 2013). Большинство этих исследований выполнено с помощью светового микроскопа. Однако почвенные диатомеи имеют мелкие створки и для правильной идентификации необходимо использовать более современные методы исследований, в частности, сканирующую электронную микроскопию (СЭМ).

Таблица 1. Характеристика и координаты точек отбора проб

Table 1. Characteristics and coordinates of sampling sites

№	Характеристика субстрата Characteristics of substrate	Координаты, высота над ур. моря Coordinates, height above sea level
влк. Горелый Gorely volcano		
1	Литозем перегнойный Mucky lithozem	52°34'16.0"N 158°04'55.7"E, 1060 m
2	Тефра Tephra	52°34'04.7"N 158°04'55.7"E, 192 m
3	Тефра Tephra	52°33'18.4"N 158°01'44.5"E, 1805 m
4	Литозем грубогумусовый под отмершей куртиной <i>Carex koraginensis</i> Meinsh. Coarsehumus lithozem under a dead mat of <i>Carex koraginensis</i> Meinsh.	52°33'40.4"N 158°05'08.5"E, 1226 m
5	Литозем грубогумусовый Coarsehumus lithozem	52°34'16.6"N 158°05'27.7"E, 1064 m
6	Пирокластические отложения невыявленного генезиса под <i>C. koraginensis</i> Pyroclastic deposits of unknown genesis under <i>C. koraginensis</i>	52°34'39.0"N 158°05'18.4"E, 1002 m
влк. Мутновский Mutnovsky volcano		
7	Тефра Tephra	52°31'12.4"N 158°09'54.7"E, 1053 m
8	Литозем грубогумусовый под горной тундрой Coarsehumus lithozem under mountain tundra	52°29'57.1"N 158°09'17.6"E, 1193 m
9	Литозем грубогумусовый под горной тундрой Coarsehumus lithozem under mountain tundra	52°31'07.7"N 158°09'48.7"E, 1065 m
10	Литозем грубогумусовый под куртиной <i>Alnus fruticosa</i> Pall. s.l. Coarsehumus lithozem under a clump of <i>Alnus fruticosa</i> Pall. s.l.	52°31'02.3"N 158°09'44.7"E, 1067 m
11	Литозем грубогумусовый Coarsehumus lithozem	52°30'56.0"N 158°10'20.4"E, 945 m
12	Литозем грубогумусовый под <i>C. koraginensis</i> , под отложениями солей из скважины Мутновской ГеоЭС Coarsehumus lithozem under <i>C. koraginensis</i> , under salt de- posits from a well of Mutnovskaya geothermal power station	52°31'08.8"N 158°12'02.0"E, 729 m
13	Слоисто-пепловая почва под горной тундрой Banding-ashed soil under mountain tundra	52°33'52.2"N 158°11'13.2"E, 885 m
влк. Корякский Koryaksky volcano		
14	Слоисто-охристая почва под <i>A. fruticosa</i> Banding-ochric soil under <i>A. fruticosa</i>	53°16'34.5"N 158°44'34.6"E, 1121 m

15	Литозем грубогумусовый под куртиной <i>Pinus pumila</i> (Pall.) Regel Coarsehumus lithozem under a clump of <i>Pinus pumila</i> (Pall.) Regel	53°16'34.5"N 158°44'34.6"E, 1120 m
16	Слоисто-охристая почва под <i>A. fruticosa</i> Banding-ochric soil under <i>A. fruticosa</i>	53°16'29.0"N 158°44'39.0"E, 1075 m
влк. Авачинский Avachinsky volcano		
17	Литозем грубогумусовый под <i>P. pumila</i> Coarsehumus lithozem under <i>P. pumila</i>	53°15'53.0"N 158°45'30.5"E, 1026 m
влк. Вилючинский Vilyuchinsky volcano		
18	Литозем грубогумусовый под горной тундрой Coarsehumus lithozem under mountain tundra	52°40'18.7"N 158°12'24.0"E, 873 m

Цель данной работы – изучение таксономического состава диатомовых водорослей вулканических почв и пирокластических отложений вулканов Горелый, Мутновский, Авачинский, Корякский и Вилючинский с использованием СЭМ.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В августе 2020 г. отобрано 18 проб почв и пирокластических отложений с вулканов Корякский, Авачинский, Вилючинский, Горелый и Мутновский (рис. 1) с использованием стандартных методов (Gollerbach, Shtina, 1969). Определение типов почв проводили согласно российской классификации (Klassifikatsiya..., 2004). Характеристики и координаты точек сбора проб указаны в таблице 1. Названия видов высших растений приведены по сводке “Сосудистые растения советского Дальнего Востока” (Kharkevich, 1985–1996) с учетом номенклатурных изменений и дополнений по “Каталогу флоры Камчатки” (Yakubov, Chernyagina, 2004).

Почвенные пробы содержали живые клетки диатомовых водорослей, поэтому для дальнейшего изучения пробы заливали дистиллированной водой на сутки, а затем добавляли 96% спирт и выдерживали еще сутки для удаления органических веществ внутри клетки. Затем створки очищали кипячением в 30%-м растворе перекиси водорода с последующим многократным промыванием дистиллированной водой. Очищенный материал помещали в среду Pleurax. Подготовленные препараты диатомей изучали с использованием светового микроскопа (СМ) Olympus BX53

(Olympus Corporation, Токио, Япония), оснащенного оптикой Nomarski DIC и цифровой фотокамерой Olympus DP27 (Olympus Corporation, Токио, Япония).

Для СЭМ часть очищенного материала высушивали на металлических держателях, а затем напыляли золотом с палладием (60/40%). СЭМ выполнялась на микроскопе Carl Zeiss Merlin (Carl Zeiss, Оберкохен, Германия) в Центре коллективного пользования “Биотехнология и генетическая инженерия” ФНЦ Биоразнообразия ДВО РАН. Диатомеи были идентифицированы согласно современным таксономическим сводкам (Krammer, Lange-Bertalot, 1986; Lange-Bertalot, 1993; 1999; Rumrich et al., 2000; Lange-Bertalot et al., 2011; Kulikovskiy et al., 2016; Cantonati et al., 2017). При составлении флористического списка использована современная номенклатура водорослей, приведенная в соответствии с международной базой данных “AlgaeBase” (Guiry, Guiry, 2023).

Пробы и постоянные препараты с очищенными створками диатомей хранятся в лаборатории ботаники ФНЦ Биоразнообразия ДВО РАН, Владивосток, Россия.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В почвах и пирокластических отложениях вулканов Горелый, Мутновский, Корякский, Авачинский и Вилючинский п-ова Камчатка было выявлено 24 вида диатомовых водорослей, относящихся к 14 родам, 12 семействам и 5 порядкам.

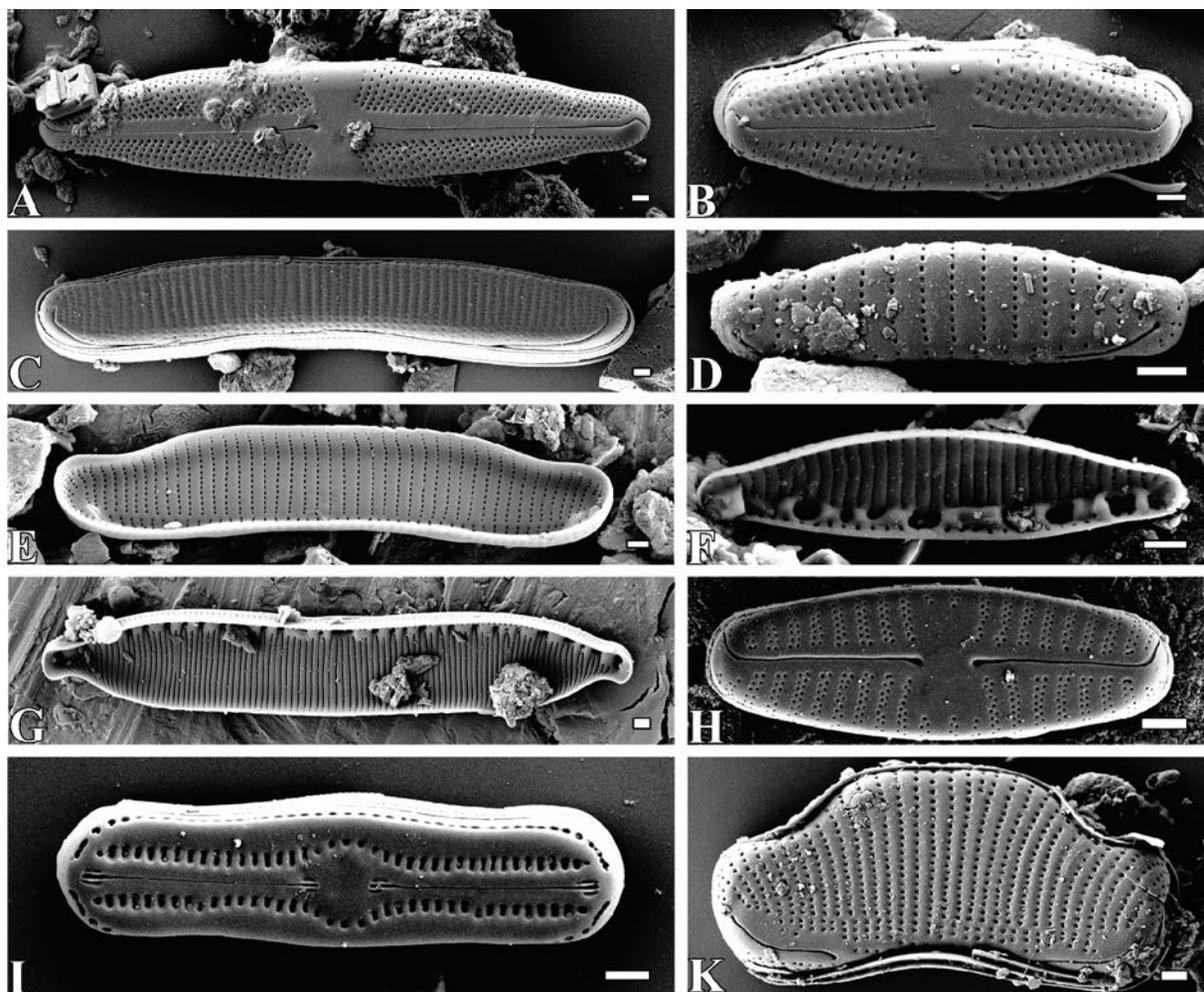


Рис. 2. / Fig. 2. A, B – *Stauroneis borrichii*; C – *Eunotia botuliformis*; D – *Eunotia rhomboidea*; E – *Eunotia palatina*; F – *Nitzschia fonticola*; G – *Hantzschia amphioxys*; H – *Sellaphora saugerresii*; I – *Humidophila arcuata*; K – *Eunotia curtgrundowii*.

Ниже приводится краткое описание таксонов, иллюстрированное оригинальными фотографиями, полученными с помощью СЭМ.

Примечание: * – новая находка для флоры России, ** – новая находка для Российской Федерации, *** – новая находка для Камчатки.

Порядок Bacillariales

Семейство Bacillariaceae

Nitzschia fonticola (Grunow) Grunow (рис. 2, F)

Створки линейно-ланцетные со слабо головчатыми концами. Длина 11.7–13.4 мкм, ширина 2.6–2.9 мкм, 27–29 штрихов в 10 мкм.

Обнаружен в пробе литозема вулкана Авачинский.

Широко распространенный вид, отмечен в странах Европы (Cantonati et al., 2017), в Ираке (Al-Handal, Al-Shaheen, 2019), США (Siver et al., 2005), в Якутии, на Чукотке, Камчатке, Курильских о-вах (Kharitonov, 2014), в Китае (Hu, Wei, 2006).

Hantzschia amphioxys (Ehrenberg) Grunow (рис. 2, G)

Створки линейные с головчатыми концами. Длина 31.2–38.3 мкм, ширина 6.1–6.4 мкм, 20–26 штрихов в 10 мкм.

Обнаружен в пробе слоисто-охристой почвы вулкана Корякский.

Широко распространенный вид, отмечен в странах Европы (Cantonati et al., 2017), США (Miscoe et al., 2016), Якутии, Чукотке, на

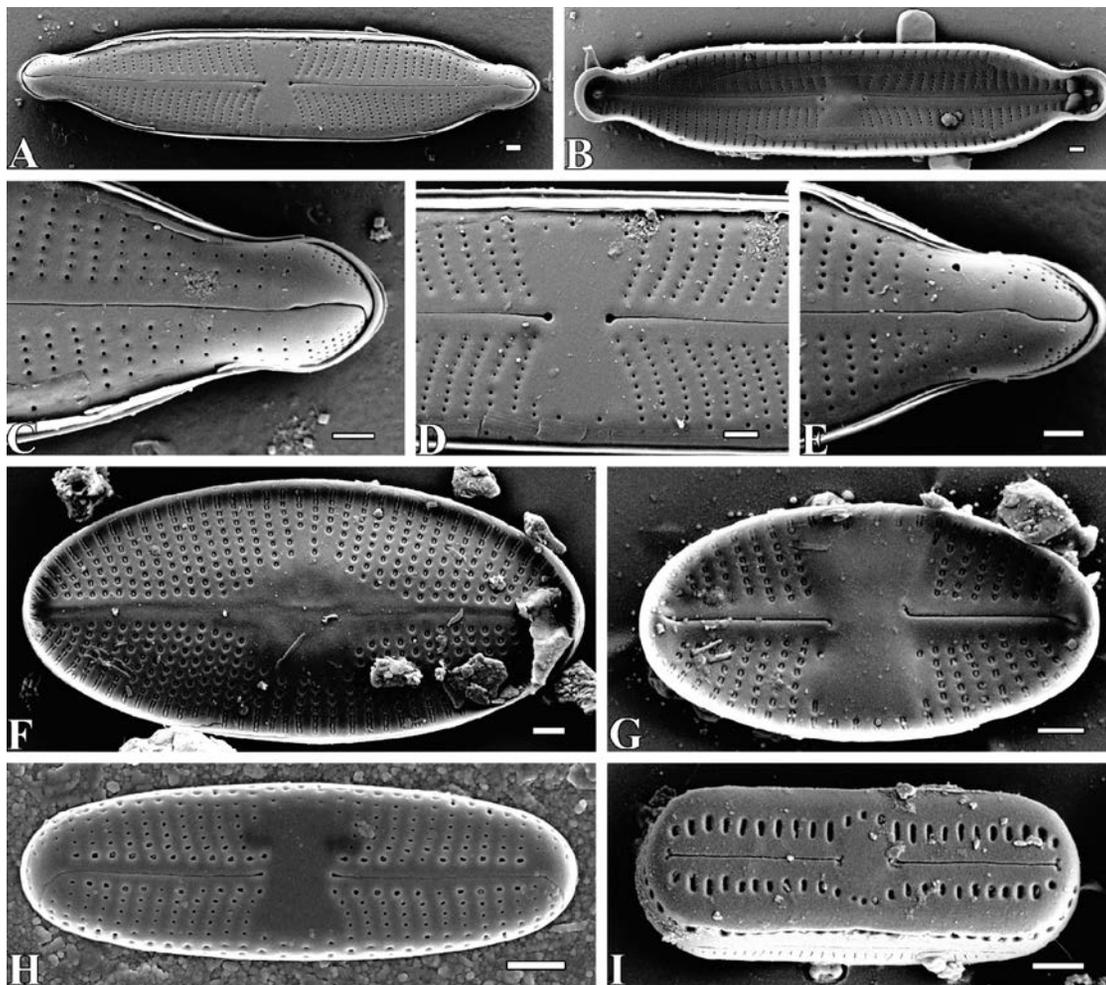


Рис. 3. / Fig. 3. A–E – *Gomphonema reichardtii*; F – *Psammothidium lacustre*; G – *Psammothidium acidoclinatum*; H – *Selaphora atomoides*; I – *Humidophila sceppacuerciae*. C, E – окончания створки; D – центральная область створки. Шкала: 1 мкм. C, E – valve ends; D – central area. Scale bars: 1 μ m.

Камчатке, Курильских о-вах (Kharitonov, 2014), в Китае (Hu, Wei, 2006), Австралии (John, 2018), Антарктиде (Sabbe et al., 2003).

Порядок Cosconeidales

Семейство Achnanthidiaceae

Psammothidium acidoclinatum (Lange-Bertalot) Lange-Bertalot (рис. 3, G)

Створки линейно-ланцетные с широкозакругленными концами. Длина 8.4–13.6 мкм, ширина 4.4–5.4 мкм, 23–27 штрихов в 10 мкм.

Обнаружен в пробах тефры и литозема вулканов Горелый и Мутновский.

Широко распространенный вид в странах Европы (Cantonati et al., 2017), на Камчатке (Potarova, 2014), в Китае (Yan et al., 2016), Антарктиде (Cura, 2020).

**Psammothidium lacustre* Enache et Potarova (рис. 3, F)

Створки ланцетно-эллиптические с широкозакругленными концами. Длина 17.8–28.7 мкм, ширина 8.5–8.9 мкм, 22–26 штрихов в 10 мкм.

Обнаружен в пробах тефры вулканов Горелый и Мутновский.

Редкий вид, отмеченный в Северной Америке (Enache et al., 2013) и Антарктиде (Cura, 2020).

Порядок Symbellales

Семейство Gomphonemataceae

**Gomphonema reichardtii* Lange-Bertalot (рис. 3, A–E)

Створки линейно-эллиптически-ланцетные с клиновидно-головчатыми концами.

Длина 21.8–40.5 мкм, ширина 6.8–8.4 мкм, 12–14 штрихов в 10 мкм.

Обнаружен в пробе литозема вулкана Авачинский.

Редкий вид, отмеченный только в Финляндии (Lange-Bertalot, Metzeltin, 1996) и Канаде (Lange-Bertalot, 1999).

Порядок Eunotiales

Семейство Eunotiaceae

Eunotia botuliformis Wild, Nörpel et Lange-Bertalot (рис. 2, С)

Створки дорсивентральные с выпуклой дорсальной и вогнутой вентральной сторонами, с широкозакругленными концами. Длина 24.6–36.7 мкм, ширина 2.8–3.5 мкм, 15–17 штрихов в 10 мкм.

Обнаружен в пробах литозема и вулканической слоисто-охристой почвы вулканов Авачинский и Корякский.

Широко распространенный вид в странах Европы (Cantonati et al., 2017), на Камчатке (Allaguvatova et al., 2022), Чукотке (Kharitonov, 2014), в Южной Корее (Joh, 2010), Канаде (Bahls et al., 2018).

Eunotia curtagrunowii Nörpel-Schempp et Lange-Bertalot (рис. 2, К)

Створки дорсивентральные с выпуклой дорсальной и слабовогнутой вентральной сторонами, с широкозакругленными или широко головчатыми концами. Длина 14.6–19.6 мкм, ширина 4.8–7.6 мкм, 14–17 штрихов в 10 мкм.

Обнаружен в пробах всех исследованных вулканов.

Широко распространенный вид, отмеченный в странах Европы (Cantonati et al., 2017), в Якутии, Чукотке, на Камчатке (Kharitonov, 2014), в Приморском и Хабаровском краях, Амурской и Сахалинской области (Medvedeva, Nikulina, 2014), в Канаде (Bahls et al., 2018).

***Eunotia palatina* Lange-Bertalot et Krüger (рис. 2, Е)

Створки дорсивентральные со слабовыпуклой или линейной дорсальной и слабовогнутой вентральной сторонами, со слабо вытянутыми, широкозакругленными концами.

Длина 26.3–27.7 мкм, ширина 4.6–5.2 мкм, 15–17 штрихов в 10 мкм.

Обнаружен в пробах литозема и слоисто-охристой почвы вулканов Вилючинский, Корякский и Мутновский.

Широко распространенный вид в странах Европы (Lange-Bertalot et al., 2011), на Ямале (Genkal, Yagushina, 2016), в Китае (Luo et al., 2019), Исландии (Roy et al., 2018).

Eunotia rhomboidea Hustedt (рис. 2, D)

Створки дорсивентральные с выпуклой дорсальной слабовогнутой вентральной сторонами, с широко закругленными концами. Длина 10.6–17.2 мкм, ширина 2.4–4.6 мкм, 15–17 штрихов в 10 мкм.

Обнаружен в пробах литозема вулканов Вилючинский и Мутновский.

Широко распространенный вид в странах Европы (Cantonati et al., 2017), на Чукотке (Kharitonov, 2014), на Камчатке (Potapova, 2014), на Кольском п-ове (Agafonova et al., 2020), в Японии (Takano et al., 2009), США (Siver et al., 2005).

Порядок Naviculales

Семейство Brachysiraceae

****Nupela tenuicephala* (Hustedt) Lange-Bertalot (рис. 4, М)

Створки ланцетные с оттянутыми, слабо головчатыми концами. Длина 11.7–12.1 мкм, ширина 2.6–3.1 мкм, 45–50 штрихов в 10 мкм.

Обнаружен в пробах тефры и литозема вулканов Горелый, Вилючинский и Мутновский.

Широко распространенный вид в странах Европы (Hustedt, 1942), в том числе в Карелии (Genkal et al., 2015), а также в Якутии (Egorova et al., 1991), Чукотке (Kharitonov, 2014), Японии (Tanaka et al., 2018), США (Roberts, Boylen, 1988).

Семейство Diadesmidaceae

**Humidophila sceppacuerciae* Kopalová (рис. 3, I)

Створки ланцетные с оттянутыми, слабо головчатыми концами. Длина 7.8–9.5 мкм, ширина 2.7–3.3 мкм, 24–29 штрихов в 10 мкм.

Обнаружен в пробах тефры и литозема вулканов Горелый и Мутновский.

Редкий вид, отмеченный только в Антарктике (Kopalová et al., 2015).

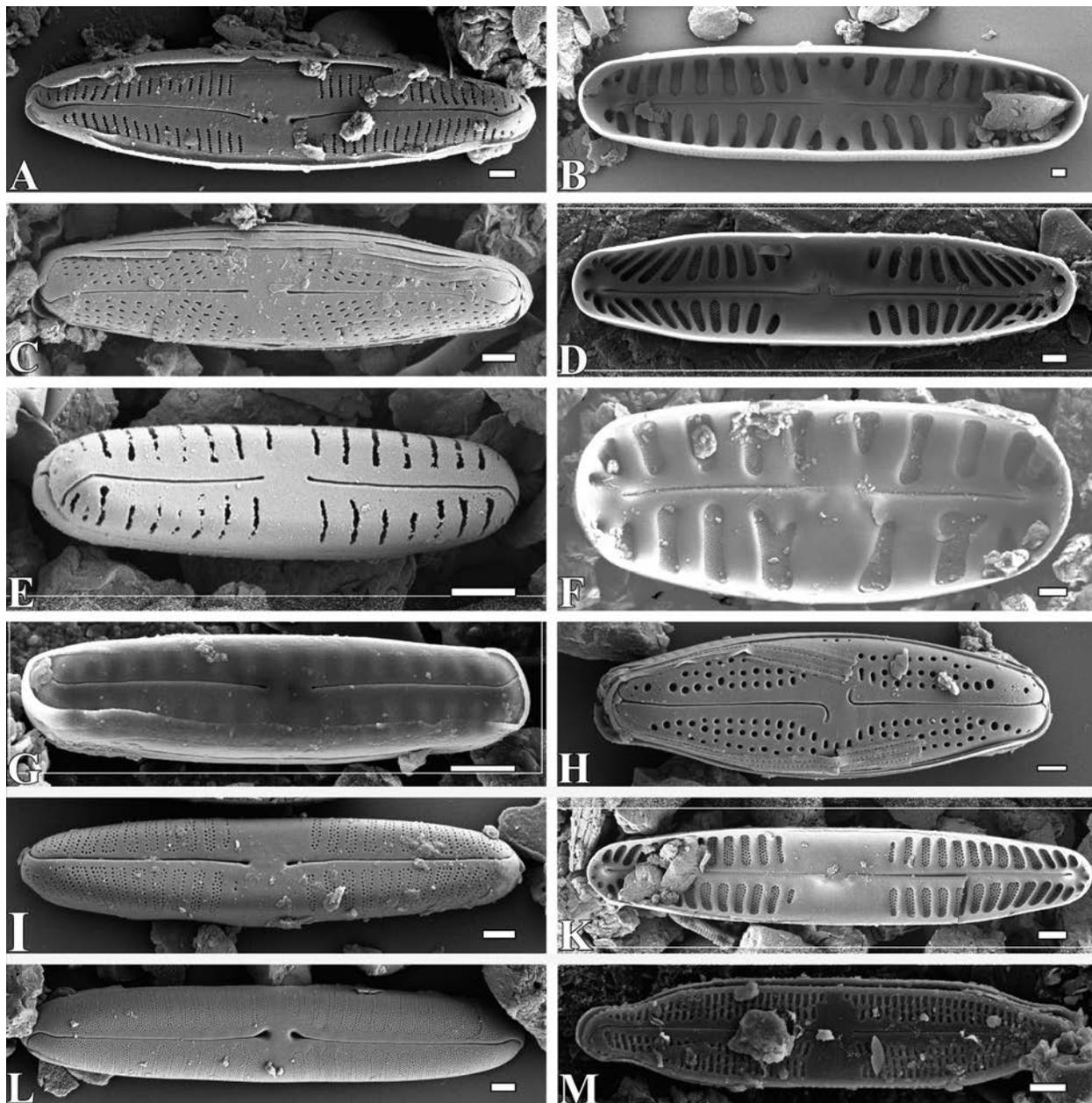


Рис. 4. А – *Caloneis bacillum*; В – *Pinnularia borealis*; С – *Navicula* sp.; D – *Pinnularia obscura*; E, G – *Chamaepinnularia* sp.; F – *Pinnularia curtispinulosa*; H – *Neidium bergii*; I, K – *Pinnularia* sp.; L – *Pinnularia bullacostae*; M – *Nupela tenuicephala*.

Humidophila arcuata (Lange-Bertalot) Lowe, Kocielek, Johansen, Van de Vijver, Lange-Bertalot et Kopalová (рис. 2, I)

Створки линейно-ланцетные с широкозакругленными концами. Длина 8.6–13.6 мкм, ширина 3.02–3.6 мкм, 28–30 штрихов в 10 мкм.

Обнаружен в пробах литозема и вулканической слоисто-охристой почвы вулканов Авачинский и Корякский.

Редкий вид, отмеченный только на Камчатке (Allaguvatova et al., 2022) и в Антарктиде (Sapozhnikov, Kalinina, 2019).

Семейство Naviculaceae

Caloneis bacillum (Grunow) Cleve (рис. 4, A)

Створки эллиптические с широкозакругленными концами. Длина 13.3–18.5 мкм, ширина 3.0–4.6 мкм, 21–30 штрихов в 10 мкм.

Обнаружен в пробах тефры, литозема и слоисто-охристой почвы вулканов Вилючинский, Горелый, Корякский и Мутновский.

Широко распространенный вид, отмеченный в странах Европы (Krammer, Lange-Bertalot, 1986), в Ираке (Al-Handal, Al-Shaheen, 2019), Якутии, Чукотке, на Камчатке (Kharitonov, 2014), в Приморском и Хабаровском краях, Сахалинской области (Medvedeva, Nikulina, 2014), США (Siver et al., 2005), в Австралии (John, 2018).

Navicula sp. (рис. 4, С)

Створки линейно-ланцетные с тупо закругленными или оттянутыми концами. Длина 15.0–17.0 мкм, ширина 3.6–3.8 мкм, 20–25 штрихов в 10 мкм. Центральное поле широкое, ромбовидное, не окаймлено укороченными штрихами. Осевое поле узкое, в центральной части расширяющееся.

Обнаружен в пробе слоисто-охристой почвы вулкана Корякский.

По размеру и форме створки сходен с видами *Navicula pseudowiesneri* Chudaev et Kulikovskiy, *N. tenelloides* Hustedt, *N. pseudotenelloides* Krasske, *N. arctotenelloides* Lange-Bertalot et Metzeltin, однако отличается большим числом штрихов в 10 мкм, и широким центральным полем, не окаймленным штрихами.

Семейство Naviculales incertae sedis

Chamaepinnularia sp. (рис. 4, Е, G)

Створки линейно-ланцетные с широкозакругленными концами. Длина 7.1–7.8 мкм, ширина 1.7–2.1 мкм, 20–28 штрихов в 10 мкм.

Обнаружен в пробе литозема вулкана Мутновский.

Особи, относящиеся к этому виду, по размерам схожи с *Ch. mediocris* (Krasske) Lange-Bertalot, однако центральная часть створки у них не расширена. По форме створок схожи с *Ch. submusvicola* (Krasske) Lange-Bertalot, однако отличаются по морфометрическим параметрам.

Семейство Neidiaceae

***Neidium bergii* (Cleve) Krammer (рис. 4, H)

Створки ланцетные с тупо закругленными концами. Длина 15.3–18.4 мкм, ширина 5.2–5.5 мкм, 20–23 штриха в 10 мкм.

Обнаружен в пробах литозема и слоисто-охристой почвы вулканов Корякский и Мутновский.

Редкий вид, отмеченный в Республике Коми (Stenina, 2009), Канаде (Bahls et al., 2018), Арктике (Antoniades et al., 2005).

Семейство Pinnulariaceae

Pinnularia borealis Ehrenberg (рис. 4, В)

Створки линейные или линейно-эллиптические с тупо закругленными концами. Длина 23.6–56.0 мкм, ширина 6.8–10.0 мкм, 4–5 штрихов в 10 мкм.

Обнаружен в пробах тефры, литозема и слоисто-охристой почвы вулканов Вилючинский, Горелый, Корякский и Мутновский.

Широко распространенный вид, отмеченный в странах Европы (Cantonati et al., 2017), в Якутии, на Чукотке, Камчатке и Курильских о-вах (Kharitonov, 2014), в Китае (Hu, Wei, 2006), в Южной Корее (Joh, 2012), США (Eberle, 2008), Австралии (John, 2018), Антарктиде (Sabbe et al., 2003).

****Pinnularia bullacostae* Krammer et Lange-Bertalot (рис. 4, L)

Створки линейные с широкозакругленными концами. Длина 18.8–28.4 мкм, ширина 4.4–5.3 мкм, 14–16 штрихов в 10 мкм.

Обнаружен в пробе слоисто-пепловой почвы вулкана Мутновский.

Редкий вид, отмеченный в странах Скандинавии (Karlson et al., 2018), в Республике Коми (Postel'nyi et al., 2017), Ненецком автономном округе (Lange-Bertalot, Genkal, 1999) и в Якутии (Genkal, Gabyshev, 2020).

Pinnularia curtispinulosa Lange-Bertalot, Krammer et Rumrich (рис. 4, F)

Створки линейно-эллиптические с широкозакругленными концами. Длина 16.0–18.7 мкм, ширина 7.4–7.5 мкм, 6–7 штрихов в 10 мкм.

Обнаружен в пробах слоисто-охристой почвы и литозема вулканов Корякский и Мутновский.

Редкий вид, отмечен на Камчатке (Allaguvatova et al., 2022), в Чили (Rumrich et al., 2000).

Pinnularia obscura Krasske (рис. 4, D)

Створки линейно-эллиптические с закругленными концами. Длина 12.5–14.3 мкм, ширина 3.1–4.4 мкм, 13–16 штрихов в 10 мкм.

Обнаружен в пробах литозема вулканов Горелый и Мутновский.

Широко распространенный вид, отмечен в странах Европы (Cantonati et al., 2017), на Чукотке (Kharitonov, 2014), Камчатке (Potarova, 2014), в Южной Корее (Joh, 2012), Японии (Kamijo et al., 1974), Канаде (Bahls et al., 2018), Австралии (John, 2018).

Pinnularia sp. (рис. 4, I, K)

Створки линейно-ланцетные с узкозакругленными концами. Длина 15.1–25.3 мкм, ширина 3.1–5.1 мкм, 14–17 штрихов в 10 мкм.

Обнаружен в пробах литозема вулканов Вилючинский и Мутновский.

Таксон схож с *Pinnularia angustarea* Kulikovskii, Lange-Bertalot, A. Witkovski et N.I. Dorofeyuk, однако отличается большим числом штрихов в 10 мкм, а также клиновидными концами створки, в то время как у *P. angustarea* они широкозакругленные.

Семейство Sellaphoraceae

Sellaphora atomoides (Grunow) Wetzel et Van de Vijver (рис. 3, H)

Створки эллиптические с широкозакругленными концами. Длина 9.7–9.9 мкм, ширина 3.1–3.3 мкм, 30 штрихов в 10 мкм.

Обнаружен в пробе литозема вулкана Горелый.

Широко распространенный вид, отмечен в Германии (Reichardt, 2018), Якутии, на Камчатке (Kharitonov, 2014, где указан как *Eolimna tantula* (Husted) Lange-Bertalot), в Приморском и Хабаровском краях, Сахалинской области (Medvedeva, Nikulina, 2014, указан как *Navicula minima* Grunow), Индонезии (Hustedt, 1937), США (Eberle, 2016), Мексике (Mora et al., 2017).

Sellaphora saugerresii (Desmazières) Wetzel et Mann (рис. 2, H)

Створки линейно-ланцетные с закругленными концами. Длина 5.8–14.2 мкм, ширина 2.9–3.6 мкм, 19–22 штриха в 10 мкм.

Обнаружен в пробах литозема вулканов Горелый и Мутновский.

Широко распространенный вид, отмеченный в странах Европы (Cantonati et al., 2017), в Бразилии (Marra et al., 2016), Якутии,

Чукотке (Kharitonov, 2014, указан как *Eolimna minima* (Grunow) Lange-Bertalot), на Камчатке (Allaguvatova et al., 2021), в Южной Корее (Park et al., 2017), США (Eberle, 2016).

Семейство Stauroneidaceae

***Stauroneis borrichii* (Petersen) Lund (рис. 2, A, B)

Створки линейно-эллиптические со слабо выпуклыми краями. Концы от оттянутых до головчатых. Длина 15.4–36.5 мкм, ширина 4.5–6.5 мкм, 21–24 штриха в 10 мкм.

Обнаружен в пробах тефры и литозема вулканов Горелый и Мутновский.

Редкий вид, отмеченный в Ярославской, Костромской, Ивановской и Нижегородской областях (в пределах Горьковского водохранилища; Genkal, 1992), Северной Америке (Bishop et al., 2017), Арктике (Van de Vijver et al., 2004).

В почвах и пирокластических отложениях вулканов Горелый, Мутновский, Авачинский, Корякский и Вилючинский (Камчатка, Россия) было выявлено 24 вида диатомовых водорослей, из которых два вида (*Nupela tenuicephala*, *Pinnularia bullacostae*) оказались новыми для флоры полуострова Камчатка, три (*Eunotia palatina*, *Neidium bergii*, *Stauroneis borrichii*) — для Российского Дальнего Востока, три (*Psammothidium lacustre*, *Humidophila sceppacuerciae*, *Gomphonema reichardtii*) — для флоры России. В ходе работы обнаружены таксоны *Navicula* sp., *Chamaepinnularia* sp. и *Pinnularia* sp. которые, возможно, являются новыми для науки, так как их морфологические и морфометрические характеристики отличаются от ранее описанных видов.

Большинство обнаруженных видов имели размер менее 30 мкм, что ранее уже отмечалось для почвенных диатомовых водорослей (Lund, 1945) как адаптивный признак. Уменьшение размеров позволяет клеткам легче использовать (поглощать всей поверхностью клетки) тонкие водные пленки, окружающие твердые почвенные частицы, и упрощает передвижение в почве. Lund считал, что с уменьшением размеров клеток возрастает их водоудерживающая способность.

Больше всего таксонов было выявлено на вулканах Мутновский (15 таксонов) и Горелый (11 таксонов), где происходит активная

геотермальная деятельность, способствующая таянию снежников и последующему увлажнению субстрата. В пробах вулкана Мутновский обнаружены новые и редкие виды: *Eunotia palatina*, *Humidophila sceppacuerciae*, *Neidium bergii*, *Nupela tenuicephala*, *Pinnularia bullacostae*, *P. curtispinulosa*, *Psammothidium lacustre*, *Stauroneis borrichii*. Вулканический субстрат представлен в основном литоземом, на котором преобладала горно-тундровая растительность – *Oxytropis revoluta* Ledeb., *Carex koraginensis* Meinsh., *Artemisia arctica* Less., *Cassiope lycopodioides* (Pall.) D. Don с участием куртин ольхового стланика *Alnus fruticosa* Pall. s.l.

В пробах вулкана Горелый были выявлены новые и редкие виды: *Humidophila sceppacuerciae*, *Nupela tenuicephala*, *Psammothidium lacustre*, *Stauroneis borrichii*. Местообитания отличались преобладанием пирокластических отложений в виде тefры, на которой развивается горно-тундровая растительность: *Salix arctica* Pall., *Carex koraginensis*, *Calamagrostis sesquiflora* (Trin.) Trin. На примере видового состава диатомовых вулкана Горелый замечено, что в местообитаниях, характеризующихся бедным видовым составом растительности, встречаются только виды-космополиты (*Caloneis bacillum*, *Pinnularia borealis*, *Eunotia curtagrunowii*). По мере увеличения разнообразия видов высших растений, наблюдается увеличение числа и разнообразия видов диатомей. На остальных вулканах такой зависимости не было выявлено.

На вулкане Корякский были отобраны пробы литозема и вулканической слоисто-охристой почвы под *Alnus fruticosa* и *Pinus pumila* (Pall.) Regel, с участием некоторых горно-тундровых высших растений. Видовой состав диатомей включал восемь таксонов. Три вида (*Eunotia palatina*, *Neidium bergii*, *Humidophila arcuata*) относятся к новым и редким.

Вулканический субстрат вулкана Авачинский был представлен в основном литоземом и характеризовался низким разнообразием диатомей (7 таксонов). Однако, только здесь, в пробе, отобранной в месте произрастания кедрового стланика (*Pinus pumila*), был обнаружен редкий вид *Gomphonema reichardtii*. Стоит отметить, что при использовании светового микроскопа этот вид невозможно отличить от видов

рода *Placoneis* и его идентификация возможна только с помощью СЭМ.

Пробы литозема под горной тундрой с участием лишайников с вулкана Виллючинский содержали 7 таксонов диатомовых водорослей. Из новых и редких видов были выявлены *Eunotia palatina* и *Nupela tenuicephala*.

Новые для России таксоны *Gomphonema reichardtii* и *Psammothidium lacustre* ранее выявлены на территории Канады и США, что может быть обусловлено сходными климатическими условиями, а также общностью процессов почвообразования (Neshataeva, 2009).

Caloneis bacillum, *Hantzschia amphioxys*, *Pinnularia borealis* являются космополитами и ранее отмечались в вулканических местообитаниях Курило-Камчатского вулканического пояса (Shtina et al., 1992; Ilchibaeva et al., 2018; Fazlutdinova et al., 2021). Несколько видов ранее было зарегистрировано в почвах и пирокластических отложениях вулканов Авачинский, Корякский и Виллючинский: *Eunotia curtagrunowii*, *E. rhomboidea*, *Humidophila arcuata*, *Pinnularia borealis*, *P. curtispinulosa*, *Nitzschia fonticola* (Allaguvatova et al., 2022).

Большое число новых, редких видов и таксонов, не определенных до вида, свидетельствует о недостаточной изученности Bacillariophyta вулканических почв и необходимости дальнейших альгологических исследований с использованием методов электронной микроскопии.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы выражают признательность старшему научному сотруднику лаборатории ботаники В.В. Якубову (ФНЦ Биоразнообразия ДВО РАН) за помощь в определении высших растений. Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема № 124012400285-7).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Abdullin Sh. 2013. Cyanobacteriae and algae of lava tubes in Kamchatka, Russia. – *Cave Karst Sci.* 40(3): 141–144.
- [Agafonova et al.] Агафонова Е.А., Полякова Е.И., Романенко Ф.А. 2020. Диатомовые водоросли в голоценовых отложениях Терского берега Белого моря в связи с историей его развития в послеледниковое

- время. – Арктика и Антарктика. 2: 1–16. <https://doi.org/10.7256/2453-8922.2020.2.32632>
- Al-Handal A.Y., Al-Shaheen M.A. 2019. Diatoms in the wetlands of Southern Iraq. – *Bibl. Diatomolog.* 67: 1–252.
- [Allaguvatova et al.] Аллагуватова Р.З., Багмет В.Б., Никулин А.Ю., Абдуллин Ш.Р., Гончаров А.А. 2021. К флоре цианобактерий и водорослей вулканических почв и грунтов вулкана Шивелуч. – *Вопросы современной альгологии.* 2(26): 135–138. [https://doi.org/10.33624/2311-0147-2021-2\(26\)-135-138](https://doi.org/10.33624/2311-0147-2021-2(26)-135-138)
- [Allaguvatova et al.] Аллагуватова Р.З., Никулин А.Ю., Багмет В.Б., Абдуллин Ш.Р. 2022. Биоразнообразие цианобактерий и водорослей пирокластических отложений и почв вулканов юга Камчатки. – *Вестн. ДВО РАН.* (5): 75–87. http://dx.doi.org/10.37102/0869-7698_2022_225_05_6
- Antoniades D., Douglas M.S.V., Smol J.P. 2005. Benthic diatom autecology and inference model development from the Canadian High Arctic Archipelago. – *J. Phycol.* 41: 30–45. <https://doi.org/10.1111/j.1529-8817.2005.04049.x>
- Bahls L., Boynton B., Johnston B. 2018. Atlas of diatoms (Bacillariophyta) from diverse habitats in remote regions of western Canada. – *PhytoKeys.* 105: 1–186. <https://doi.org/10.3897/phytokeys.105.23806>
- Bishop I. W., Esposito R.M., Tyree M., Spaulding S.A. 2017. A diatom voucher flora from selected southeast rivers (USA). – *Phytotaxa.* 332(2): 101–140. <https://doi.org/10.11646/phytotaxa.332.2.1>
- Cantonati M., Kelly M.G., Lange-Bertalot H. 2017. Freshwater Benthic Diatoms of Central Europe. Over 800 Common Species Used in Ecological Assessment. Oberreifenberg. 942 p.
- Cura H. 2020. Identification of Antarctic freshwater diatom species using microscopic and molecular techniques: M.Sc. Thesis. Istanbul. 125 p. <http://hdl.handle.net/11527/18725>
- Eberle M.E. 2008. Recent diatoms reported from the central United States: register of taxa and synonyms. Hays. Latest electronic version: 5 December 2008. <https://www.phycotech.com/Portals/0/PDFs/DiatomListCentralUS.pdf>
- Eberle M.E. 2016. Recent Diatoms Reported from the Central United States: Register of Taxa and Synonyms. Hays. 92 p. Latest electronic version: 28 December 2016. https://scholars.fhsu.edu/biology_facpubs/5
- [Egorova et al.] Егорова А.А., Васильева И.И., Степанова Н.А., Фесько Н.Н. 1991. Флора тундровой зоны Якутии. Якутск. 186 с.
- Enache M.D., Potapova M., Sheibley R., Moran P. 2013. Three new *Psammothidium* species from lakes of Olympic and Cascade Mountains in Washington State, USA. – *Phytotaxa.* (127): 49–57. <https://doi.org/10.11646/phytotaxa.127.1.8>
- Fazlutdinova A.I., Gabidullin Yu.Z., Allaguvatova R.Z., Gaysina L.A. 2021. Diatoms in volcanic soils of Mutnovsky and Gorely volcanoes (Kamchatka Peninsula, Russia). – *Microorganisms.* 9(9): 1–19. <https://doi.org/10.3390/microorganisms9091851>
- [Genkal] Генкал С.И. 1992. Атлас диатомовых водорослей планктона реки Волги. СПб. 128 с.
- [Genkal et al.] Генкал С.И., Чекрыжева Т.А., Комулайн С.Ф. 2015. Диатомовые водоросли водоемов и водотоков Карелии. М. 202 с.
- [Genkal, Gabyshev] Генкал С.И., Габышев В.А. 2020. Диатомовые (Bacillariophyta) водоемов и водотоков острова Котельный (Новосибирские острова). – *Бот. журн.* 105(8): 750–761. <https://doi.org/10.31857/S0006813620080049>
- Genkal S.I., Yarushina M.I. 2016. Materials on the Flora of Bacillariophyta in Aquatic Ecosystems of the Yaryakha River Basin (Yamal Peninsula). – *Contemp. Probl. Ecol.* 9(3): 306–317. <https://doi.org/10.1134/S1995425516030045>
- [Gollerbach, Shtina] Голлербах М.М., Штина Э.А. 1969. Почвенные водоросли. Л. 228 с.
- Guiry M.D., Guiry G.M. 2023. AlgaeBase. World-wide electronic publication. National University of Ireland. Galway. <https://www.algaebase.org/>; Дата обращения: 18.12.2023.
- Hoffmann L. 1989. Algae of terrestrial habitats. – *Bot. Rev.* 55(2): 77–105 <https://doi.org/10.1007/BF02858529>
- Hu H., Wei Y. 2006. The freshwater algae of China. Systematics, taxonomy and ecology. Pekin. 1023 p.
- Hustedt F. 1937. Systematische und ökologische Untersuchungen über die Diatomeen Flora von Java, Bali und Sumatra nach dem Material der Deutschen Limnologischen Sunda-Expedition. “Tropische Binnen gewässer, Band VII”. – *Arch. Hydrobiol.* (15): 187–295.
- Hustedt F. 1942. Diatomeen aus der Umgebung von Abisko in Schwedisch-Lappland. – *Arch. Hydrobiol.* 39(1): 87–174.
- Ichibaeva K.V., Kunsbaeva D.F., Allaguvatova R.Z., Fazlutdinova A.I., Polokhin O.V., Sibirina L.A., Goncharov A.A., Singh P., Gaysina L.A. 2018. Preliminary data about algae and cyanobacteria of volcanic soils on Kuril Islands. – *Theor. Appl. Ecol.* (4): 119–126. <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2018-4-119-126>
- Jewson D.H., Lowry S.F., Bowen R. 2006. Co-existence and survival of diatoms on sand grains. – *Eur. J. Phycol.* 41(2): 131–146. <https://doi.org/10.1080/09670260600652903>
- Joh G. 2010. Chrysophyta: Bacillariophyceae: Pennales: Raphidinea: Eunotiaceae. Freshwater diatoms III. – In: *Algal flora of Korea. Vol. 3. Incheon.* P. 1–92.
- Joh G. 2012. Chrysophyta: Bacillariophyceae: Pennales: Raphidinea: Naviculaceae. Freshwater diatoms VII. – In: *Algal flora of Korea. Vol. 3. Incheon.* P. 1–6, 1–120.
- John J. 2018. Diatoms from Tasmania: taxonomy and biogeography. – In: *The diatom flora of Australia. Vol. 2. Oberreifenberg.* P. 1–656.

- Kamijo H., Watanabe T., Mashiko K. 1974. The attached algal flora of the Nagase-gawa, a strong acid water river and its tributaries, Fukushima Prefecture. — Jap. J. Ecol. 24(2): 147–152.
- Karlson B., Andreasson A., Johansen M., Karlberg M., Loo A., Skjevik A.-T. 2018. Nordic Microalgae. Worldwide electronic publication, Swedish Meteorological and Hydrological Institute. Norrköping. <http://nordicmicroalgae.org/>; Дата обращения: 16.01.2024.
- [Karpachevskii et al.] Карпачевский Л.О., Алабина И.О., Захарихина Л.В., Макеев А.О., Маречек М.С., Радюкин А.Ю., Шоба С.А. 2009. Почвы Камчатки. М. 224 с.
- [Kharitonov] Харитонов В.Г. 2014. Диатомовые водоросли Колымы. Магадан. 496 с.
- [Kharkevich] Харкевич С.С. (ред.). 1985–1996. Сосудистые растения советского Дальнего Востока. Т. 1–8. Л.; СПб.
- [Klassifikatsiya...] Классификация и диагностика почв России. 2004. Смоленск. 342 с.
- Kopalová K., Kociolk J.P., Lowe R.L., Zidarova R., Van de Vijver B. 2015. Five new species of the genus *Humidophila* (Bacillariophyta) from the Maritime Antarctic Region. — Diatom Res. 30(2): 117–131. <https://doi.org/10.1080/0269249X.2014.998714>
- Krammer K., Lange-Bertalot H. 1986. Süßwasserflora von Mitteleuropa. Bd. 2/1: Bacillariophyceae, 1. Teil: Naviculaceae. — Jena. 876 s.
- [Kulikovskiy et al.] Куликовский М.С., Глушенко А.М., Генкал С.И., Кузнецова И.В. 2016. Определитель диатомовых водорослей России. Ярославль. 804 с.
- Lange-Bertalot H. 1993. 85 New Taxa and much more than 100 taxonomic clarifications supplementary to Süßwasserflora von Mitteleuropa. — Bibl. Diatomolog. 27: 1–454.
- Lange-Bertalot H. 1999. Neue Kombinationen von Taxa aus Achnanthes Bory (sensu lato). — Iconogr. Diatomolog. 8: 270–283.
- Lange-Bertalot H., Bağ M., Witkowski A. 2011. *Eunotia* and some related genera. — Diatoms of the Europe. 6: 1–747.
- Lange-Bertalot H., Genkal S. I. 1999. Diatoms from Siberia I — Islands in the Arctic Ocean (Yugorsky-Shar Strait). — Iconogr. Diatomolog. 6: 1–271.
- Lange-Bertalot H., Metzeltin D. 1996. Indicators of oligotrophy. 800 taxa representative of three ecologically distinct lake types, carbonate buffered-Oligodystrophic-weakly buffered soft water with 2428 figures on 125 plates. — Iconogr. Diatomolog. 2: 1–390.
- Lowe R.L., Furey P.C., Ress J.A., Johansen J.R. 2007. Diatom biodiversity and distribution on wetwalls in Great Smoky Mountains National Park. — South-eastern Naturalist 6(sp2): 135–153. [https://doi.org/10.1656/1528-7092\(2007\)6\[135:DBADOW\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1656/1528-7092(2007)6[135:DBADOW]2.0.CO;2)
- Lund J.W.G. 1945. Observations on soil algae. I. The ecology, size and taxonomy of British soil diatoms. Part 1. — The New Phytologist. 44(1): 196–219.
- Luo F., You Q., Yu P., Pang W., Wang Q. 2019. *Eunotia* (Bacillariophyta) biodiversity from high altitude, freshwater habitats in the Mugecuo Scenic Area, Sichuan Province, China. — Phytotaxa. 394(2): 133–147. <https://doi.org/10.11646/phytotaxa.394.2.2>
- Marra R.C., Tremarin P.I., Algarte V.M., Ludwig T.V. 2016. Epiphytic diatoms (Diatomeae) from Piraquara II urban reservoir, Paraná state. — Biota Neotrop. 16: 1–20. <https://doi.org/10.1590/1676-0611-BN-2016-0200>
- [Medvedeva, Nikulina] Медведева Л.А., Никулина Т.В. 2014. Каталог пресноводных водорослей Юга Дальнего Востока России. Владивосток. 271 с.
- Miscoe L.H., Johansen J.R., Kocielek J.P., Lowe R.L. 2016. The diatom flora and cyobacteria from caves on Kauai, Hawaii. I. Investigation of the cave diatom flora of Kanuui, Hawaii: an emphasis on taxonomy and distribution. — Bibl. Phycol. 123: 3–74.
- Mora D., Carmona J., Jahn R., Zimmermann J., Abarca N. 2017. Epilithic diatom communities of selected streams from the Lerma-Chapala Basin, Central Mexico, with the description of two new species. — PhytoKeys. 88: 39–69. <http://doi.org/10.3897/phytokeys.88.14612>
- [Neshataeva] Нешатаева В.Ю. 2009. Растительность полуострова Камчатка. М. 537 с.
- Park J.S., Yun S.M., Lee S.D., Lee J.B., Lee J.H. 2017. New Records of the Diatoms (Bacillariophyta) in the Brackish and Coastal Waters of Korea. — Korean J. Environ. Biol. 35(3): 215–226. <https://doi.org/10.11626/KJEB.2017.35.3.215>
- [Postel'nyi et al.] Постельный Д.А., Шабалина Ю.Н., Стерлягова И.Н. 2017. Первые данные о водорослях горного ручья окрестностей горы Хальмерсале (Северный Урал, Национальный парк "Югыд ва"). — В сб.: Материалы XXIV Всерос. молодежной науч. конф. (с элементами науч. шк.) "Актуальные проблемы биологии и экологии", посвященная 55-летию Института биологии Коми НЦ УрО РАН. Сыктывкар. С. 27–30.
- Potapova M. 2014. Diatoms of Bering Island, Kamchatka, Russia — Nova Hedwigia, Beiheft. 143: 63–102.
- Reichardt E. 2018. Die Diatomeen im Gebiet der Stadt Treuchtlingen. München. 576 p.
- Ress J.A. 2012. The ecology of aerial algae: PhD Thesis. Ohio. 182 p.
- [Resursy...] Ресурсы поверхностных вод СССР. Т. 20. Камчатка. 1973. Л. 368 с.
- Roberts D.A., Boylen C.W. 1988. Patterns of epipellic algal distribution in an acidic adirondack lake. — J. Phycol. 24: 146–152. <https://doi.org/10.1111/j.1529-8817.1988.tb04228.x>

- Round F.E., Crawford R.M., Mann D.G. 1990. The diatoms: biology and morphology of the genera. Cambridge. 747 p.
- Roy N., Woollett J., Bhiry N., Haemmerli G., Forbes V., Pienitz R. 2018. Perspective of landscape change following early settlement (landnam) in Svalbardstunga, northeastern Iceland. – *Boreas*. 47: 671–686. <https://doi.org/10.1111/bor.12287>
- Rumrich U., Lange-Bertalot H., Rumrich M. 2000. Diatoms of the Andes from Venezuela to Patagonia/Tierra del Fuego and two additional contributions. – *Iconogr. Diatomol.* 9: 1–673.
- Sabbe K., Verleyen E., Hodgson D.A., Vanhoutte K., Vyverman W. 2003. Benthic diatom flora of freshwater and saline lakes in the Larsemann Hills and Rauer Islands, East Antarctica. – *Antarct. Sci.* 15(2): 227–248.
- [Sapozhnikov, Kalinina] Сапожников Ф.В., Калинина О.Ю. 2019. Микрофиты оазиса Бангера (Восточная Антарктида). – *Вопросы современной альгологии*. 1(19): 57–77.
- [Shtina et al.] Штина Т.И., Андреева В.М., Кузякина Т.И. 1992. Заселение водорослями вулканических субстратов. – *Бот. журн.* 77(8): 33–41.
- Siver P.A., Hamilton P.B., Stachura-Suchoples K., Kocielek J.P. 2005. Diatoms of North America. The freshwater flora of Cape Cod. – *Iconogr. Diatomol.* 14: 1–463.
- Smol J.P., Stoermer E.F. 2010. The diatoms: applications for the environmental and earth sciences. Cambridge. 686 p.
- [Stenina] Стенина А.С. 2009. Диатомовые водоросли (Bacillariophyta) в озерах востока Большеземельской тундры. Сыктывкар. 176 с.
- Takano S., Akaneya K., Watanabe T., Katano N. 2009. Diatoms from Akita Prefecture, northern part of Japan, part II – Diatoms from Toyokawa River. – *Diatom.* 25: 120–133. <https://doi.org/10.11464/diatom.25.120>
- Tanaka H., Kawanobe K., Mitsunashi F., Nagumo T. 2018. Diatoms from district of Lake Oze, boundary of Gunma and Fukushima Prefectures. – *Bulletin of the Nippon Dental University. General education.* 47: 7–23. <https://doi.org/10.14983/00000820>
- Van de Vijver B., Beyens L., Lange-Bertalot H. 2004. The genus *Stauroneis* in the Arctic and (Sub-)Antarctic Regions. – *Bibl. Diatomol.* 51: 1–317.
- Wetzel C.E., Ector L., Van de Vijver B., Compère P., Mann D.G. 2015. Morphology, typification and critical analysis of some ecologically important small naviculoid species (Bacillariophyta). – *Fottea, Olomouc*, 15(2): 203–234. <https://doi.org/10.5507/fot.2015.020>
- Wu Y., Rao B., Wu P., Liu Y., Li G., Li D. 2013. Development of artificially induced biological soil crusts in fields and their effects on top soil. – *Plant Soil.* 370(1–2): 115–124. <https://doi.org/10.1007/s11104-013-1611-6>
- [Yakubov, Chernyagina] Якубов В.В., Чернягина О.А. 2004. Каталог флоры Камчатки (сосудистые растения). Петропавловск-Камчатский. 165 с.
- Yan L., Yawen F., Quanxi W. 2016. Newly Recorded Species of Achnanthesiaceae from Great Xingan Mountains. – *Acta Botanica boreali – occidentalia sinica.* 36(11): 2339–2345.
- [Zakharikhina, Litvinenko] Захарихина Л.В., Литвиненко Ю.С. 2010. Геохимические особенности вулканических почв Камчатки. – *Почвоведение.* (4): 412–421.

DIATOMS OF SOILS AND PYROCLASTIC DEPOSITS FROM SOUTH KAMCHATKA VOLCANOES

R. Z. Sushchenko[#], V. B. Bagmet^{##}

*Federal Scientific Center of the East Asia Terrestrial Biodiversity, Far Eastern Branch of RAS
100-letiya Vladivostoka Ave., 159, Vladivostok, 690022, Russia*

[#]*e-mail: allaguvatova@yandex.ru*

^{##}*e-mail: chara1989@yandex.ru*

Twenty-four species of diatoms belonging to 14 genera, 12 families and 5 orders were identified from soils and pyroclastic deposits of the Gorely, Mutnovsky, Avachinsky, Koryaksky and Vilyuchinsky volcanoes (Kamchatka Peninsula, Russia). Two species of these (*Nupela tenuicephala*, *Pinnularia bullacostae*) are new to the flora of the Kamchatka Peninsula, three ones (*Eunotia palatina*, *Neidium bergii*, *Stauroneis borrichii*) to the Russian Far East, and another three (*Psammothidium lacustre*, *Humidophila sceppacuerciae*, *Gomphonema reichardtii*) to the flora of Russia. Three revealed taxa (*Navicula* sp., *Chamaepinnularia* sp., and *Pinnularia* sp.) are probably new to science, as their morphological and morphometric characteristics differ from those of previously described species.

Keywords: Bacillariophyta, floristic records, scanning electron microscopy, Kamchatka Peninsula, soil algae, volcanic substrate, Kamchatka

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors express their gratitude to the Senior Researcher V.V. Yakubov (Laboratory of Botany, FSC Biodiversity FEB RAS) for his help with identifying higher plants. The study was carried out within the state assignment of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (theme no. 124012400285-7).

REFERENCES

- Abdullin Sh. 2013. Cyanobacteria and algae of lava tubes in Kamchatka, Russia. — *Cave Karst Sci.* 40 (3): 141–144.
- Agafonova E., Polyakova Y., Romanenko F. 2020. Diatoms in the Holocene sediments of the Tersky Coast of the White Sea in connection with the history of its development in the postglacial time. — *Arctic and Antarctica*. 2: 1–16 (In Russ.).
<https://doi.org/10.7256/2453-8922.2020.2.32632>
- Al-Handal A.Y., Al-Shaheen M.A. 2019. Diatoms in the wetlands of Southern Iraq. — *Bibl. Diatomol.* 67: 1–252.
- Allaguvatova R.Z., Bagmet V.B., Nikulin A.Yu., Abdullin Sh.R. 2021. Materials to cyanobacterial and algal flora from volcanic soils of Shiveluch volcano. — *Issues of modern algology*. 2(26): 135–138 (In Russ.).
[https://doi.org/10.33624/2311-0147-2021-2\(26\)-135-138](https://doi.org/10.33624/2311-0147-2021-2(26)-135-138)
- Allaguvatova R.Z., Nikulin A.Yu., Bagmet V.B., Abdullin Sh.R. 2022. Cyanobacteria and algae biodiversity of grounds and soils from south Kamchatka volcanoes. — *Vestnik of the FEB RAS.* (5): 75–87 (In Russ.).
http://dx.doi.org/10.37102/0869-7698_2022_225_05_6
- Antoniades D., Douglas M.S.V., Smol J.P. 2005. Benthic diatom autecology and inference model development from the Canadian High Arctic Archipelago. — *J. Phycol.* 41: 30–45.
<https://doi.org/10.1111/j.1529-8817.2005.04049.x>
- Bahls L., Boynton B., Johnston B. 2018. Atlas of diatoms (Bacillariophyta) from diverse habitats in remote regions of western Canada. — *PhytoKeys*. 105: 1–186.
<https://doi.org/10.3897/phytokeys.105.23806>
- Bishop I.W., Esposito R.M., Tyree M., Spaulding S.A. 2017. A diatom voucher flora from selected southeast rivers (USA). — *Phytotaxa*. 332(2): 101–140.
<https://doi.org/10.11646/phytotaxa.332.2.1>
- Cantonati M., Kelly M.G., Lange-Bertalot H. 2017. Freshwater Benthic Diatoms of Central Europe. Over 800 Common Species Used in Ecological Assessment. Oberreifenberg. 942 p.
- Cura H. 2020. Identification of Antarctic freshwater diatom species using microscopic and molecular techniques: M.Sc. Thesis. Istanbul. 125 p.
<http://hdl.handle.net/11527/18725>
- Eberle M.E. 2008. Recent diatoms reported from the central United States: register of taxa and synonyms. *Hays*. Latest electronic version: 5 December 2008.
<https://www.phycotech.com/Portals/0/PDFs/DiatomListCentralUS.pdf>
- Eberle M.E. 2016. Recent Diatoms Reported from the Central United States: Register of Taxa and Synonyms. *Hays*. 92 p. Latest electronic version: 28 December 2016. https://scholars.fhsu.edu/biology_facpubs/5
- Egorova A.A., Vasil'eva I.I., Stepanova N.A., Fes'ko N.N. 1991. Flora tundrovoi zony Yakutii [Flora of the tundra zone of Yakutia]. Yakutsk. 186 p. (In Russ.).
- Enache M.D., Potapova M., Sheibley R., Moran P. 2013. Three new *Psammothidium* species from lakes of Olympic and Cascade Mountains in Washington State, USA. — *Phytotaxa*. (127): 49–57.
<https://doi.org/10.11646/phytotaxa.127.1.8>
- Fazlutdinova A.I., Gabidullin Yu.Z., Allaguvatova R.Z., Gaysina L.A. 2021. Diatoms in volcanic soils of Mutnovsky and Gorely volcanoes (Kamchatka Peninsula, Russia). — *Microorganisms*. 9(9): 1–19.
<https://doi.org/10.3390/microorganisms9091851>
- Genkal S.I. 1992. Atlas diatomovykh vodoroslei planktona reki Volgi [Atlas of diatoms of Volga River plankton]. Sankt-Peterburg. 128 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., Gabyshev V.A. 2020. Diatom algae (Bacillariophyta) in waterbodies and watercourses on Kotelnny Island (New Siberian Islands Archipelago). — *Bot. Zhurn.* 105(8): 750–761 (In Russ.).
<https://doi.org/10.31857/S0006813620080049>
- Genkal S.I., Yarushina M.I. 2016. Materials on the Flora of Bacillariophyta in Aquatic Ecosystems of the Yarayakha River Basin (Yamal Peninsula). — *Contemp. Probl. Ecol.* 9(3): 306–317.
<https://doi.org/10.1134/S1995425516030045>
- Gollerbach M.M., Shtina E.A. 1969. Pochvennyye vodorosli [Soil Algae]. Leningrad. 228 p. (In Russ.).
- Guiry M.D., Guiry G.M. 2023. AlgaeBase. World-wide electronic publication. National University of Ireland. Galway. <https://www.algaebase.org>; searched on 18 December 2023.
- Hoffmann L. 1989. Algae of terrestrial habitats. — *Bot. Rev.* 55(2): 77–105 <https://doi.org/10.1007/BF02858529>
- Hu H., Wei Y. 2006. The freshwater algae of China. Systematics, taxonomy and ecology. Pekin. 1023 p.
- Hustedt F. 1937. Systematische und ökologische Untersuchungen über die Diatomeen—Flora von Java, Bali und Sumatra nach dem Material der Deutschen Limnologischen Sunda-Expedition. “Tropische Binnengewässer, Band VII”. — *Arch. Hydrobiol.* (15): 187–295.
- Hustedt F. 1942. Diatomeen aus der Umgebung von Abisko in Schwedisch-Lappland. — *Arch. Hydrobiol.* 39(1): 87–174.
- Ichibaeva K.V., Kunsbaeva D.F., Allaguvatova R.Z., Fazlutdinova A.I., Polokhin O.V., Sibirina L.A., Gontcharov A.A., Singh P., Gaysina L.A. 2018.

- Preliminary data about algae and cyanobacteria of volcanic soils on Kuril Islands. — *Theor. Appl. Ecol.* (4): 119–126.
<https://doi.org/10.25750/1995-4301-2018-4-119-126>
- Jewson D.H., Lowry S.F., Bowen R. 2006. Co-existence and survival of diatoms on sand grains. — *Eur. J. Phycol.* 41 (2): 131–146.
<https://doi.org/10.1080/09670260600652903>
- Joh G. 2010. Chrysophyta: Bacillariophyceae: Pennales:Raphidineae: Eunotiaceae. Freshwater diatoms III. — In: *Algal flora of Korea*. Vol. 3. Incheon. P. 1–92.
- Joh G. 2012. Chrysophyta: Bacillariophyceae: Pennales: Raphidineae: Naviculaceae. Freshwater diatoms VII. — In: *Algal flora of Korea*. Vol. 3. Incheon. P. 1–6, 1–120.
- John J. 2018. Diatoms from Tasmania: taxonomy and biogeography. — In: *The diatom flora of Australia*. Vol. 2. Oberreifenberg. P. 1–656.
- Kamijo H., Watanabe T., Mashiko K. 1974. The attached algal flora of the Nagase-gawa, a strong acid water river and its tributaries, Fukushima Prefecture. — *Jap. J. Ecol.* 24(2): 147–152.
- Karlson B., Andreasson A., Johansen M., Karlberg M., Loo A., Skjevik A.-T. 2018. *Nordic Microalgae*. World-wide electronic publication, Swedish Meteorological and Hydrological Institute. Norrköping. <http://nordicmicroalgae.org>; searched on 16 January 2024.
- Karpachevskii L.O., Alabina I.O., Zakharikhina L.V., Makeev A.O., Marechek M.S., Radyukin A.Yu., Shoba S.A. 2009. *Pochvy Kamchatki [Soils of Kamchatka]*. Moscow. 224 p. (In Russ.).
- Kharitonov V.G. 2014. *Diatomovye vodorosli Kolymy [Diatoms of the Kolyma]*. Magadan. 496 p. (In Russ.).
- Kharkevich S.S. (ed.). 1985–1996. *Sosudistye rasteniya sovetskogo Dal'nego Vostoka [Vascular plants of the Soviet Far East]*. Vol. 1–8. Leningrad; St. Petersburg. (In Russ.).
- Klassifikatsiya i diagnostika pochv Rossii. 2004. [Classification and diagnostics of soils in Russia]. Smolensk. 342 p. (In Russ.).
- Kopalová K., Kociolk J.P., Lowe R.L., Zidarova R., Van de Vijver B. 2015. Five new species of the genus *Humidophila* (Bacillariophyta) from the Maritime Antarctic Region. — *Diatom Res.* 30(2): 117–131.
<https://doi.org/10.1080/0269249X.2014.998714>
- Krammer K., Lange-Bertalot H. 1986. *Süßwasserflora von Mitteleuropa*. Bd. 2/1: Bacillariophyceae, 1. Teil: Naviculaceae. — Jena. 876 s.
- Kulikovskij M.S., Glushchenko A.M., Genkal S.I., Kuznecova I.V. 2016. *Opredelitel' diatomovykh vodoroslei Rossii [Key to diatoms of Russia]*. Yaroslavl'. 804 p. (In Russ.).
- Lange-Bertalot H. 1993. 85 New Taxa and much more than 100 taxonomic clarifications supplementary to Süßwasserflora von Mitteleuropa Vol. 2/1-4. — *Bibl. Diatomol.* 27: 1–454.
- Lange-Bertalot H. 1999. Neue Kombinationen von Taxa aus Achnanthes Bory (sensu lato). — *Iconogr. Diatomol.* 8: 270–283.
- Lange-Bertalot H., Bąk M., Witkowski A. 2011. *Eunotia* and some related genera. — *Diatoms of Europe*. 6: 1–747.
- Lange-Bertalot H., Genkal S.I. 1999. Diatoms from Siberia I - Islands in the Arctic Ocean (Yugorsky-Shar Strait). — *Iconogr. Diatomol.* 6: 1–271.
- Lange-Bertalot H., Metzeltin D. 1996. Indicators of oligotrophy. 800 taxa representative of three ecologically distinct lake types, carbonate buffered-Oligodystrophic-weakly buffered soft water with 2428 figures on 125 plates. — *Iconogr. Diatomol.* 2: 1–390.
- Lowe R.L., Furey P.C., Ress J.A., Johansen J.R. 2007. Diatom biodiversity and distribution on wetwalls in Great Smoky Mountains National Park. — *South-eastern Naturalist.* 6(sp2): 135–153.
[https://doi.org/10.1656/1528-7092\(2007\)6\[135:DBADOW\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1656/1528-7092(2007)6[135:DBADOW]2.0.CO;2)
- Lund J.W.G. 1945. Observations on soil algae. I. The ecology, size and taxonomy of British soil diatoms. Part I. — *The New Phytologist.* 44(1): 196–219.
- Luo F., You Q., Yu P., Pang W., Wang Q. 2019. *Eunotia* (Bacillariophyta) biodiversity from high altitude, freshwater habitats in the Mugecuo Scenic Area, Sichuan Province, China. — *Phytotaxa.* 394(2): 133–147.
<https://doi.org/10.11646/phytotaxa.394.2.2>
- Marra R.C., Tremarin P.I., Algarte V.M., Ludwig T.V. 2016. Epiphytic diatoms (Diatomeae) from Piraquara II urban reservoir, Paraná state. — *Biota Neotrop.* 16: 1–20.
<https://doi.org/10.1590/1676-0611-BN-2016-0200>
- Medvedeva L.A., Nikulina T.V. 2014. *Katalog presnovodnykh vodoroslej Yuga Dal'nego Vostoka Rossii [Catalog of freshwater algae in the South of the Russian Far East]*. Vladivostok. 271 p. (In Russ.).
- Miscoe L.H., Johansen J.R., Kociolek J.P., Lowe R.L. 2016. The diatom flora and cyobacteria from caves on Kauai, Hawaii. I. Investigation of the cave diatom flora of Kanuui, Hawaii: an emphasis on taxonomy and distribution. — *Bibl. Phycol.* 123: 3–74.
- Mora D., Carmona J., Jahn R., Zimmermann J., Abarca N. 2017. Epilithic diatom communities of selected streams from the Lerma-Chapala Basin, Central Mexico, with the description of two new species. — *PhytoKeys.* 88: 39–69.
<http://doi.org/10.3897/phytokeys.88.14612>
- Neshataeva V. Y. 2009. *Rastitel'nost' poluostrova Kamchatka [Vegetation of the Kamchatka Peninsula]*. Moscow. 537 p. (In Russ.).
- Park J.S., Yun S.M., Lee S.D., Lee J.B., Lee J.H. 2017. New Records of the Diatoms (Bacillariophyta) in the Brackish and Coastal Waters of Korea. — *Korean J. Environ. Biol.* 35(3): 215–226.
<https://doi.org/10.11626/KJEB.2017.35.3.215>

- Postel'nyi D.A., Shabalina Yu.N., Sterlyagova I.N. 2017. Pervyye dannyye o vodoroslyakh gornogo ruch'ya okrestnostey gory Khal'mersale (Severnyi Ural, Natsional'nyi park "Yugyd va") [The first data on the algae of a mountain stream in the vicinity of Halmersale Mount (Northern Urals, Yugyd Va National Park)]. – In: "Aktual'nyye problemy biologii i ekologii". Materialy XXIV Vserossiiskoy molodezhnoy nauchnoy konferentsii (s elementami nauchnoy shkoly). Syktyvkar. P. 27–30 (In Russ.).
- Potapova M. 2014. Diatoms of Bering Island, Kamchatka, Russia. – Nova Hedwigia, Beiheft. 143: 63–102.
- Reichardt E. 2018. Die Diatomeen im Gebiet der Stadt Treuchtlingen. München. 576 p.
- Ress J.A. 2012. The ecology of aerial algae: PhD Thesis. Ohio. 182 p.
- Resursy poverkhnostnykh vod SSSR. 1973. [Surface water resources of the USSR]. Vol. 20. Kamchatka. Leningrad. 368 p. (In Russ.).
- Roberts D.A., Boylen C.W. 1988. Patterns of epipellic algal distribution in an acidic adirondack lake. – J. Phycol. 24: 146–152.
<https://doi.org/10.1111/j.1529-8817.1988.tb04228.x>
- Round F.E., Crawford R.M., Mann D.G. 1990. The diatoms: biology and morphology of the genera. Cambridge. 747 p.
- Roy N., Woollett J., Bhiry N., Haemmerli G., Forbes V., Pienitz R. 2018. Perspective of landscape change following early settlement (landnam) in Svalbarðstunga, northeastern Iceland. – Boreas. 47: 671–686.
<https://doi.org/10.1111/bor.12287>
- Rumrich U., Lange-Bertalot H., Rumrich M. 2000. Diatoms of the Andes from Venezuela to Patagonia/Tierra del Fuego and two additional contributions. – Iconogr. Diatomol. 9: 1–673.
- Sabbe K., Verleyen E., Hodgson D.A., Vanhoutte K., Vyverman W. 2003. Benthic diatom flora of freshwater and saline lakes in the Larsemann Hills and Rauer Islands, East Antarctica. – Antarct. Sci. 15(2): 227–248.
- Sapozhnikov F.V., Kalinina O.Yu. 2019. Microphytes of different types of locations from Bunger Hills (Eastern Antarctica). – Issues of modern algology. 1(19): 57–77 (In Russ.).
- Shtina E.A., Andreyeva V.M., Kuzyakina T.I. 1992. Zaseleniye vodoroslyami vulkanicheskikh substratov [Algae settlement of volcanic substrates]. – Bot. Zhurn. 77(8): 33–42 (In Russ.).
- Siver P.A., Hamilton P.B., Stachura-Suchoples, Kociolek, J.P. 2005. Diatoms of North America. The freshwater flora of Cape Cod. – Iconogr. Diatomol. 14: 1–463.
- Smol J.P., Stoermer E.F. 2010. The diatoms: applications for the environmental and earth sciences. Cambridge. 686 p.
- Stenina A.S. 2009. Diatomovyye vodorosli (Bacillariophyta) v ozerakh vostoka Bol'shezemel'skoy tundry [Diatoms (Bacillariophyta) in the lakes of the eastern Bolshezemelskaya tundra]. Syktyvkar. 176 p. (In Russ.).
- Takano S., Akaneya K., Watanabe T., Katano N. 2009. Diatoms from Akita Prefecture, northern part of Japan, part II – Diatoms from Toyokawa River. – Diatom. 25: 120–133. <https://doi.org/10.11464/diatom.25.120>
- Tanaka H., Kawanobe K., Mitsuhashi F., Nagumo T. 2018. Diatoms from district of Lake Oze, boundary of Gunma and Fukushima Prefectures. – Bulletin of the Nippon Dental University. General education. 47: 7–23.
<https://doi.org/10.14983/00000820>
- Van de Vijver B., Beyens L., Lange-Bertalot H. 2004. The genus *Stauroneis* in the Arctic and (Sub-) Antarctic Regions. – Bibl. Diatomol. 51: 1–317.
- Wetzel C.E., Ector L., Van de Vijver B., Compère P., Mann D.G. 2015. Morphology, typification and critical analysis of some ecologically important small naviculoid species (Bacillariophyta). – Fottea, Olomouc. 15(2): 203–234.
<https://doi.org/10.5507/fot.2015.020>
- Wu Y., Rao B., Wu P., Liu Y., Li G., Li D. 2013. Development of artificially induced biological soil crusts in fields and their effects on top soil. – Plant Soil. 370(1–2): 115–124. <https://doi.org/10.1007/s11104-013-1611-6>
- Yakubov V.V., Chernyagina O.A. 2004. Katalog flory Kamchatki (sosudistye rasteniya) [Catalogue of the flora of Kamchatka (vascular plants)]. Petropavlovsk-Kamchatsky. 165 p. (In Russ.).
- Yan L., Yawen F., Quanxi W. 2016. Newly recorded species of Achnanthidiaceae from Great Xingan Mountains. – Acta Botanica boreali – occidentalia sinica. 36(11): 2339–2345.
- Zakharikhina L.V., Litvinenko Y.S. 2010. Geochemical Specificity of Volcanic Soils of Kamchatka. – Eurasian Soil Sci. 43(4): 380–389.
<https://doi.org/10.1134/S1064229310040034>