

ВОПРОСЫ СОВРЕМЕННОЙ АЛЬГОЛОГИИ

algology.ru

**БЮЛЛЕТЕНЬ 2025
СПЕЦИАЛЬНЫЙ ВЫПУСК**

**Материалы
XIX Международной научной конференции диатомологов
«Диатомовые водоросли:
фундаментальные и прикладные исследования»,
посвященной 120-летию со дня рождения А.П. Жузе**

**Материалы XIX Международная научная конференция дБюллентениатомологов
«Диатомовые водоросли: фундаментальные и прикладные исследования»,
посвященная 120-летию со дня рождения А.П. Жузе**

Главный редактор д.б.н. А.Н. Камнев

Зам. главного редактора

д.б.н. Макаров М.В.

д.б.н. Соловченко А.Е.

д.б.н. Степаньян О.В.

к.б.н. Анисимова О.В.

к.б.н. Гололобова М.А.

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

Председатель

Матишов Г.Г. академик РАН, д.г.н. (Россия,
Ростов-на-Дону)

Зам. председателя

Макаров М.В. д.б.н. (Россия, Мурманск)

Егоров В.Н. академик РАН (Россия,
Севастополь)

Виноградова К.Л. д.б.н. (Россия, Санкт-
Петербург)

Волчков Ю.А. д.б.н. (Россия, Краснодар)

Глубоковский М.К. д.б.н. (Россия, Москва)

Зенова Г.М. д.б.н. (Россия, Москва)

Капков В.И. д.б.н. (Россия, Москва)

Клочкова Н.Г. д.б.н. (Россия, Петропавловск-
Камчатский)

Лобакова Е.С. д.б.н. (Россия, Москва)

Мокиевский В.О. д.б.н. (Россия, Москва)

Розенберг Г.С. д.б.н. (Россия, Тольятти)

Титлянов Э.А. д.б.н. (Россия, Владивосток)

Усов А.И. д.б.н. (Россия, Москва)

Яковлев А.С. д.б.н. (Россия, Москва)

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Анисимова О.В. к.б.н. (Россия, Москва)

Афанасьев Д.Ф. к.б.н. (Россия, Москва)

Билан М.И. к.х.н. (Россия, Москва)

Боровков А.Б. к.б.н. (Россия, Севастополь)

Вилкова О.Ю. к.б.н. (Россия, Москва)

Воденеева Е.Л. к.б.н. (Россия, Нижний Новгород)

Воскобойников Г.М. д.б.н. (Россия, Мурманск)

Гололобова М.А. к.б.н. (Россия, Москва)

Демидчик В.В. д.б.н. (Беларусь, Минск)

Дуленин А.А. д.б.н. (Россия, Хабаровск)

Камнев А.Н. д.б.н. (Россия, Москва)

Клочкова Т.А. д.б.н. (Россия, Петропавловск-
Камчатский)

Крупина М.В. к.б.н. (Россия, Москва)

Кураков А.В. д.б.н. (Россия, Москва)

Милячакова Н.А. к.б.н. (Россия, Севастополь)

Михайлова Т.А. к.б.н. (Россия, Санкт-Петербург)

Неврова Е.Л. д.б.н. (Россия, Севастополь)

Переладов М.В. к.б.н. (Россия, Севастополь)

Празукин А.В. д.б.н. (Россия, Севастополь)

Рябушко Л.А. д.б.н. (Россия, Севастополь)

Сапожников Ф.В. к.б.н. (Россия, Москва)

Силкин В.А. д.б.н. (Россия, Геленджик),

Соловченко А.Е. д.б.н. (Россия, Москва)

Степанова О.А. к.б.н. (Россия, Севастополь),

Степаньян О.В. д.б.н. (Россия, Ростов-на-Дону),

Суханова И.Н. к.б.н. (Россия, Москва),

Тренкеншу Р.П. к.б.н. (Россия, Севастополь)

Ответственные секретари

к.б.н. М.В. Крупина,

И.В. Стуколова

Технический специалист А.Н. Филатов

Журнал зарегистрирован в Федеральной службе по надзору
за соблюдением законодательства в сфере массовых
коммуникаций и охране культурного наследия РФ.
Свидетельство о регистрации
Эл № ФС 77-22222 от 1 ноября 2005 г.

Учредитель д.б.н. Камнев А.Н.

Над номером работали:

Стуколова И.В.

Юрцева И.А.

Обрезкова М.С.

ПОЛНАЯ ВЕРСИЯ ЖУРНАЛА – на сайте www.algology.ru

Секция 1.

Биология, морфология и систематика

Физиология питания и движение диатомовой водоросли *Amphora* sp.

The physiology of nutrition and movement of diatoms *Amphora* sp.

Андреев В.П.

Vladimir P. Andreev

ФГБВОУ ВО «Военно-медицинская академия имени С.М. Кирова»
(Санкт-Петербург, Россия)

Изучена способность клеток бактериально чистой культуры *Amphora* sp., выделенной из бентоса Белого моря, к активному движению в различных условиях питания. Установлена возможность использовать фруктозу в качестве источника энергии, обеспечивающего функцию движения в темноте. На свету фруктоза не способна стимулировать рост числа клеток при частичном подавлении фотосинтеза. В этих условиях происходят изменения в пигментном составе, отражающие корректировку баланса между потоками энергии и электронов, направленные на снижение окислительной деструкции тилакоидных мембран, характерные для фотоавтотрофных условий. Показана возможность использования *Amphora* sp. в токсикологических исследованиях, посвященных выявлению присутствия в морской воде веществ, обладающих гербицидным действием и избирательно подавляющих фотосинтетический электронный транспорт от фотосистемы II. Способность к движению рассматривается как важный показатель состояния водорослей при оценке состояния среды.

Ключевые слова: *Amphora* sp.; движение диатомовых водорослей; типы питания водорослей; диурон; биотестирование морской воды

Для биотестирования высокоминерализованных и морских вод широко применяются морские диатомовые водоросли, такие как *Phaeodactylon tricornutum* Bohlin, 1897. Ведущими показателями, используемыми для косвенной оценки качества воды, являются параметры роста диатомей (Стельмах, Ковригина, 2021). Однако рост многих диатомей, особенно видов с крупным размером клеток, таких как *Pseudosolenia calcar-avis* (Schultze) B.G. Sundström, 1858, часто доминирующей в черноморском фитопланктоне, сильно зависит от содержания биогенных элементов в среде и останавливается по мере их исчерпания. При этом на фоне относительно постоянной численности клеток их жизнеспособность сохраняется (Стельмах, 2022). Эти факты побуждают к поиску показателей, альтернативных параметрам роста. Ценным качеством пеннатных диатомей, позволяющим их использовать в токсикологических исследованиях, является способность к движению, по наличию которого можно делать вывод о сохранении жизнеспособности водорослей в тех или иных условиях. Структурой, обеспечивающей поступательность движения многих пеннатных диатомей, является шов – узкая продольная щель на поверхности кремнеземной створки (Лях, Сапожников, 2024). Клетка водоросли перемещается путем скольжения

по субстрату за счет выделения через шов органического вещества, взаимодействующего с опорной поверхностью и гликопротеновой слизи, отрабатывающей эффект смазки (Bondoc-Naumovitz, Cohn, 2021; Poulsen et al., 2022). К числу объектов, обладающих способностью к данному типу движения, относятся многочисленные виды рода *Amphora* Ehr., одного из крупнейших родов этой группы водорослей, представители которого встречаются как в морских, так и в пресных водах.

Цель работы – изучение физиологии питания и движения шовных пеннатных диатомей на предмет их использования в виде тест-объектов для оценки качества морской воды и присутствия в ней токсических веществ, обладающих гербицидным действием.

Для достижения этой цели было необходимо: 1) выделить из природной среды бактериально чистую культуру диатомовой водоросли и определить ее таксономическую принадлежность; 2) оценить способность клеток водорослей к движению как на минеральных средах, так и на среде с добавлением органического субстрата (фруктоза) на свету и в темноте; 3) изучить влияние на пигментный состав водоросли гербицида диурина, примененного в сублетальной концентрации.

Для выделения культуры морских диатомовых водорослей в период отлива соскабливали плёнки обрастания камней средней литорали губы Чупа Кандалакшского залива Белого моря. Определение таксономической принадлежности осуществлено до рода (Диатомовые водоросли СССР, 1974). Накопительную культуру *Amphora* sp. получали посредством инокуляции собранным материалом природной морской воды с добавками Гольдберга. Получение бактериально чистой культуры проводили на стерильной агаризованной среде, содержащей искусственную морскую воду, путём многократных пересевов с отбором материала петлей на периферии растущей колонии. Принцип очистки основан на способности данного рода водорослей к скользящему движению по субстрату, в результате которого значительная часть клеток удаляется от первичного очага инокуляции, и, следовательно, от привнесённых в момент посева сопутствующих микроорганизмов, не способных к движению. Отбор материала для каждого очередного посева проводили до того, как произойдёт зарастание всей поверхности агар-агара.

Поскольку для активного движения клеток в любых условиях необходим источник энергии, изучение функции движения сопряжено с решением проблемы питания.

Изучали влияние фруктозы (0,3%) на рост *Amphora* на свету и в темноте. После 14 суток роста на свету фруктоза не стимулирует прироста числа клеток по отношению к варианту без внесения сахара. Очевидно, что в этих условиях реализуется фотоавтотрофный тип питания, а иные механизмы энергообеспечения не задействуются.

В темноте на минеральной среде фотоавтотрофный рост невозможен, в связи с чем в конце указанного периода наблюдали лизис клеток водорослей. После двух недель инкубации водорослей с фруктозой признаков лизиса не было. Напротив, клетки демонстрировали способность к движению, что может говорить об определенных способностях *Amphora* к хемогетеротрофному питанию и использованию сахара в качестве источника энергии.

Во второй серии опытов оценивали влияние диурина ($2,5 \times 10^{-7}$ М) – ингибитор транспорта электронов от фотосистемы II – на рост числа клеток и пигментный состав водорослей. После недельного выращивания число клеток *Amphora* sp. в варианте с гербицидом было в 2 раза меньше контрольного, что соответствует степени подавления диурином фотосинтеза. За это время содержание хлорофилла «а» в расчете на 10^6 клеток в варианте с ингибитором несколько увеличилось по сравнению с контролем. Установлено также, что в присутствии диурина увеличивалось относительное содержание каротиноидов. На разностных спектрах поглощения (О-К)

выявлены пики в районе 450–460 нм, что говорит об актуализации фотопротекторной функции в присутствии ингибитора. Совокупность наблюдаемых изменений в пигментном составе типична для последствий действия различных факторов, вызывающих подавление фотосинтетического электронного транспорта и торможение цикла Кальвина, наблюдаемых у водорослей различных отделов. При этом в клетках активируется ряд фотозащитных и регуляторных механизмов, направленных на корректировку баланса между потоками энергии и электронов, и на снижение окислительной деструкции тилакоидных мембран, среди которых: 1) комплексная реорганизация ФС 2, включающая множественные пути функциональной инактивации и безопасной диссипации энергии; 2) значительное перераспределение энергии между фотосистемами; 3) перенаправление потоков электронного транспорта в хлоропласте на альтернативные пути (Антал, 2018). Напротив, относительное содержание хлорофилла «с» в варианте с диуроном снижалось. Вероятно, это объясняется тем, что дополнительный хлорофилл у *Amphora* функционально не тождественен хлорофиллу «b» зеленых и эвгленовых водорослей и его роль в адаптации к ингибитору фотосинтетического транспорта электронов иная.

Проведенное исследование показало, что *Amphora* sp. может быть использована в качестве тест-объекта для оценки качества морской воды и присутствия в ней токсических веществ, обладающих гербицидным действием. Установлено также, что способность водорослей к движению является важным показателем сохранения жизнеспособности клеток, который, наряду с параметрами роста, может быть использован в токсикологических исследованиях.

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

Список литературы

1. Антал Т.К. Механизмы адаптации фотосинтетического аппарата к недостатку основных элементов минерального питания: Автореф. дис. докт. биол. наук. – Москва, 2018. – 47 с.
2. Диатомовые водоросли СССР (ископаемые и современные). Т.1. Отв. ред. Прошкина-Лавренко А.И. – Ленинград: Наука, 1974. – 403 с.
3. Лях А.М., Сапожников Ф.В. Имитационная модель прикрепленно-подвижных диатомовых водорослей // Системы контроля окружающей среды. 2024. № 2 (56). С. 117–125. DOI: <http://doi.org/10.33075/2220-5861-2024-2-117-125>
4. Стельмах Л.В. Особенности структурных и функциональных характеристик диатомовой водоросли *Pseudosolenia calcar-avis* // Биология внутренних вод. 2022. № 3. С. 300–309. DOI: <http://doi.org/10.31857/S0320965222030184>
5. Стельмах Л.В., Ковригина Н.П. Использование морских микроводорослей для биотестирования вод севавтопольских бухт // Системы контроля окружающей среды. 2021. № 1 (43). С. 35–42. DOI: <http://doi.org/10.33075/2220-5861-2021-1-35-42>
6. Bondoc-Naumovitz K.G., Cohn S.A. Motility of biofilm-forming benthic diatoms // Cohn S., Manoylov K., Gordon R (ed-s.). Diatom gliding motility. Scrivener Publishing. – University of Exeter: Publishers, 2021. – P. 77–109. DOI: <http://doi.org/10.1002/9781119526483.ch4>
7. Poulsen N., Hennig H., Geyer V.F., Diez S., Wetherbee R., Fitz-Gibbon S., Pellegrini M., Kroger N. On the role of cell surface associated, mucin-like glycoproteins in the pennate diatom *Craspedostauros australis* (Bacillariophyceae) // Journal of Phycology. 2022. V. 59, № 1. P. 54–69. DOI: <https://doi.org/10.1111/jpy.13287>

Статья поступила в редакцию 18.06.2025; поступила после доработки 21.07.2025; принята к публикации 28.08.2025

Сведения об авторе

Андреев Владимир Павлович – к.б.н., доцент, с.н.с., Военно-медицинская академия им. С.М. Кирова, Санкт-Петербург, Россия (Kirov Military Medical Academy of the Ministry of Defense of the Russian Federation, Russia, St. Petersburg); vpandreev@mail.ru; ORCID – <https://orcid.org/0000-0002-9072-2845>; SPIN-код 3098-4549.

Корреспондентский адрес: Россия, 194044, Санкт-Петербург, ул. Академика Лебедева, д. 6, ВМА им. С. М. Кирова, тел. (812) 292-32-06.

The physiology of nutrition and movement of diatoms *Amphora* sp.

Vladimir P. Andreev

Kirov Military Medical Academy of the Ministry of Defense of the Russian Federation (Russia, St. Petersburg)

The ability of cells of a bacteriologically pure culture of *Amphora* sp. isolated from benthos of the White Sea to actively move in various nutrient conditions was studied. The possibility of using fructose as an energy source providing the function of movement in the dark has been established. In the light, fructose is not able to stimulate cell growth. Under these conditions, changes occur in the pigment composition, reflecting an adjustment in the balance between energy and electron fluxes, aimed at reducing the oxidative degradation of thylakoid membranes, characteristic of photoautotrophic conditions. The possibility of using *Amphora* sp. is shown in toxicological studies devoted to the detection of the presence in seawater of substances with herbicidal action and selectively suppressing photosynthetic electronic transport from photosystem II. The ability to move is considered as an important indicator of the state of algae when assessing the state of the environment.

Key words: *Amphora* sp.; movement of diatoms; types of algae nutrition; diuron; biotesting of seawater

References

1. Antal T.K. Mechanisms of adaptation of the photosynthetic apparatus to the lack of basic elements of mineral nutrition: PhD Dissertation abstract. Moscow, 2018. 47 p. (In Russ.)
2. Bondoc-Naumovitz K.G., Cohn S.A. Motility of biofilm-forming benthic diatoms. In: Cohn S., Manoylov K., Gordon R (Eds.). Diatom gliding motility. Scrivener Publishing. University of Exeter, Publishers, 2021. P. 77–109. DOI: <http://doi.org/10.1002/9781119526483.ch4>
3. Diatoms of the USSR (fossil and modern). V.I. Proshkina-Lavrenko A.I. (Ed.) Nauka Publ., Leningrad, 1974. 403 p. (In Russ.)
4. Lyakh A.M., Sapozhnikov P.V. An imitation model of attached-mobile diatom microalgae. *Monitoring systems of environment*. 2024. N 2 (56). P. 117–125. DOI: <http://doi.org/10.33075/2220-5861-2024-2-117-125>. (In Russ.)
5. Poulsen N., Hennig H., Geyer V.F., Diez S., Wetherbee R., Fitz-Gibbon S., Pellegrini M., Kroger N. On the role of cell surface associated, mucin-like glycoproteins in the pennate diatom *Craspedostauros australis* (Bacillariophyceae). *Journal of Phycology*. 2022. V.59, №1. P. 54–69. DOI: <http://doi.org/https://doi.org/10.1111/jpy.13287>
6. Stelmakh L.V. Features of the structural and functional characteristics of the diatom *Pseudosolenia calcar-avis*. *Biologiya vnutrennikh vod*. 2022. N 3. P. 300–309. DOI: <http://doi.org/10.31857/S0320965222030184> (In Russ.)
7. Stelmakh L.V., Kovrigina N.P. The use of marine microalgae for biotesting the waters of Sevastopol Bays. *Monitoring systems of environment*. 2021. № 1 (43). P. 35–42. DOI: <http://doi.org/10.33075/2220-5861-2021-1-35-42> (In Russ.)

ССЫЛКА НА СТАТЬЮ:

Андреев В.П. Физиология питания и движение диатомовой водоросли *Amphora* sp. // Вопросы современной альгологии. 2025. № 1 (37). P. 4–7. URL: <http://algology.ru/1771>

Andreev V.P. The physiology of nutrition and movement of diatoms *Amphora* sp. *Voprosy sovremennoi algologii (Issues of modern algology)*. 2025. № 1 (37). P. 4–7. URL: <http://algology.ru/1771>

DOI – [https://doi.org/10.33624/2311-0147-2025-1\(37\)-4-7](https://doi.org/10.33624/2311-0147-2025-1(37)-4-7); EDN – DOGQXV

Особенности жизненного цикла некоторых видов *Luticola* D.G. Mann (Bacillariophyceae)

The life cycle features of some species of *Luticola* D.G. Mann (Bacillariophyceae)

Багмет В.Б., Никулин А.Ю., Никулин В.Ю., Абдуллин Ш.Р.

Veronika B. Bagmet, Arthur Yu. Nikulin, Vyacheslav Yu. Nikulin,
Shamil R. Abdullin

ФНЦ Биоразнообразие наземной биоты Восточной Азии ДВО РАН (Владивосток, Россия)

По собственным и литературным данным проанализированы жизненный цикл и половое воспроизведение шести видов рода *Luticola* из вневодных местообитаний, включая архитектурные сооружения г. Владивостока (*L. dismutica*, *L. ectorii*, *L. permutoicoides*, *L. poulickovae*, *L. sparsipunctata* и *L. tenera*), а также выделенного из почвы Приморского края и исследованного с использованием комплексного подхода потенциально нового вида *Luticola* sp. Выявлено, что все изученные таксоны гомоталличны, при этом у них отмечены самые разнообразные типы полового процесса (цис-, транс-анизогамия, различные варианты изогамии). Возможно, это связано с высокой изменчивостью условий обитания во вневодных экосистемах.

Ключевые слова: диатомовые водоросли; *Luticola*; жизненный цикл; гомоталлизм

Диатомеи – крупнейшая группа микроскопических водорослей (Guiry, Guiry, 2025). Они имеют сложный жизненный цикл, в результате которого при вегетативном делении размеры створок постепенно уменьшаются (правило Макдональда-Пфитцера), что в итоге может привести к гибели всей популяции. Восстановление изначальных размеров створок возможно, как правило, в результате полового процесса, и поэтому для большинства диатомей половое воспроизведение – обязательный этап жизненного цикла (Давидович, Давидович, 2022). Знание особенностей полового воспроизведения позволяет более точно идентифицировать виды этих организмов (Mann et al., 2021; Bagmet et al., 2023). К тому же, без учета особенностей жизненного цикла диатомей практически невозможно осуществлять их промышленное культивирование для получения различных полезных веществ (Davidovich et al., 2015). На сегодняшний день жизненный цикл изучен лишь у нескольких процентов валидно описанных видов диатомей (Давидович, Давидович, 2022). В связи с этим получение данных о биологии воспроизведения диатомовых, относящихся как к конкретным видам, так и группе в целом, является актуальной задачей.

Род *Luticola* Mann на сегодняшний день насчитывает 274 вида (Guiry, Guiry, 2025). Однако половое воспроизведение и жизненный цикл были изучены лишь у

шести представителей этого рода из вневодных местообитаний (*L. dismutica* (Hustedt) D.G.Mann (Pouličková, 2008), *L. permuticoides* Metzeltin & Lange-Bertalot (Bagmet et al., 2024), *L. poulickovae* Levkov, Metzeltin & A.Pavlov (Pouličková, Mann, 2019), *L. tenera* Bagmet, Abdullin, A.Y.Nikulin, V.Y.Nikulin & A.A.Gontcharov; Bagmet et al., 2023), в том числе выделенных с архитектурных сооружений г. Владивостока (*L. ectorii* Levkov, Metzeltin & A.Pavlov и *L. sparsipunctata* Levkov, Metzeltin & A.Pavlov; Bagmet et al., 2024).

При изучении разнообразия водорослей вневодных местообитаний в зоне умеренного муссонного климата в Приморском крае (Россия) из почвы был выделен и исследован с использованием комплексного подхода один клон навикулоидных диатомовых водорослей. Филогенетический анализ, основанный на данных хлоропластного гена *rbcL*, показал принадлежность нового клона к роду *Luticola*, хотя он и отличался от других видов. Клон имеет морфологические признаки, типичные для *Luticola*, но отличается от схожих видов минимальными значениями длины створок, минимальным количеством штрихов в 10 мкм и минимальным числом ареол в штрихе. Поэтому можно предположить, что выделенный клон представляет новый вид *Luticola* sp. Было показано, что он гомоталличен и размножается посредством как цис-анизогамии (IA2a по Гайтлеру; Geitler, 1932), так и транс-анизогамии, проходящей с перегруппировкой гамет и апикальным контактом гаметангиев (IA1a по Гайтлеру).

Все шесть изученных видов рода *Luticola*, а также клон *Luticola* sp. являются гомоталличными. На сегодняшний день у пяти видов (*L. ectorii*, *L. dismutica*, *L. poulickovae*, *L. sparsipunctata* и *L. tenera*) отмечена поведенческая цис-анизогамия (IA2a по Гайтлеру), кроме этого, у *L. tenera* выявлена изогамия (IC по Гайтлеру), у *L. permuticoides* – другой тип изогамии (IB2b по Гайтлеру). На примере *L. tenera* (Bagmet et al., 2023) наблюдается переход от нормального типа полового процесса, при котором в гаметангиальной клетке формируется две гаметы, к редуцированному, когда в гаметангиальной клетке также образуется две гаметы, но одна потом погибает (Давидович, Давидович, 2022). У *L. permuticoides* всегда образуется только одна гамета в гаметангии. У потенциально нового вида *Luticola* sp. также отмечено два типа полового воспроизведения: цис- и транс-анизогамия.

Таким образом, выявлено, что все исследованные таксоны рода *Luticola* являются гомоталличными. Но при этом у них отмечены самые разнообразные типы полового процесса. Возможно, это связано с высокой изменчивостью условий обитания во вневодных экосистемах.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-24-00224, <https://rscf.ru/project/24-24-00224/>.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов, требующего раскрытия в данной статье.

Список литературы

1. Давидович Н.А., Давидович О.И. Репродуктивная биология диатомовых водорослей. – Симферополь: ИТ «АРИАЛ», 2022. – 196 с.
2. Bagmet V.B., Abdullin Sh.R., Nikulin A.Yu., Nikulin V.Yu., Gontcharov A.A. *Luticola tenera* sp. nov. (Diadesmidaceae, Naviculales) – a new diatom from the soil of the State Nature Reserve “Bastak” (Jewish Autonomous Region, Russia) // Life (Basel). 2023. V13, № 9. P.1937. DOI: <https://doi.org/10.3390/life13091937>
3. Bagmet V.B., Nikulin A.Y., Nikulin V.Y., Gontcharov A.A., Abdullin S.R. Morphology, molecular genetics and features of the life cycle of three species of *Luticola* D.G. Mann (Bacillariophyceae) from the Russian Far East // Russian Journal of Developmental Biology. 2024. V55, № 4. P.171–185. DOI: <https://doi.org/10.1134/S1062360424700164>

4. Davidovich N.A., Davidovich O.I., Podunai Yu.A., Shorenko K.I., Kulikovskii M.S. Reproductive properties of diatoms significant for their cultivation and biotechnology // Russ. J. Plant Physiol. 2015. V.62, №2. P. 153–160. DOI: <https://doi.org/10.1134/s1021443715020041>
5. Geitler L. Der Formwechsel der pennaten Diatomeen (Kieselalgen) // Arch. Protistenkd. 1932. V. 78. P. 1–226.
6. Guiry M.D., Guiry G.M. AlgaeBase. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway, 2025. <http://www.algaebase.org> (дата обращения: 19.05.2025).
7. Mann D.G., Trobajo R., Sato Sh., Li Ch., Witkowski A., Rimet F., Ashworth M.P., Hollands R.M., Theriot E.C. Ripe for reassessment: a synthesis of available molecular data for the speciose diatom family Bacillariaceae // Mol. Phylogenet. Evol. 2021. V.158. ID 106985. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ympev.2020.106985>
8. Pouličková A. Morphology, cytology and sexual reproduction in the aerophytic cave diatom *Luticola dismutica* (Bacillariophyceae) // Preslia. 2008. V.80. P. 87–99.
9. Pouličková A., Mann, D.G. Diatom sexual reproduction and life cycles / Seckbach J., Gordon R. (ed.). Diatoms: fundamentals and applications. – Hoboken: Wiley, 2019. – P. 245–272.

Статья поступила в редакцию 18.06.2025; поступила после доработки 21.07.2025; принята к публикации 28.08.2025

Сведения об авторах

Багмет Вероника Борисовна – к.б.н., с.н.с., ФНЦ Биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии ДВО РАН, Россия, Владивосток (Federal Scientific Center of the East Asia Terrestrial Biodiversity, Far Eastern Branch, RAS, Russia, Vladivostok); chara1989@yandex.ru; ORCID – <https://orcid.org/0000-0002-1193-7689>; SPIN-код 4504-4143.

Никулин Артур Юрьевич – к.б.н., с.н.с., ФНЦ Биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии ДВО РАН, Россия, Владивосток (Federal Scientific Center of the East Asia Terrestrial Biodiversity, Far Eastern Branch, RAS, Russia, Vladivostok); artyrozz@mail.ru; ORCID – <https://orcid.org/0000-0001-6113-2136>; SPIN-код 7072-0642.

Никулин Вячеслав Юрьевич – к.б.н., с.н.с., ФНЦ Биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии ДВО РАН, Россия, Владивосток (Federal Scientific Center of the East Asia Terrestrial Biodiversity, Far Eastern Branch, RAS, Russia, Vladivostok); nikulinyacheslav@gmail.com; ORCID – <https://orcid.org/0000-0002-6643-4325>; SPIN-код 3656-1890.

Абдуллин Шамиль Раисович – д.б.н., г.н.с., ФНЦ Биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии ДВО РАН, Россия, Владивосток (Federal Scientific Center of the East Asia Terrestrial Biodiversity, Far Eastern Branch, RAS, Russia, Vladivostok); crplant@mail.ru; ORCID – <https://orcid.org/0000-0002-6946-2321>; SPIN-код 2665-0839.

Корреспондентский адрес: Россия, 690022, Владивосток, пр-т 100-летия Владивостока, д. 159, ФНЦ Биоразнообразия ДВО РАН, тел. (423) 2-310-410.

The life cycle features of some species of *Luticola* D.G. Mann (Bacillariophyceae)

Veronika B. Bagmet, Arthur Yu. Nikulin, Vyacheslav Yu. Nikulin,
Shamil R. Abdullin

FSC of the East Asia Terrestrial Biodiversity, Far Eastern Branch, RAS (Russia, Vladivostok)

The life cycle and sexual reproduction of six species of the genus *Luticola* from non-aquatic habitats, including architectural structures of Vladivostok city (*L. dismutica*, *L. ectorii*, *L. permuticoides*, *L. poulickovae*, *L. sparsipunctata* and *L. tenera*), as well as a potentially new species *Luticola* sp. isolated from the soil of Primorsky Territory and studied with an integrative approach. The analysis combines our own and literature data. It was revealed that all the studied taxa are homothallic, exhibiting a diverse scope of sexual reproduction modes, including cis-, trans-anisogamy, and various types of isogamy. This phenomenon may be attributed to the considerable variability of habitat conditions in non-aquatic ecosystems.

Key words: diatoms; *Luticola*; life cycle; homothallism

References

1. Bagmet V.B., Abdullin Sh.R., Nikulin A.Yu., Nikulin V.Yu. and Gontcharov A.A. *Luticola tenera* sp. nov. (Diadesmidaceae, Naviculales) – a new diatom from the soil of the State Nature Reserve “Bastak” (Jewish Autonomous Region, Russia). *Life (Basel)*. 2023. V.13, №9. ID 1937. DOI: <https://doi.org/10.3390/life13091937>
2. Bagmet V.B., Nikulin A.Y., Nikulin V.Y., Gontcharov A.A. and Abdullin S.R. Morphology, molecular genetics and features of the life cycle of three species of *Luticola* D.G. Mann (Bacillariophyceae) from the Russian Far East. *Russian Journal of Developmental Biology*. 2024. V.55, №4. P. 171–185. DOI: <https://doi.org/10.1134/S1062360424700164>
3. Davidovich N.A., Davidovich O.I. Reproductive Biology of Diatoms. PP «ARIAL» LLC, Simferopol, 2022. 196 p. (In Russ.)
4. Davidovich N.A., Davidovich O.I., Podunai Yu.A., Shorenko K.I. and Kulikovskii M.S. Reproductive properties of diatoms significant for their cultivation and biotechnology. *Russ. J. Plant Physiol.* 2015. V.62, №2. P. 153–160. DOI: <https://doi.org/10.1134/s1021443715020041>
5. Geitler L. Der Formwechsel der pennaten Diatomeen (Kieselalgen). *Arch. Protistenkd.* 1932. V.78. P. 1–226.
6. Guiry M.D., Guiry G.M. AlgaeBase. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway, 2025. <http://www.algaebase.org> (date: 19.05.2025)
7. Mann D.G., Trobajo R., Sato Sh., Li Ch., Witkowski A., Rimet F., Ashworth M.P., Hollands R.M. and Theriot E.C. Ripe for reassessment: a synthesis of available molecular data for the speciose diatom family Bacillariaceae. *Mol. Phylogenet. Evol.* 2021. V.158. ID 106985. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ympev.2020.106985>
8. Pouličková A. Morphology, cytology and sexual reproduction in the aerophytic cave diatom *Luticola dismutica* (Bacillariophyceae). *Preslia*. 2008. V.80. P. 87–99.
9. Pouličková A., Mann, D.G. Diatom sexual reproduction and life cycles. In: Seckbach J., Gordon R. (Eds.). *Diatoms: fundamentals and applications*. Wiley, Hoboken, 2019. P. 245–272.

ССЫЛКА НА СТАТЬЮ:

Багмет В.Б., Никулин А.Ю., Никулин В.Ю., Абдуллин Ш.Р. Особенности жизненного цикла некоторых видов *Luticola* D.G. Mann (Bacillariophyceae) // Вопросы современной альгологии. 2025. № 1 (37). P. 8–11. URL: <http://algology.ru/2113>

Bagmet V.B., Nikulin A.Yu., Nikulin V.Yu., Abdullin Sh.R. The life cycle features of some species of *Luticola* D.G. Mann (Bacillariophyceae). *Voprosy sovremennoi algologii (Issues of modern algology)*. 2025. № 1 (37). P. 8–11. URL: <http://algology.ru/2113>

DOI – [https://doi.org/10.33624/2311-0147-2025-1\(37\)-8-11](https://doi.org/10.33624/2311-0147-2025-1(37)-8-11); EDN – AMYZSV

**Филогения, систематика и биогеография рода
Decussiphycus Guiry & K.Gandhi 2019
(Bacillariophyceae, Mastogloiales)**

**Phylogeny, systematics and biogeography of the genus
Decussiphycus Guiry & K.Gandhi 2019
(Bacillariophyceae, Mastogloiales)**

**Глущенко А.М.¹, Миронов А.В.^{1,2,3}, Кезля Е.М.¹, Мальцев Е.И.¹,
Юрманов А.А.¹, Лю Я.³, Куликовский М.С.¹**

**Anton M. Glushchenko, Andrei V. Mironov, Elena M. Kezlya,
Yevhen I. Maltsev, Anton A. Iurmanov, Yan Liu, Maxim S. Kulikovskiy**

¹Институт физиологии растений имени К.А. Тимирязева РАН – ИФР РАН
(Москва, Россия)

²Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,
биологический факультет (Москва, Россия)

³Колледж естественных наук и технологий, Харбинский педагогический университет
(Харбин, Китай)

В ходе изучения пресноводных экосистем провинции Хайннань (Китай) был обнаружен новый для науки вид рода *Decussiphycus*. Описание нового вида было основано на результатах световой, сканирующей электронной микроскопии и молекулярно-генетического анализа на основе генов *rbcL* и V4 18S rDNA. Молекулярно-генетические данные были впервые получены для представителя этого рода. Было обсуждено филогенетическое положение рода и его связь с ближайшими родами – *Aneumastus* и *Mastogloia* в составе порядка Mastogloiales. Обсуждена биогеография видов рода *Decussiphycus*.

Ключевые слова: диатомовые водоросли; морфология; молекулярное исследование; 18S rDNA; *rbcL*; Китай, биогеография

Род *Decussiphycus* (прежнее название – *Decussata*) был выделен из группы *Navicula placenta* (Patrick, 1959) как подрод *Decussata* в составе рода *Navicula*. Позже, Lange-Bertalot (2000) повысил его статус до самостоятельного рода *Decussata*. Edlund et al. (2006) уточнили описание *Decussata*, сосредоточившись как на признаках организации и расположения хлоропласта, так и на морфологических признаках створок.

В 2019 году род был переописан, ему было дано название *Decussiphycus*, так как предыдущее название рода (*Decussata*) является техническим термином, что было сделано в соответствии со статьёй 20.2 Шэньчжэньского кодекса, которая гласит, что название

рода не может совпадать с латинским техническим термином, используемым в морфологии в момент публикации (Turland et al., 2018).

Род *Decussiphycus* включает виды с двумя хлоропластами сложной конфигурации (Н-образные с пояска (каждый с четырьмя вытянутыми на вершине лопастями) около каждого полюса. Створки плоские, прямоугольные с пояска, имеют невысокий загиб, круглое центральное поле, нитевидный шов, каплевидные центральные и разнонаправленные дистальные концы шва. Наиболее примечательной особенностью рода является перекрестное расположение штрихов (Edlund et al., 2006).

Материалом послужил образец биоплёнки диатомовых водорослей, собранной из безымянного горного ручья на склоне горы Учжишань, провинция Хайнань, Китай.

Выделение видов в культуру, приготовление постоянных препаратов, экстракция ДНК, амплификация и построение филогенетических деревьев проводили общепринятыми методами (Glushchenko et al., 2022). Световую микроскопию проводили при помощи микроскопа Zeiss Axio Scope A1 с иммерсионным объективом 100x (н.а. 1,4), метод ДИК. Для сканирующей электронной микроскопии использовали микроскоп TESCAN Vega III.

Новый вид, названный *Decussiphycus sinensis* Glushchenko, Maltsev, Mironov, Liu & Kulikovskiy in Mironov et al. (2025), имеет все основные признаки рода *Decussiphycus*: форма и расположение хлоропластов, устройство шовной системы, расположение штрихов и ареол, устройство порового аппарата и поясковых ободков. Вид отличается от близких таксонов линейно-эллиптической формой створок и широко закруглёнными концами.

До настоящего времени точное филогенетическое положение рода *Decussiphycus* было неясным из-за сложной морфологии и, что наиболее важно, отсутствия молекулярно-генетических данных. В наш молекулярно-генетический анализ были включены представители разных родов, относимых к порядку Mastogloiales. Результаты свидетельствуют о правильности отнесения рода к порядку Mastogloiales. Эту идею в своё время высказал Edlund et al. (2006) на основе анализа формы и расположения хлоропласта, а также ультраструктуры видов *Decussiphycus*. Три рода порядка – *Aneumastus*, *Mastogloia* и *Decussiphycus* образуют независимую монофилетическую кладу с высокой статистической поддержкой (PP = 0,98). *Decussiphycus sinensis* образует отдельную ветвь как базальный таксон внутри клады.

Decussiphycus – небольшой род, на настоящий момент включающий в себя четыре вида. Два встречаются в Голарктике, в олиготрофных водоёмах с низкой минерализацией, часто предпочитают холодноводные экосистемы, ручьи, во мхах, особенно в сфагнуме. Ещё два обитают в Восточной и Юго-Восточной Азии. Виды не достигают высокого обилия в природных образцах.

Авторы благодарят старшего научного сотрудника Р.А. Ракитова (кабинет приборной аналитики Палеонтологического института им. А.А. Борисяка РАН, ПИН РАН) за помощь в работе на сканирующем электронном микроскопе.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (24-14-00165, <https://rscf.ru/project/24-14-00165/>, дата обращения 31.05.2025).

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов, требующего раскрытия в данной статье.

Список литературы

1. Edlund M.B., Brant L.A., Levkov Z., Nakov T. An emended description of *Decussata* (Patrick) Lange-Bertalot & Metzeltin that includes protoplast organization and detailed valve and cingulum ultrastructure // Diatom Research. 2006. V.21(2). P. 269–280. DOI: <https://doi.org/10.1080/0269249X.2006.9705669>

2. Glushchenko A., Kezlya E., Maltsev Y., Genkal S., Kociolek J.P., Kulikovskiy M. Description of the Soil Diatom *Sellaphora terrestris* sp. nov. (Bacillariophyceae, Sellaphoraceae) from Vietnam, with Remarks on the Phylogeny and Taxonomy of *Sellaphora* and Systematic Position of *Microcostatus* // Plants. 2022. V.11. P. 2148. DOI: <https://dx.doi.org/10.3390/plants11162148>
3. Lange-Bertalot H. Transfer to the generic rank of *Decussata* Patrick as a subgenus of *Navicula* Bory // Iconographia Diatomologica. 2000. V.9. P. 670–673.
4. Meister F. Kieselalgen aus Asien. – Berlin: Verlag von Gebrüder Borntraeger, 1932. – 56 s.
5. Mironov A., Glushchenko A., Kezlya E., Maltsev Y., Iurmanov A., Liu Y., Kulikovskiy M. *Decussiphycus sinensis* sp. nov. (Bacillariophyceae, Mastogloiales) – a new species described from China, with comments on phylogenetic position of the genus // PhytoKeys. 2025. V.254. P. 1–19. DOI: <https://doi.org/10.3897/phytokeys.254.142654>
6. Patrick R.M. New species and nomenclatural changes in the genus *Navicula* (Bacillariophyceae) // Proceedings of the Academy of Natural Sciences of Philadelphia. 1959. V.111. P. 91–108.
7. Turland N.J. (Ed.) International Code of Nomenclature for algae, fungi, and plants (Shenzhen Code) adopted by the Nineteenth International Botanical Congress Shenzhen, China, July 2017. – Glashütten, Koeltz botanical books, 2018. – 253 p. DOI: <https://doi.org/10.12705/Code.2018>

Статья поступила в редакцию 18.06.2025; поступила после доработки 24.07.2025; принята к публикации 28.08.2025

Сведения об авторах

Глушченко Антон Михайлович – к.б.н., в.н.с., Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН (ИФР РАН), Россия, Москва (Timiryazev Institute of Plant Physiology, RAS, Russia, Moscow); chelovek91_91@mail.ru; ORCID – <https://orcid.org/0000-0002-3876-3455>; SPIN-код 1506-0119.

Миронов Андрей Витальевич – м.н.с., Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН (ИФР РАН), Россия, Москва (Timiryazev Institute of Plant Physiology, RAS, Russia, Moscow); Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, биологический факультет, Москва, Россия (Lomonosov Moscow State University, Russia, Moscow); Колледж естественных наук и технологий, Харбинский педагогический университет, Китай, Харбин (College of Science and Technology, Harbin Normal University, China, Harbin); diatomironov@yandex.ru; ORCID – <https://orcid.org/0000-0001-9936-0652>; SPIN-код 6772-3614.

Кезля Елена Михайловна – к.б.н., с.н.с., Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН (ИФР РАН), Россия, Москва (Timiryazev Institute of Plant Physiology, RAS, Russia, Moscow); melosira@mail.ru; ORCID – <https://orcid.org/0000-0002-5263-9338>; SPIN-код 3196-8240.

Мальцев Евгений Иванович – д.б.н., в.н.с., Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН (ИФР РАН), Россия, Москва (Timiryazev Institute of Plant Physiology, RAS, Russia, Moscow); maltsev.ye@yandex.ru; ORCID – <https://orcid.org/0000-0003-4710-319X>; SPIN-код 9410-6478.

Юрманов Антон Алексеевич – к.б.н., с.н.с., Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН (ИФР РАН), Россия, Москва (Timiryazev Institute of Plant Physiology, RAS, Russia, Moscow); yurmanov-anton.ya.ru@yandex.ru; ORCID – <https://orcid.org/0000-0002-0270-8737>; SPIN-код 1337-5656.

Лю Ян – профессор, Колледж естественных наук и технологий, Харбинский педагогический университет, Китай, Харбин (College of Science and Technology, Harbin Normal University, China, Harbin); ORCID – <https://orcid.org/0000-0001-8556-5040>.

Куликовский Максим Сергеевич – д.б.н., г.н.с., Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН (ИФР РАН), Россия, Москва (Timiryazev Institute of Plant Physiology, RAS, Russia, Moscow); maх-kulikovsky@yandex.ru; ORCID – <https://orcid.org/0000-0003-0999-9669>; SPIN-код 4170-2884.

Корреспондентский адрес: Россия, 127276, Москва, ул. Ботаническая, д. 35, ИФР РАН, тел. (499) 678-54-00.

Phylogeny, systematics and biogeography of the genus *Decussiphycus* Guiry & K.Gandhi 2019 (Bacillariophyceae, Mastogloiales)

Anton M. Glushchenko¹, Andrei V. Mironov^{1,2,3}, Elena M. Kezlya¹, Yevhen I. Maltsev¹,
Anton A. Iurmanov¹, Yan Liu³, Maxim S. Kulikovskiy¹

¹Timiryazev Institute of Plant Physiology, RAS (Russia, Moscow)

²Lomonosov Moscow State University (Russia, Moscow)

³College of Science and Technology, Harbin Normal University (China, Harbin)

During the study of freshwater ecosystems of Hainan Province (China), a new species of the genus *Decussiphycus* was discovered. The description of the new species was based on the results of light and scanning electron microscopy and molecular analysis based on the *rbcL* and V4 18S rDNA genes. Molecular data were obtained for the first time for a representative of this genus. The phylogenetic position of the genus and its relationship with the closest genera, *Aneumastus* and *Mastogloia* within the order Mastogloiales, were discussed. The biogeography of the species of the genus *Decussiphycus* was discussed.

Key words: Diatoms; morphology; molecular study; 18S rDNA; *rbcL*; China, biogeography

References

1. Edlund M.B., Brant L.A., Levkov Z., Nakov T. An emended description of *Decussata* (Patrick) Lange-Bertalot & Metzeltin that includes protoplast organization and detailed valve and cingulum ultrastructure. *Diatom Research*. 2006. V.21(2). P. 269–280. DOI: <https://doi.org/10.1080/0269249X.2006.9705669>
2. Glushchenko A., Kezlya E., Maltsev Y., Genkal S., Kociolek J.P., Kulikovskiy M. Description of the Soil Diatom *Sellaphora terrestris* sp. nov. (Bacillariophyceae, Sellaphoraceae) from Vietnam, with Remarks on the Phylogeny and Taxonomy of *Sellaphora* and Systematic Position of *Microcostatus*. *Plants*. 2022. V.11. P. 2148. DOI: <https://dx.doi.org/10.3390/plants11162148>
3. Lange-Bertalot H. Transfer to the generic rank of *Decussata* Patrick as a subgenus of *Navicula* Bory. *Iconographia Diatomologica*. 2000. V.9. P. 670–673.
4. Meister F. Kieselalgen aus Asien. Verlag von Gebrüder Borntraeger, Berlin, 1932. 56 s.
5. Mironov A., Glushchenko A., Kezlya E., Maltsev Y., Iurmanov A., Liu Y., Kulikovskiy M. *Decussiphycus sinensis* sp. nov. (Bacillariophyceae, Mastogloiales) – a new species described from China, with comments on phylogenetic position of the genus. *PhytoKeys*. 2025. V.254. P. 1–19. DOI: <https://doi.org/10.3897/phytokeys.254.142654>
6. Patrick R.M. New species and nomenclatural changes in the genus *Navicula* (Bacillariophyceae). *Proceedings of the Academy of Natural Sciences of Philadelphia*. 1959. V.111. P. 91–108.
7. Turland N.J. (Ed.) International Code of Nomenclature for algae, fungi, and plants (Shenzhen Code) adopted by the Nineteenth International Botanical Congress Shenzhen, China, July 2017. Glashütten, Koeltz botanical books, 2018. 253 p. DOI: <https://doi.org/10.12705/Code.2018>

ССЫЛКА НА СТАТЬЮ:

Глущенко А.М., Миронов А.В., Кезля Е.М., Мальцев Е.И., Юрманов А.А., Лю Я., Куликовский М.С. Филогения, систематика и биogeография рода *Decussiphycus* Guiry & K.Gandhi 2019 (Bacillariophyceae, Mastogloiales) // Вопросы современной альгологии. 2025. № 1 (37). P. 12–15. URL: <http://algology.ru/2117>

Glushchenko A.M., Mironov A.V., Kezlya E.M., Maltsev E.I., Iurmanov A.A., Liu Y., Kulikovskiy M.S. Phylogeny, systematics and biogeography of the genus *Decussiphycus* Guiry & K.Gandhi 2019 (Bacillariophyceae, Mastogloiales). *Voprosy sovremennoi algologii (Issues of modern algology)*. 2025. № 1 (37). P. 12–15. URL: <http://algology.ru/2117>

DOI – [https://doi.org/10.33624/2311-0147-2025-1\(37\)-12-15](https://doi.org/10.33624/2311-0147-2025-1(37)-12-15); EDN – DWIIGS

**Новый или не новый вид: проблемы систематики
рода *Fistulifera* Lange-Bert.
(Bacillariophyceae, Stauroneidaceae)**

**New or not new species? Problems of systematics
of the genus *Fistulifera* Lange-Bert.
(Bacillariophyceae, Stauroneidaceae)**

Гололобова М.А.¹, Георгиев А.А.¹, Перебоев Д.Д.², Котов А.А.²

**Maria A. Gololobova, Anton A. Georgiev, Dmitry D. Pereboev,
Alexey A. Kotov**

¹Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,
биологический факультет (Москва, Россия)

²Институт проблем экологии и эволюции имени А.Н. Северцова – ИПЭЭ РАН
(Москва, Россия)

При изучении образцов прибрежных отложений соленого озера Зун-Торей (Даурский биосферный заповедник, Забайкальский край, Россия) был выделен штамм, относящийся к роду *Fistulifera*. На основе изучения живых клеток, морфологии панциря при помощи световой и сканирующей электронной микроскопии, штамм был идентифицирован как *Fistulifera* cf. *alcalina*. Филогенетические исследования *Fistulifera* с использованием отдельных генетических маркеров (18S яДНК, *rbcL*), а также полногеномных данных (митогенома и пластома), предполагают независимый видовой статус выделенного штамма диатомовой водоросли. Кроме того, наши молекулярно-генетические исследования не поддерживают положение рода *Fistulifera* среди представителей семейства Stauroneidaceae.

Ключевые слова: *Fistulifera*; морфология; систематика; филогенетика

Род *Fistulifera* Lange-Bert. (Bacillariophyceae, Naviculales, Stauroneidaceae) включает преимущественно мелкоразмерные виды (длина створок обычно менее 10 мкм), с клетками, окруженными слизистой оболочкой и имеющими нежные панцири. В световом микроскопе клетки выглядят гиалиновыми, штрихи обычно не различимы (Lange-Bertalot, 2001). В настоящее время род *Fistulifera* включает пять видов (Guiry, Guiry, 2025). Три из них, а именно *F. saprophila* (Lange-Bert. et Bonik) Lange-Bert. (типовой вид), *F. iranensis* (Hust.) Lange-Bert. и *F. pelliculosa* (Kütz.) Lange-Bert. были ранее описаны в составе рода *Navicula* Bory, а позднее перенесены в *Fistulifera* (Lange-Bertalot, 1997). Два вида, *F. solaris* S. Mayama, M. Matsumoto, K. Nemoto et T. Tanaka (Matsumoto et al., 2014) и *F. alcalina* D.E. Berthold, Frankovich, Gaiser et Laughinghouse (Berthold et al., 2020) были описаны сравнительно недавно и изучены как морфологическими, так и молекулярно-генетическими методами. Виды *Fistulifera* обитают в пресных, солоноватых и морских водах, а также в наземной среде

(Berthold et al., 2020). *F. saprophila* и *F. pelliculosa* являются широко распространенными и отмечены в разных биогеографических провинциях мира. Другие виды рода известны только из типовых местонахождений (*F. solaris* и *F. alcalina*) или представлены в литературе несколькими находками с момента их первого описания (*F. iranensis*) (Guiry, Guiry, 2025). Bruder, Medlin (2008: 323) подтвердили монофилию *Fistulifera* и принадлежность *F. pelliculosa* и *F. saprophila* к этому роду. Cox (2012) отнесла *Fistulifera* в семейство Stauroneidaceae, и такое положение рода в макросистеме было подтверждено молекулярно-генетическими данными (например, см. Kulikovskiy et al., 2019). Затем Berthold et al. (2020) провели филогенетическое исследование (на основе фрагментов 18S рДНК и *rbcL*), подтвердив монофилию рода; эти генетические данные были использованы для выделения вида *F. alcalina* в качестве отдельного таксона. Кроме того, эти авторы предположили существование отдельной «алкалифильной клады» внутри рода *Fistulifera*.

Материалом для нашего исследования послужил штамм *Fistulifera*, выделенный из образцов прибрежных отложений соленого озера Зун-Торей (Даурский биосферный заповедник, Забайкальский край, Россия); образцы были отобраны с прибрежного участка, представляющего собой бывшее дно озера, в небольшой впадине, где осадок оставался влажным. Клетки культивировали в среде Chu-10, приготовленной на буфере, который используется для щелочной среды (Grum-Grzhimaylo et al., 2013), в комнатных условиях (20–25°C) при естественном освещении. Морфологическое изучение штамма *Fistulifera* было проведено методами световой (СМ) и сканирующей электронной (СЭМ) микроскопии. Для филогенетического анализа тотальная ДНК была выделена с использованием набора QiAmp Micro Kit (Qiagen) в соответствии с протоколом производителя. Подготовка библиотек и секвенирование всего генома (Illumina NovaSeq6000, около 71,5 млн парных прочтений по 150 п.н.) были выполнены компанией BGI (Китай). Данные депонированы в NCBI SRA. Мы использовали пакет GetOrganelle v1.7.7.1 (Camacho et al., 2009; Bankevich et al., 2012; Jin et al., 2020) для извлечения последовательностей ядерной рДНК, митогенома и пластома из всего набора прочтений.

Результаты морфологического изучения штамма *Fistulifera* с помощью СМ и СЭМ показали, что он отличается от двух указанных ранее для водоемов России видов: *F. saprophila* и *F. pelliculosa* (Куликовский и др., 2016) и наиболее близок *F. alcalina*, описанному из Флориды (США) (Berthold et al., 2020), хотя имеет очень незначительные различия, связанные с некоторыми морфометрическими признаками. В связи с этим, мы предварительно идентифицировали наш штамм как *Fistulifera* cf. *alcalina*.

Филогенетический анализ штамма *Fistulifera* с использованием отдельных генетических маркеров (18S яДНК, *rbcL*) подтвердил монофилию рода, а также самостоятельный статус исследованного штамма; однако разрешение оказывается недостаточным для определения филогении рода, так как основные поддержки ветвей достаточно низкие. К сожалению, геномных данных по роду *Fistulifera* на сегодняшний день крайне мало; митогеномное исследование оказалось наиболее информативным в нашем исследовании и убедительно опровергло монофилию алкалифильной клады среди *Fistulifera*. Полученные результаты также показывают, что выделенный нами штамм принадлежит к отдельному виду, однако мы не смогли найти значительных морфологических отличий между ним и *F. alcalina*, что, возможно, указывает на то, что наш штамм является криптическим видом. Помимо этого, наши данные подтвердили полученные ранее результаты (см., например, Gastineau et al., 2019) о родстве *Fistulifera* и *Proschkinia* Карауева, которые, соответственно, опровергают положение рода *Fistulifera* среди представителей семейства Stauroneidaceae.

Более подробная информация о выделенном из Забайкальского края штамме *Fistulifera* и возможной эволюции видов в пределах рода представлена в работе Georgiev et al. (2025).

Работа М.А. Гололобовой и А.А. Георгиева выполнена в рамках госзадания МГУ им. М.В. Ломоносова. Исследование было проведено в центре коллективного пользования «Электронная микроскопия в науках о жизни» МГУ им. М.В. Ломоносова (УНУ «Трехмерная электронная микроскопия и спектроскопия»). Разработка генетических методов исследования экстремофильных водорослей проводилась в рамках научного проекта Министерства науки и высшего образования РФ (Соглашение № 075-15-2024-649).

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов, требующего раскрытия в данной статье.

Список литературы

1. Куликовский М.С., Глуценко А.М., Генкал С.И., Кузнецова И.В. Определитель диатомовых водорослей России. – Ярославль: Филигрань, 2016. – 804 с.
2. Bankevich A., Nurk S., Antipov D., Gurevich A.A., Dvorkin M., Kulikov A.S., Lesin V.M., Nikolenko S.I., Pham S., Prjibelski A.D., Pyshkin A.V., Sirotkin A.V., Vyahhi N., Tesler G., Alekseyev M.A., Pevzner P.A. SPAdes: A new genome assembly algorithm and its applications to single-cell sequencing // *Journal of Computational Biology*. 2012. V.19. P. 455–477. DOI: <https://doi.org/10.1089/cmb.2012.0021>
3. Berthold D.E., Frankovich T., Gaiser E.E., Laughinghouse IV, H.D. *Fistulifera alcalina* sp. nov. (Naviculales, Stauroneidaceae) a new alkaliphilic diatom species from Lake Okeechobee, Florida (USA) // *Diatom Research*. 2020. V.35, №3. P. 301–311. DOI: <https://doi.org/10.1080/0269249X.2020.1801517>
4. Bruder K., Medlin L.K. Morphological and molecular investigations of naviculoid diatoms. II. Selected genera and families // *Diatom Research*. 2008. V.23, №2. P. 283–329. DOI: <https://doi.org/10.1080/0269249X.2008.9705759>
5. Camacho C., Coulouris G., Avagyan V., Ma N., Papadopoulos J., Bealer K., Madden T.L. BLAST+: Architecture and applications // *BMC Bioinformatics*. 2009. V.10. ID 421. DOI: <https://doi.org/10.1186/1471-2105-10-421>
6. Cox E.J. Coscinodiscophyceae, Mediophyceae, Fragilariophyceae, Bacillariophyceae (Diatoms) // Frey W. (ed.). *A. Engler's Syllabus der Pflanzenfamilien*. 13th ed. Part 2/1. – Stuttgart: Borntraeger Science Publishers, 2015. – P. 64–103.
7. Gastineau R., Kim S.Y., Lemieux C., Turmel M., Witkowski A., Park J.G., Kim B.S., Mann D.G., Theriot E.C. Complete mitochondrial genome of a rare diatom (Bacillariophyta) *Proschkinia* and its phylogenetic and taxonomic implications // *Mitochondrial DNA. Part B*. 2019. V.4, №1. P. 25–26. DOI: <https://doi.org/10.1080/23802359.2018.1535852>
8. Georgiev A.A., Pereboev D.D., Kotov A.A., Gololobova M.A. Morphological and phylogenomic investigation of *Fistulifera* cf. *alcalina* (Naviculales, Stauroneidaceae) from the Transbaikalia (Southern Siberia, Russia) with comments on evolution within the genus // *Diatom Research*. 2025. 1–15. DOI: <https://doi.org/10.1080/0269249X.2025.2522086>
9. Grum-Grzhimaylo A.A., Debets A.J.M., Van Diepeningen A.D., Georgieva M.L., Bilanenko E.N. *Sodiomyces alkalinus*, a new holomorphic alkaliphilic ascomycete within the Plectosphaerellaceae // *Persoonia – Molecular Phylogeny and Evolution of Fungi*. 2013. V.31. P. 147–158. DOI: <https://doi.org/10.3767/003158513X673080>
10. Guiry M.D., Guiry G.M. *AlgaeBase*. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway, 2025. <http://www.algaebase.org> (дата обращения: 15.05.2025).
11. Jin J.-J., Yu W.-B., Yang J.-B., Song Y., Depamphilis C.W., Yi T.S., Li D.-Z. GetOrganelle: A fast and versatile toolkit for accurate de novo assembly of organelle genomes // *Genome Biology*. 2020. V.21. P. 241. DOI: <https://doi.org/10.1186/s13059-020-02154-5>
12. Kulikovskiy M., Maltsev Y., Andreeva S., Glushchenko A., Gusev E., Podunay Y., Ludwig T.V., Tusset E., Kociolek J.P. Description of a new diatom genus *Dorofeyukea* gen. nov. with remarks on phylogeny of the family Stauroneidaceae // *Journal of Phycology*. 2019. V.55, №1. P. 173–185. DOI: <https://doi.org/10.1111/jpy.12810>
13. Lange-Bertalot H. *Frankophila*, *Mayamaea* und *Fistulifera*: drei neue Gattungen der Klasse Bacillariophyceae // *Archiv für Protistenkunde*. 1997. V.148, №1–2. P. 65–76. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0003-9365\(97\)80037-1](https://doi.org/10.1016/S0003-9365(97)80037-1)
14. Lange-Bertalot H. *Navicula* sensu stricto. 10 Genera separated from *Navicula* sensu lato, *Frustulia* // *Diatoms of Europe*. V. 2. – Ruggell: A.R.G. Gantner Verla K.G., 2001. – 526 p.

15. Matsumoto M., Mayama S., Nemoto M., Fukuda Y., Muto M., Yoshino T., Matsunaga T., Tanaka T. Morphological and molecular phylogenetic analysis of the high triglyceride-producing marine diatom, *Fistulifera solaris* sp. nov. (Bacillariophyceae) // Phycological Research. 2014. V.62, №4. P. 257–268. DOI: <https://doi.org/10.1111/pre.12066>

Статья поступила в редакцию 18.06.2025; поступила после доработки 23.07.2025; принята к публикации 28.08.2025

Сведения об авторах

Гололобова Мария Александровна – к.б.н., доцент, Московский Государственный Университет им. М.В. Ломоносова, биологический факультет, Россия, Москва (Lomonosov Moscow State University, Russia, Moscow); gololobovama@mail.ru; ORCID – <https://orcid.org/0000-0003-0781-603X>; SPIN-код 1627-7773.

Георгиев Антон Александрович – к.б.н., с.н.с., Московский Государственный Университет им. М.В. Ломоносова, биологический факультет, Россия, Москва (Lomonosov Moscow State University, Russia, Moscow); semga2001@yandex.ru; ORCID – <https://orcid.org/0000-0002-9185-2721>; SPIN-код 8071-5783.

Перебоев Дмитрий Дмитриевич – м.н.с., Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова – ИПЭЭ РАН, Россия, Москва (Severtsov Institute of Ecology and Evolution of the Russian Academy of Sciences, Russia, Moscow), Лаборатория экологии водных сообществ и инвазий; dm.pereboev@sev-in.ru; ORCID – <https://orcid.org/0009-0004-8194-7585>; SPIN-код 5886-0410.

Котов Алексей Алексеевич – д.б.н., г.н.с., Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова – ИПЭЭ РАН, Россия, Москва (Severtsov Institute of Ecology and Evolution, RAS, Russia, Moscow), Лаборатория экологии водных сообществ и инвазий; alexey-a-kotov@yandex.ru; ORCID – <https://orcid.org/0000-0002-8863-6438>; SPIN-код 8055-2508.

Корреспондентский адрес: Россия, 119234, Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 12, Биологический факультет МГУ, тел. (495) 939-10-00.

New or not new species? Problems of systematics of the genus *Fistulifera* Lange-Bert. (Bacillariophyceae, Stauroneidaceae)

Maria A. Gololobova¹, Anton A. Georgiev¹, Dmitry D. Pereboev², Alexey A. Kotov²

¹Lomonosov Moscow State University (Russia, Moscow)

²Severtsov Institute of Ecology and Evolution, RAS (Russia, Moscow)

A strain belonging to *Fistulifera* was isolated during the study of coastal sediment samples from saline Lake Zun-Torey (the Daursky Biosphere Reserve, Transbaikalian Area, Russia). Based on the study of living cells and frustule morphology using light and scanning electron microscopy, the strain was attributed to *Fistulifera* cf. *alcalina*. Phylogenetic studies of *Fistulifera* using single genetic markers (18S nrDNA, *rbcL*) as well as mitogenome and plastome, suggest an independent species status of this diatom. Furthermore, our molecular genetic studies do not support the position of *Fistulifera* within Stauroneidaceae.

Key words: *Fistulifera*; morphology; systematics; phylogeny

References

1. Bankevich A., Nurk S., Antipov D., Gurevich A.A., Dvorkin M., Kulikov A.S., Lesin V.M., Nikolenko S.I., Pham S., Prjibelski A.D., Pyshkin A.V., Sirotkin A.V., Vyahhi N., Tesler G., Alekseyev M.A., Pevzner P.A. SPAdes: A new genome assembly algorithm and its applications to single-cell sequencing. *Journal of Computational Biology*. 2012. V.19. P. 455–477. DOI: <https://doi.org/10.1089/cmb.2012.0021>
2. Berthold D.E., Frankovich T., Gaiser E.E., Laughinghouse IV, H.D. *Fistulifera alcalina* sp. nov. (Naviculales, Stauroneidaceae) a new alkaliphilic diatom species from Lake Okeechobee, Florida (USA). *Diatom Research*. 2020. V.35, №3. P. 301–311. DOI: <https://doi.org/10.1080/0269249X.2020.1801517>
3. Bruder K., Medlin L.K. Morphological and molecular investigations of naviculoid diatoms. II. Selected genera and families. *Diatom Research*. 2008. V.23, №2. P. 283–329. DOI: <https://doi.org/10.1080/0269249X.2008.9705759>

4. Camacho C., Coulouris G., Avagyan V., Ma N., Papadopoulos J., Bealer K., Madden T.L. BLAST+: Architecture and applications. *BMC Bioinformatics*. 2009. V.10. ID 421. DOI: <https://doi.org/10.1186/1471-2105-10-421>
5. Cox E.J. Coscinodiscophyceae, Mediophyceae, Fragilariophyceae, Bacillariophyceae (Diatoms). Frey W. (Ed.). A. Engler's Syllabus der Pflanzenfamilien. 13th ed. Part 2/1. Borntraeger Science Publishers, Stuttgart, 2015. P. 64–103.
6. Gastineau R., Kim S.Y., Lemieux C., Turmel M., Witkowski A., Park J.G., Kim B.S., Mann D.G., Theriot E.C. Complete mitochondrial genome of a rare diatom (Bacillariophyta) *Proschkinia* and its phylogenetic and taxonomic implications. *Mitochondrial DNA. Part B*. 2019. V.4, №1. P. 25–26. DOI: <https://doi.org/10.1080/23802359.2018.1535852>
7. Georgiev A.A., Pereboev D.D., Kotov A.A., Gololobova M.A. Morphological and phylogenomic investigation of *Fistulifera* cf. *alcalina* (Naviculales, Stauroneidaceae) from the Transbaikalia (Southern Siberia, Russia) with comments on evolution within the genus. *Diatom Research*. 2025. 1–15. DOI: <https://doi.org/10.1080/0269249X.2025.2522086>
8. Grum-Grzhimaylo A.A., Debets A.J.M., Van Diepeningen A.D., Georgieva M.L., Bilanenko E.N. *Sodiomyces alkalinus*, a new holomorphic alkaliphilic ascomycete within the Plectosphaerellaceae. *Persoonia – Molecular Phylogeny and Evolution of Fungi*. 2013. V.31. P. 147–158. DOI: <https://doi.org/10.3767/003158513X673080>
9. Guiry M.D., Guiry G.M. AlgaeBase. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway, 2025. <http://www.algaebase.org> (date: 15.05.2025).
10. Jin J.-J., Yu W.-B., Yang J.-B., Song Y., Depamphilis C.W., Yi T.S., Li D.-Z. GetOrganelle: A fast and versatile toolkit for accurate de novo assembly of organelle genomes. *Genome Biology*. 2020. V.21. P. 241. DOI: <https://doi.org/10.1186/s13059-020-02154-5>
11. Kulikovskiy M.S., Glushchenko A.M., Genkal S.I., Kuznetsova I.V. Identification book of diatoms from Russia. Filigran, Yaroslavl, 2016. 804 p.
12. Kulikovskiy M., Maltsev Y., Andreeva S., Glushchenko A., Gusev E., Podunay Y., Ludwig T.V., Tusset E., Kociolek J.P. Description of a new diatom genus *Dorofeyukea* gen. nov. with remarks on phylogeny of the family Stauroneidaceae. *Journal of Phycology*. 2019. V.55, №1. P. 173–185. DOI: <https://doi.org/10.1111/jpy.12810>
13. Lange-Bertalot H. *Frankophila*, *Mayamaea* und *Fistulifera*: drei neue Gattungen der Klasse Bacillariophyceae. *Archiv für Protistenkunde*. 1997. V.148, №1–2. P. 65–76. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0003-9365\(97\)80037-1](https://doi.org/10.1016/S0003-9365(97)80037-1)
14. Lange-Bertalot H. *Navicula* sensu stricto. 10 Genera separated from *Navicula* sensu lato, *Frustulia*. *Diatoms of Europe*. V. 2. Ruggell: A.R.G. Gantner Verla K.G., 2001. 526 p.
15. Matsumoto M., Mayama S., Nemoto M., Fukuda Y., Muto M., Yoshino T., Matsunaga T., Tanaka T. Morphological and molecular phylogenetic analysis of the high triglyceride-producing marine diatom, *Fistulifera solaris* sp. nov. (Bacillariophyceae). *Phycological Research*. 2014. V.62, №4. P. 257–268. DOI: <https://doi.org/10.1111/pre.12066>

ССЫЛКА НА СТАТЬЮ:

Гололобова М.А., Георгиев А.А., Перебоев Д.Д., Котов А.А. Новый или не новый вид: проблемы систематики рода *Fistulifera* Lange-Bert. (Bacillariophyceae, Stauroneidaceae) // Вопросы современной альгологии. 2025. № 1 (37). P. 16–20. URL: <http://algology.ru/2118>

Gololobova M.A., Georgiev A.A., Pereboev D.D., Kotov A.A. New or not new species? Problems of systematics of the genus *Fistulifera* Lange-Bert. (Bacillariophyceae, Stauroneidaceae). *Voprosy sovremennoi algologii (Issues of modern algology)*. 2025. № 1 (37). P. 16–20. URL: <http://algology.ru/2118>

DOI – [https://doi.org/10.33624/2311-0147-2025-1\(37\)-16-20](https://doi.org/10.33624/2311-0147-2025-1(37)-16-20); EDN – JYNQHA

Новый вид *Psammodictyon* (Bacillariaceae) из Южно-Китайского моря (Вьетнам)

New species of *Psammodictyon* (Bacillariaceae) from the South China Sea (Vietnam)

Голубева А.И.¹, Кезля Е.М.¹, Капустин Д.А.¹, Доан-Нху Хай²,
Нгуен Нгок Лам², Хуинь Тхи Нгок Дуйен², Мальцев Е.И.¹,
Куликовский М.С.¹

Aleksandra I. Golubeva, Elena M. Kezlya, Dmitry A. Kapustin,
Doan Nhu Hai, Nguyen Ngoc Lam, Huynh Thi Ngoc Duyen,
Yevhen I. Maltsev, Maxim S. Kulikovskiy

¹Институт физиологии растений имени К.А. Тимирязева РАН – ИФР РАН
(Москва, Россия)

²Институт океанографии Вьетнамской академии наук и технологий (Нячанг, Вьетнам)

Из проб эпилимниона прибрежной зоны Южно-Китайского моря в окрестностях г. Нячанг (Вьетнам) был выделен штамм *Psammodictyon*. На основе комплексного анализа морфологических признаков и молекулярно-генетических данных предложен новый для науки вид.

Ключевые слова: диатомовые водоросли; *Psammodictyon*; Южно-Китайское море; молекулярная филогения

Род *Psammodictyon* объединяет в основном морские (реже пресноводные) диатомовые водоросли с характерными гитаровидными створками. Род установлен Д. Манном (Round et al., 1990) на основе секции *Panduriformes* Grunow рода *Nitzschia*. Основным морфологическим признаком рода помимо формы створок является трансапикальное диагонально ориентированное (или декуссато-подобное) расположение ареол (Round et al., 1990). В настоящее время род включает в себя 20 видов и внутривидовых таксонов (Guiry & Guiry, 2025). Несмотря на наличие ряда опубликованных филогенетических исследований, морфологическое и молекулярное разнообразие внутри рода остаётся недостаточно изученным. В рамках настоящей работы мы исследовали морфологию и филогению нового штамма *Psammodictyon*, выделенного из проб эпилимниона Южно-Китайского моря в окрестностях г. Нячанг (Вьетнам). На основании полученных данных предлагаем новый для науки вид.

Новый вид *Psammodictyon crassum* sp. nov. отличается от схожих представителей рода формой створки – более крупной, с отчетливым сужением по центру, и единственным продольным возвышением. В отличие от большинства видов *Psammodictyon*, у *P. crassum* sp. nov. длина створок превышает ширину менее чем

в два раза (1,6–1,8). Наиболее морфологически близким к *P. crassum* sp. nov. prov. является пресноводный вид *P. taihuensis* Q. Yang et al., недавно описанный из Китая (Yang et al., 2020), но он характеризуется меньшими размерами и слабо выраженным возвышением на дистальной стороне створки. У другого близкого вида, *P. pustulatum*, имеется два возвышения на дистальной стороне створки, тогда как у *P. crassum* sp. nov. prov. такое возвышение лишь одно.

Филогенетический анализ проведен на основе генов 18S rRNA и *rbcL* и включает представителей семейства Bacillariaceae. Представители рода *Psammodyction* формируют отдельную кладу рядом с кладой состоящей из нескольких видов *Nitzschia*. Новый вид демонстрирует высокое сходство (до 99,7%) с несколькими неидентифицированными до вида штаммами *Psammodyction* из Красного и Южно-Китайского морей, но отсутствие опубликованных микрофотографий не позволяет провести детальное сравнение морфологических признаков. Стоит отметить, что наблюдаются высокие значения сходства последовательностей выбранных генетических маркеров даже между различными видами этого рода, что требует дальнейшего морфологического пересмотра ряда таксонов, особенно *P. panduriforme* var. *continuum* и *P. constrictum*.

Таким образом на основе морфологических и молекулярно-генетических данных предложен новый для науки вид диатомовых – *Psammodyction crassum* sp. nov. prov. Полученные данные подчеркивают необходимость комплексного подхода при ревизии рода *Psammodyction*.

Авторы выражают признательность к.б.н. Р.А. Ракитову (ПИН РАН) за помощь при работе на СЭМ.

Работа выполнена при поддержке Российского Научного Фонда (№ 24-44-04006, <https://rscf.ru/project/24-44-04006/>) и Вьетнамской Академии Наук и Технологий (№ QTRU06.05/24-26).

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов, требующего раскрытия в данной статье.

Список литературы

1. Guiry M.D., Guiry G.M. AlgaeBase. 2025. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway. <http://www.algaebase.org>. (дата обращения: 23.05.2025).
2. Round F.E., Crawford R.M., Mann D.G. The diatoms. Biology and morphology of the genera. – Cambridge: Cambridge University Press, 1990. – 747 p.
3. Yang Q., Liu T., Yu P., Zhang J., Kocielek J.P., Wang Q., You Q. A new freshwater *Psammodyction* species in the Taihu Basin, Jiangsu Province, China // Fottea, Olomouc. 2020. V.20. P. 144–151. DOI: <https://doi.org/10.5507/fot.2020.005>

Статья поступила в редакцию 18.06.2025; поступила после доработки 04.09.2025; принята к публикации 05.09.2025

Сведения об авторах

Голубева Александра Игоревна – н.с., Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН (ИФР РАН), Россия, Москва (Timiryazev Institute of Plant Physiology RAS, Russia, Moscow); aleksandra.golubeva.phd@gmail.com; ORCID – <https://orcid.org/0000-0003-0214-1707>; SPIN-код 5569-1093.

Кезля Елена Михайловна – к.б.н., с.н.с., Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН (ИФР РАН), Россия, Москва (Timiryazev Institute of Plant Physiology RAS, Russia, Moscow); melosira@mail.ru; ORCID – <https://orcid.org/0000-0002-5263-9338>; SPIN-код 3196-8240.

Капустин Дмитрий Александрович – к.б.н., с.н.с., Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН (ИФР РАН), Россия, Москва (Timiryazev Institute of Plant Physiology RAS, Russia, Moscow); phycology@mail.ru; ORCID – <https://orcid.org/0000-0003-3256-7776>; SPIN-код 3867-9072.

Доан Нху Хай – профессор, с.н.с., Институт океанографии Вьетнамской академии наук и технологий, Вьетнам, Нячанг (Institute of Oceanography, Viet Nam Academy of Science and Technology, Viet Nam, Nha Trang); haidoan-ion@planktonviet.com; ORCID – <https://orcid.org/0000-0003-4261-7255>.

Нгуен Нгок Лам – профессор, с.н.с., Институт океанографии Вьетнамской академии наук и технологий, Вьетнам, Нячанг (Institute of Oceanography, Viet Nam Academy of Science and Technology, Viet Nam, Nha Trang).

Хуинь Тхи Нгок Дуйен – н.с., Институт океанографии Вьетнамской академии наук и технологий, Вьетнам, Нячанг (Institute of Oceanography, Viet Nam Academy of Science and Technology, Viet Nam, Nha Trang).

Мальцев Евгений Иванович – д.б.н., в.н.с., Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН (ИФР РАН), Россия, Москва (Timiryazev Institute of Plant Physiology RAS, Russia, Moscow); maltsev.ye@yandex.ru; ORCID – <https://orcid.org/0000-0003-4710-319X>; SPIN-код 9410-6478.

Куликовский Максим Сергеевич – д.б.н., г.н.с., Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН (ИФР РАН), Россия, Москва (Timiryazev Institute of Plant Physiology RAS, Russia, Moscow); max-kulikovskiy@yandex.ru; ORCID – <https://orcid.org/0000-0003-0999-9669>; SPIN-код 4170-2884.

Корреспондентский адрес: Россия, 127276, Москва, ул. Ботаническая, д. 35, ИФР РАН, тел. (499) 678-54-00.

New species of *Psammodictyon* (Bacillariaceae) from the South China Sea (Vietnam)

Aleksandra I. Golubeva¹, Elena M. Kezlya¹, Dmitry A. Kapustin¹, Doan Nhu Hai²,
Nguyen Ngoc Lam², Huynh Thi Ngoc Duyen², Yevhen I. Maltsev¹,
Maxim S. Kulikovskiy¹

¹Timiryazev Institute of Plant Physiology RAS (Russia, Moscow)

²Institute of Oceanography, Viet Nam Academy of Science and Technology (Viet Nam, Nha Trang)

A strain of diatom was isolated from epilithon in the coastal zone of the South China Sea near Nha Trang (Viet Nam). Based on morphological features and molecular data, it is described as a new species to science.

Key words: Diatoms; *Psammodictyon*; South China Sea; molecular phylogeny

References

1. Guiry M.D., Guiry G.M. AlgaeBase. 2025. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway. <http://www.algaebase.org>. (date: 23.05.2025).
2. Round F.E., Crawford R.M., Mann D.G. The diatoms. Biology and morphology of the genera. Cambridge University Press, Cambridge, 1990. 747 p.
3. Yang Q., Liu T., Yu P., Zhang J., Kociolek J.P., Wang Q., You Q. A new freshwater *Psammodictyon* species in the Taihu Basin, Jiangsu Province, China. *Fottea, Olomouc*. 2020. V.20. P. 144–151. DOI: <https://doi.org/10.5507/fot.2020.005>

ССЫЛКА НА СТАТЬЮ:

Голубева А.И., Кезля Е.М., Капустин Д.А., Доан-Нху Хай, Нгуен Нгок Лам, Хуинь Тхи Нгок Дуйен, Мальцев Е.И., Куликовский М.С. Новый вид *Psammodictyon* (Bacillariaceae) из Южно-Китайского моря (Вьетнам) // Вопросы современной альгологии. 2025. № 1 (37). P. 21–23. URL: <http://algology.ru/2119>

Golubeva A.I., Kezlya E.M., Kapustin D.A., Doan-Nhu H., Nguyen Ngoc L., Huynh Thi Ngoc D., Maltsev Y.I., Kulikovskiy M.S. New species of *Psammodictyon* (Bacillariaceae) from the South China Sea (Vietnam). *Voprosy sovremennoi algologii (Issues of modern algology)*. 2025. № 1 (37). P. 21–23. URL: <http://algology.ru/2119>

DOI – [https://doi.org/10.33624/2311-0147-2025-1\(37\)-21-23](https://doi.org/10.33624/2311-0147-2025-1(37)-21-23); EDN – ITFBPC

***Nitzschia navis-varingica* versus *N. traheaformis*:
еще один комплекс криптических видов диатомовых**

***Nitzschia navis-varingica* versus *N. traheaformis*:
another cryptic diatom species complex**

**Давидович Н.А.¹, Давидович О.И.¹, Полякова С.Л.¹, Никулин В.Ю.²,
Никулин А.Ю.²**

**Nickolai A. Davidovich, Olga I. Davidovich, Svetlana L. Polyakova,
Vyacheslav Yu. Nikulin, Arthur Yu. Nikulin**

¹Карадагская научная станция имени Т.И. Вяземского – природный заповедник РАН –
филиал ФИЦ ИНБЮМ имени А.О. Ковалевского (Феодосия, Россия)

²ФНЦ Биоразнообразие наземной биоты Восточной Азии ДВО РАН
(Владивосток, Россия)

Диатомовые водоросли (Bacillariophyta) демонстрируют исключительное видовое разнообразие, при этом многие виды морфологически слабо различимы, что осложняет их идентификацию. Особую проблему представляют токсигенные и инвазивные виды, требующие точной верификации. Исследование посвящено виду *Nitzschia navis-varingica*, описанному из Вьетнама и широко распространённому в Тихом океане, но недавно зарегистрированному в Средиземном и Мраморном морях. Методами скрещивания, морфометрии и генетического анализа (*rbcL*) показано, что образцы из средиземного и мраморного морей не соответствуют типовой *N. navis-varingica*, но репродуктивно совместимы с *N. traheaformis* из Чёрного моря. Результаты подтверждают необходимость интегративного подхода для разграничения криптических видов и ставят под сомнение присутствие *N. navis-varingica* в Средиземноморском бассейне.

Ключевые слова: диатомовые водоросли; распространение; токсинообразование; дифференциация видов

Диатомовые водоросли (Bacillariophyta) известны чрезвычайно высоким видовым разнообразием (описано порядка 18 тысяч видов). Отдельные рода включают сотни или даже тысячи видов, которые зачастую обладают различными свойствами, при этом морфологически очень слабо отличаясь друг от друга. В связи с трудностями их идентификации и отсутствием четких критериев для определения границ между отдельными видами, возможны случаи ошибочного определения. Это особенно актуально для инвазивных видов, в том числе токсин-продуцирующих, которые находятся в центре внимания морских экологов. Поэтому для многих диатомей, включенных в перечень таких видов и встретившихся в новых местах, где они ранее не были зарегистрированы, требуется верификация их видовой принадлежности.

Токсигенный вид *Nitzschia navis-varingica* Lundholm & Moestrup был первоначально описан из Вьетнама и имеет широкое распространение в Тихом океане (Lundholm, Moestrup, 2000; Kotaki et al., 2004; Romero et al., 2008; Suriyanti & Usup 2015; Tan et al. 2016; Puilingi et al. 2022). Однако в последнее время появились сообщения о его находках в Средиземном и Мраморном морях (Ayaz et al., 2018; Eker-Develi, Kideys, 2022).

Основываясь на биологической концепции вида, мы применили методы скрещивания для проверки видовой дифференциации между диатомеями, сходными с *N. navis-varingica* из Черного, Мраморного и Средиземного морей. Показана их репродуктивная совместимость (рис. 1). Вместе с тем отмечено несоответствие морфологических и биометрических характеристик образцов из Средиземного и Мраморного морей (рис. 2), априори идентифицированных как “*N. navis-varingica*”, токсигенной *N. navis-varingica* из типовой локации. Признавая интегративный подход наиболее актуальным, мы дополнили морфологические и репродуктивные критерии данными генетического анализа по хлоропластному гену *rbcL*, которые (а) подтвердили делимитацию *N. navis-varingica* и изучаемых образцов, (б) показали, что генетические последовательности клонов, выделенных из Черного моря и репродуктивно совместимых с клонами из Мраморного моря, идентичны генетической последовательности типового материала *Nitzschia traheaformis* Chunlian Li, Witkowski & Yu (Witkowski et al., 2016). Вопрос о присутствии *N. navis-varingica* в морях бассейна Средиземного моря остается открытым.

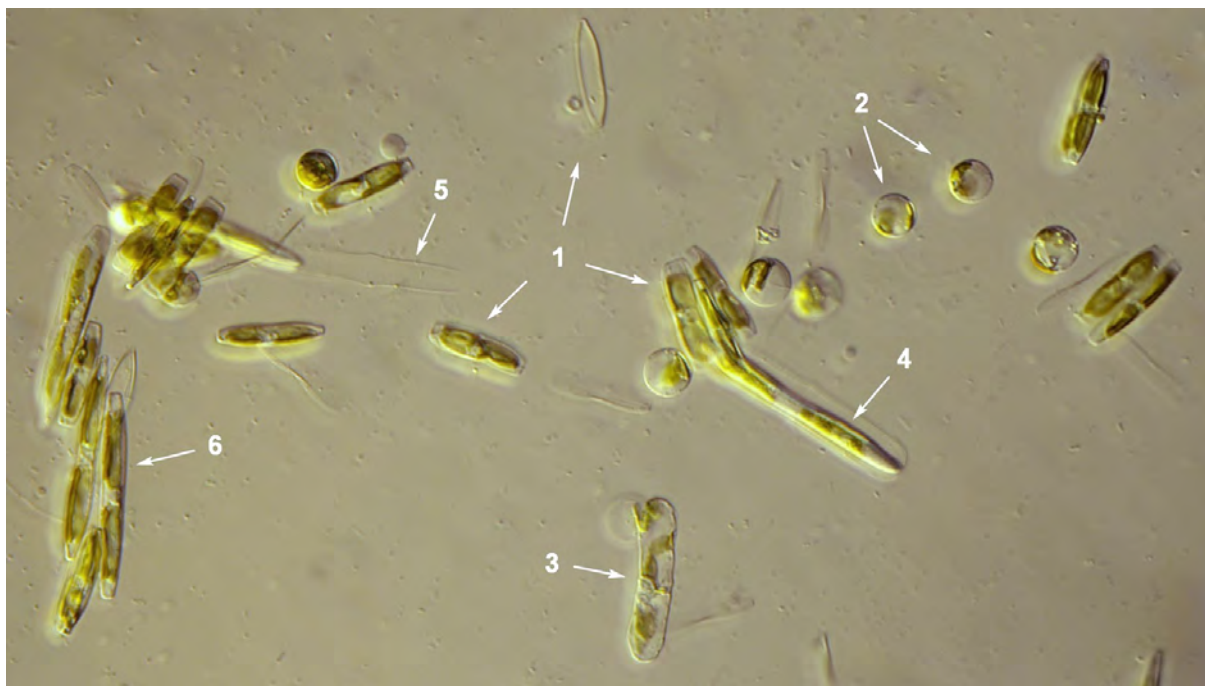


Рис. 1. Гаметогенез и аукоспорообразование в смеси репродуктивно совместимых клонов *Nitzschia traheaformis* из Мраморного и Черного морей. 1 – клетки родительских клонов, 2 – гаметы, 3 – растущая аукоспора, 4 – инициальная клетка внутри перизонима, 5 – перизоний, 6 – инициальная клетка.

Fig. 1. Gametogenesis and auxospore formation in mixtures of reproductively compatible clones of *Nitzschia traheaformis* from the Marmara and Black Seas. 1 – Parental reproductively compatible clones; 2 – Gametes; 3 – Developing auxospore; 4 – Initial cell within the perizonium; 5 – Perizonium; 6 – Initial cell.

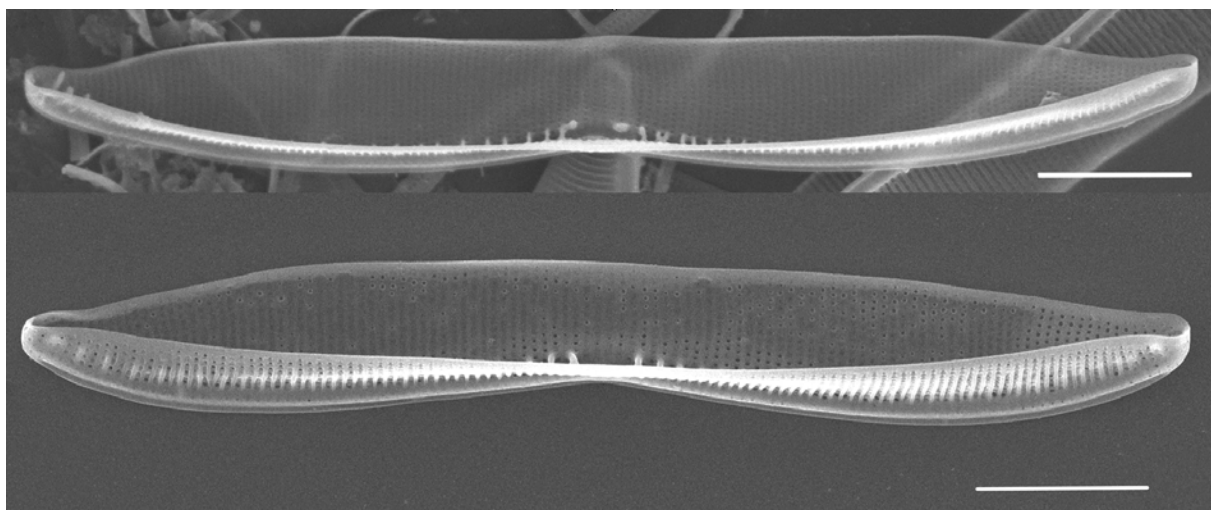


Рис. 2. Теки панцирей *Nitzschia traheaformis* из Черного (вверху) и Мраморного морей. Масштаб: 5 мкм.

Fig. 2. Frustule thecae of *Nitzschia traheaformis* from the Black Sea (top) and Marmara Sea. Scale bar: 5 μ m.

Работа выполнена в рамках госзаданий Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (№ 124030100100-0 и № 124012400285-7). Использованы ресурсы Центра коллективного пользования «Коллекция диатомовых водорослей мирового океана».

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов, требующего раскрытия в данной статье.

Список литературы

1. Ayaz F., Eker-Develi E., Sahin M. First report of *Nitzschia navis-varingica* in the Mediterranean Sea and growth stimulatory effects of *Nitzschia navis-varingica*, *Chrysochromulina alifera* and *Heterocapsa pygmaea* on different mammalian cell types // Molecular Biology Reports. 2018. V.45. P. 571–579. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11033-018-4195-7>
2. Eker-Develi E., Kideys A.E. First record of the diatom *Nitzschia navis-varingica* in the Sea of Marmara // Marine Science and Technology Bulletin. 2022. V.11, Is.2. P. 231–235. DOI: <https://doi.org/10.33714/masteb.1121995>
3. Kotaki Y., Lundholm N., Onodera H., Kobayashi K., Bajarias F.A., Furio E.F., Iwataki M., Fukuyo Y., Kodama M. Wide distribution of *Nitzschia navis-varingica*, a new domoic acid-producing benthic diatom found in Vietnam // Fisheries Science. 2004. V.70, Is.1. P. 28–32. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1444-2906.2003.00766.x>
4. Lundholm N., Moestrup Ø. Morphology of the marine diatom *Nitzschia navis-varingica*, sp. nov. (Bacillariophyceae), another producer of the neurotoxin domoic acid // Journal of Phycology. 2000. V.36, Is.6. P. 1162–1174. DOI: <https://doi.org/10.1046/j.1529-8817.2000.99210.x>
5. Puilingi C., Tan S.N., Maeno Y., Leaw C.P., Lim P.T., Yotsu-Yamashita M., Terada R., Kotaki Y. First record of the diatom *Nitzschia navis-varingica* (Bacillariophyceae) producing amnesic shellfish poisoning-toxins from Papua New Guinea // Toxicon. 2022. V.216. P. 65–72. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.toxicon.2022.06.016>
6. Romero M.L.J., Lirdwitayaprasit T., Kotaki Y., Lundholm N., Relox J. Jr., Furio E.F., Terada R., Yokoyama T., Kodama M., Fukuyo Y. Isolation of ASP toxin-producing *Nitzschia navis-varingica* from Thailand // Marine Research in Indonesia. 2008. V.33. P. 225–228. DOI: <https://doi.org/10.14203/mri.v33i2.498>
7. Suriyanti S.N.P., Usup G. First report of the toxigenic *Nitzschia navis-varingica* (Bacillariophyceae) isolated from Tebrau Straits, Johor, Malaysia // Toxicon. 2015. V.108. P. 257–263. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.toxicon.2015.10.017>

8. Tan S.N., Teng S.T., Lim H.C., Kotaki Y., Bates S.S., Leaw C.P., Lim P.T. Diatom *Nitzschia navis-varingica* (Bacillariophyceae) and its domoic acid production from the mangrove environments of Malaysia // Harmful Algae. 2016. V.60. P. 139–149. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.hal.2016.11.003>

9. Witkowski A., Li C.L., Zglobicka I., Yu S.X., Ashworth M., Dąbek P., Qin S., Tang C., Krzywda M., Ruppel M., Theriot E.C., Jansen R.K., Car A., Płociński T., Wang Y.C., Sabir J.S.M., Daniszewska-Kowalczyk G., Kierzek A., Hajrah N.H. Multigene assessment of biodiversity of diatom (Bacillariophyceae) assemblages from the littoral zone of the Bohai and Yellow Seas in Yantai region of northeast China with some remarks on ubiquitous taxa // J. of Coastal Research. 2016. V.74, No. sp1. P. 166–195. DOI: <https://doi.org/10.2112/S174-016.1>

Статья поступила в редакцию 18.06.2025; поступила после доработки 23.07.2025; принята к публикации 28.08.2025

Сведения об авторах

Давидович Николай Александрович – д.б.н., зав.лаб., Карадагская научная станция имени Т.И. Вяземского – природный заповедник РАН – филиал ФИЦ ИНБИОМ им. А.О. Ковалевского, Россия, Феодосия (Vyazemsky Karadag Scientific Station of Kovalevskii Institute of Biology of the Southern Seas, RAS, Russia, Feodosia); nickolaid@yandex.ru; ORCID – <https://orcid.org/0000-0002-3510-0453>; SPIN-код 3588-2870.

Давидович Ольга Ивановна – к.б.н., с.н.с., Карадагская научная станция имени Т.И. Вяземского – природный заповедник РАН – филиал ФИЦ ИНБИОМ им. А.О. Ковалевского, Россия, Феодосия (Vyazemsky Karadag Scientific Station of Kovalevskii Institute of Biology of the Southern Seas, RAS, Russia, Feodosia); olivdav@mail.ru; ORCID – <https://orcid.org/0000-0003-3024-0104>; SPIN-код 9137-1153.

Полякова Светлана Леонидовна – н.с., Карадагская научная станция имени Т.И. Вяземского – природный заповедник РАН – филиал ФИЦ ИНБИОМ им. А.О. Ковалевского, Россия, Феодосия (Vyazemsky Karadag Scientific Station of Kovalevskii Institute of Biology of the Southern Seas, RAS, Russia, Feodosia); svetlana.poliakova.77@mail.ru; ORCID – <https://orcid.org/0000-0002-1551-3031>; SPIN-код 8980-5197.

Никулин Вячеслав Юрьевич – к.б.н., с.н.с., ФНЦ Биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии ДВО РАН, Россия, Владивосток (Federal Scientific Center of the East Asia Terrestrial Biodiversity, Far Eastern Branch, RAS, Russia, Vladivostok); nikulinyacheslav@gmail.com; ORCID – <https://orcid.org/0000-0002-6643-4325>; SPIN-код 3656-1890.

Никулин Артур Юрьевич – к.б.н., с.н.с., ФНЦ Биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии ДВО РАН, Россия, Владивосток (Federal Scientific Center of the East Asia Terrestrial Biodiversity, Far Eastern Branch, RAS, Russia, Vladivostok); artyrozz@mail.ru; ORCID – <https://orcid.org/0000-0001-6113-2136>; SPIN-код 7072-0642.

Корреспондентский адрес: Россия, 298188, Феодосия, пос. Курортное ул. Науки, д. 24, Карадагская научная станция им. Т.И. Вяземского – природный заповедник РАН, тел. (36562) 26-212.

Nitzschia navis-varingica versus *N. traheiformis*: another cryptic diatom species complex

Nickolai A. Davidovich¹, Olga I. Davidovich¹, Svetlana L. Polyakova¹,
Vyacheslav Yu. Nikulin², Arthur Yu. Nikulin²

¹Vyazemsky Karadag Scientific Station of Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas, RAS
(Russia, Feodosia)

²FSC of the East Asia Terrestrial Biodiversity, Far Eastern Branch, RAS (Russia, Vladivostok)

Diatoms (Bacillariophyta) exhibit exceptional species diversity, with many species being morphologically similar, complicating their identification. Toxicogenic and invasive species present a particular challenge, requiring precise verification. This study focuses on *Nitzschia navis-varingica*, originally described from Vietnam and widely distributed in the Pacific Ocean, but recently reported in the Mediterranean and Marmara Seas. Through breeding experiments, morphometric analysis, and genetic sequencing (*rbcL*), we demonstrate that Mediterranean and Marmara specimens do not match the type material of *N. navis-varingica*, but show reproductive compatibility with *N. traheiformis*

from the Black Sea. Our results highlight the necessity of an integrative approach for delimiting cryptic species and call into question the presence of *N. navis-varingica* in the Mediterranean basin.

Key words: diatoms; distribution; toxin-producing; species differentiation

References

1. Ayaz F., Eker-Develi E., Sahin M. First report of *Nitzschia navis-varingica* in the Mediterranean Sea and growth stimulatory effects of *Nitzschia navis-varingica*, *Chrysochromulina alifera* and *Heterocapsa pygmaea* on different mammalian cell types. *Molecular Biology Reports*. 2018. V. 45. P. 571–579. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11033-018-4195-7>
2. Eker-Develi E., Kideys A.E. First record of the diatom *Nitzschia navis-varingica* in the Sea of Marmara. *Marine Science and Technology Bulletin*. 2022. V.11, Is.2. P. 231–235. DOI: <https://doi.org/10.33714/masteb.1121995>
3. Kotaki Y., Lundholm N., Onodera H., Kobayashi K., Bajarias F.A., Furio E.F., Iwataki M., Fukuyo Y., Kodama M. Wide distribution of *Nitzschia navis-varingica*, a new domoic acid-producing benthic diatom found in Vietnam. *Fisheries Science*. 2004. V.70, Is.1. P. 28–32. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1444-2906.2003.00766.x>
4. Lundholm N., Moestrup Ø. Morphology of the marine diatom *Nitzschia navis-varingica*, sp. nov. (Bacillariophyceae), another producer of the neurotoxin domoic acid. *Journal of Phycology*. 2000. V.36, Is.6. P. 1162–1174. DOI: <https://doi.org/10.1046/j.1529-8817.2000.99210.x>
5. Puilingi C., Tan S.N., Maeno Y., Leaw C.P., Lim P.T., Yotsu-Yamashita M., Terada R., Kotaki Y. First record of the diatom *Nitzschia navis-varingica* (Bacillariophyceae) producing amnesic shellfish poisoning-toxins from Papua New Guinea. *Toxicon*. 2022. V.216. P. 65–72. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.toxicon.2022.06.016>
6. Romero M.L.J., Lirdwitayaprasit T., Kotaki Y., Lundholm N., Relox J. Jr., Furio E.F., Terada R., Yokoyama T., Kodama M., Fukuyo Y. Isolation of ASP toxin-producing *Nitzschia navis-varingica* from Thailand. *Marine Research in Indonesia*. 2008. V.33. P. 225–228. DOI: <https://doi.org/10.14203/mri.v33i2.498>
7. Suriyanti S.N.P., Usup G. First report of the toxigenic *Nitzschia navis-varingica* (Bacillariophyceae) isolated from Tebrau Straits, Johor, Malaysia. *Toxicon*. 2015. V.108. P. 257–263. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.toxicon.2015.10.017>
8. Tan S.N., Teng S.T., Lim H.C., Kotaki Y., Bates S.S., Leaw C.P., Lim P.T. () Diatom *Nitzschia navis-varingica* (Bacillariophyceae) and its domoic acid production from the mangrove environments of Malaysia. *Harmful Algae*. 2016. V.60. P. 139–149. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.hal.2016.11.003>
9. Witkowski A., Li C.L., Zgłobicka I., Yu S.X., Ashworth M., Dąbek P., Qin S., Tang C., Krzywda M., Ruppel M., Theriot E.C., Jansen R.K., Car A., Płociński T., Wang Y.C., Sabir J.S.M., Daniszewska-Kowalczyk G., Kierzek A., Hajrah N.H. Multigene assessment of biodiversity of diatom (Bacillariophyceae) assemblages from the littoral zone of the Bohai and Yellow Seas in Yantai region of northeast China with some remarks on ubiquitous taxa. *J. of Coastal Research*. 2016. V.74, No. sp1. P. 166–195. DOI: <https://doi.org/10.2112/SI74-016.1>

ССЫЛКА НА СТАТЬЮ:

Давидович Н.А., Давидович О.И., Полякова С.Л., Никулин В.Ю., Никулин А.Ю. *Nitzschia navis-varingica* versus *N. traheiformis*: еще один комплекс криптических видов диатомовых // Вопросы современной альгологии. 2025. № 1 (37). P. 24–28. URL: <http://algology.ru/2115>

Davidovich N.A., Davidovich O.I., Polyakova S.L., Nikulin V.Yu., Nikulin A.Yu. *Nitzschia navis-varingica* versus *N. traheiformis*: another cryptic diatom species complex. *Voprosy sovremennoi algologii (Issues of modern algology)*. 2025. № 1 (37). P. 24–28. URL: <http://algology.ru/2115>

DOI – [https://doi.org/10.33624/2311-0147-2025-1\(37\)-24-28](https://doi.org/10.33624/2311-0147-2025-1(37)-24-28); EDN – GMLWSY

Половой процесс и экофизиологические особенности диатомовой водоросли *Nitzschia* sp. с острова Куба

Sexual process and ecophysiological features of the diatom *Nitzschia* sp. from Cuba

Давидович О.И.¹, Давидович Н.А.¹, Гололобова М.А.², Никулин В.Ю.³,
Никулин А.Ю.³, Гогорев Р.М.⁴

Olga I. Davidovich, Nickolai A. Davidovich, Maria A. Gololobova,
Vyacheslav Yu. Nikulin, Arthur Yu. Nikulin, Rinat M. Gogorev

¹Карадагская научная станция имени Т.И. Вяземского – природный заповедник РАН –
филиал ФИЦ ИНБЮМ имени А.О. Ковалевского (Феодосия, Россия)

²Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,
биологический факультет (Москва, Россия)

³ФНЦ Биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии ДВО РАН
(Владивосток, Россия)

⁴Ботанический институт имени В.Л. Комарова РАН (Санкт-Петербург, Россия)

В лабораторных условиях у диатомовой водоросли *Nitzschia* sp. из солоноватоводного водоема (ценот) Cueva de los Peces (Куба) было получено гетероталлическое изогамное половое воспроизведение и изучены экофизиологические характеристики (влияние солёности и освещённости). Исследования показали, что данный вид является широкотолерантным в отношении освещённости и солёности среды. Темп деления клеток порядка одного деления в сутки сохранялся в диапазоне солёности от 0 до 60‰, уменьшаясь до 0,2–0,4 делений в сутки при солёности 100‰. Половое воспроизведение происходило в более узком диапазоне от 20 до 40‰.

Ключевые слова: диатомовые водоросли; половое воспроизведение; солёность; освещённость

Nitzschia Hassal является одним из крупнейших родов диатомовых водорослей и в настоящее время включает около 900 действительно обнародованных видов (Mann, 1986). Представители этого рода населяют разнообразные водоемы, от пресных до солоноватых и морских. Уникальная среда обитания для *Nitzschia* находится в ценотах — карстовых воронках, образованных растворением известняка, соединяющихся с подземными системами грунтовых вод. В ценоте Cueva de los Peces на острове Куба, который, в отличие от большинства других ценотов, связан подземными каналами с водами Карибского моря, создается особый режим солёности. Из проб в виде соскоба обрастаний с камней и макрофитов были выделены клоновые культуры *Nitzschia* sp., которые содержали в стеклянных колбах объемом 100 мл в модифицированной среде ESAW (Полякова и др., 2018). В лабораторных условиях у исследованного вида

получено и изучено гетероталлическое половое воспроизведение, которое оказалось изогамным, и по системе Гайтлера (Geitler, 1973) может быть отнесено к типу IB2a.

Клоны диатомовой водоросли *Nitzschia* sp. продемонстрировали широкую толерантность к изменению солености. Все три клона, участвовавших в эксперименте, интенсивно делились в среде Dm, предназначенной для пресноводных видов, при этом сохраняя жизнеспособность в среде ESAW соленостью 100‰. Максимальный темп деления наблюдали в среде соленостью около 30‰. Половое воспроизведение происходило в значительно более узком диапазоне солености среды (от 20 до 40‰), при этом в среде с соленостью 40‰ наблюдали единичные случаи образования инициальных клеток, а максимальное количество инициальных клеток было отмечено в среде соленостью 20‰.

В экспериментах по влиянию освещенности на вегетативное деление клеток темп деления достигал максимума (порядка 1,0–1,2 делений·сутки⁻¹) при сравнительно небольшой освещенности (около 1 клк) и при дальнейшем ее увеличении вплоть до 5 клк практически не изменялся. При оптимальной освещенности, которая соответствует примерно 1,5 клк, темп деления составлял 1,18 ± 0,08 делений·сутки⁻¹.

В целом данный вид *Nitzschia* можно охарактеризовать как широко толерантный к освещенности и солености среды, что, очевидно, соответствует условиям его обитания.

Работа выполнена в рамках госзаданий Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (№ 124030100100-0, 121021600184-6 и 124012400285-7). Используются ресурсы Центра коллективного пользования «Коллекция диатомовых водорослей мирового океана».

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов, требующего раскрытия в данной статье.

Список литературы

1. Полякова С.Л., Давидович О.И., Подунай Ю.А., Давидович Н.А. Модификация среды ESAW, используемой для культивирования морских диатомовых водорослей // Морской биологический журнал. 2018. Т.3, №2. С. 73–80. DOI: <https://doi.org/10.21072/mbj.2018.03.2.06>
2. Geitler L. Auxosporenbildung und Systematik bei pennaten Diatomeen und die Cytologie von *Cocconeis*-Sippen // Österreichische Botanische Zeitschrift. 1973. V.122, №5. P. 299–321.
3. Mann D.G. *Nitzschia* subgenus *Nitzschia* (Notes for a monograph of the Bacillariaceae 2) // Ricard M. (ed.). Proceedings of the 8th International Diatom Symposium. – Koenigstein: O. Koeltz, 1986. P. 215–226.

Статья поступила в редакцию 18.06.2025; поступила после доработки 29.07.2025; принята к публикации 28.08.2025

Сведения об авторах

Давидович Ольга Ивановна – к.б.н., с.н.с., Карадагская научная станция им. Т.И. Вяземского – природный заповедник РАН – филиал ФИЦ ИНБЮМ имени А.О. Ковалевского, Россия, Феодосия (Vyazemsky Karadag Scientific Station of Kovalevskii Institute of Biology of the Southern Seas, RAS, Russia, Feodosia); olivdav@mail.ru; ORCID – <https://orcid.org/0000-0003-3024-0104>; SPIN-код 9137-1153.

Давидович Николай Александрович – д.б.н., зав.лаб., Карадагская научная станция им. Т.И. Вяземского – природный заповедник РАН – филиал ФИЦ ИНБЮМ имени А.О. Ковалевского, Россия, Феодосия (Vyazemsky Karadag Scientific Station of Kovalevskii Institute of Biology of the Southern Seas, RAS, Russia, Feodosia); nickolaid@yandex.ru; ORCID – <https://orcid.org/0000-0002-3510-0453>; SPIN-код 3588-2870.

Гололобова Мария Александровна – к.б.н., доцент, Московский Государственный Университет им. М.В. Ломоносова, биологический факультет, Россия, Москва (Lomonosov Moscow State University, Russia, Moscow); gololobovama@mail.ru; ORCID – <https://orcid.org/0000-0003-0781-603X>; SPIN-код 1627-7773.

Никулин Вячеслав Юрьевич – к.б.н., с.н.с., ФНЦ Биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии ДВО РАН, Россия, Владивосток (Federal Scientific Center of the East Asia Terrestrial Biodiversity, Far

Eastern Branch, RAS, Russia, Vladivostok); nikulinvyacheslav@gmail.com; ORCID – <https://orcid.org/0000-0002-6643-4325>; SPIN-код 3656-1890.

Никулин Артур Юрьевич – к.б.н., с.н.с., ФНЦ Биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии ДВО РАН, Россия, Владивосток (Federal Scientific Center of the East Asia Terrestrial Biodiversity, Far Eastern Branch, RAS, Russia, Vladivostok); artyrozz@mail.ru; ORCID – <https://orcid.org/0000-0001-6113-2136>; SPIN-код 7072-0642.

Гогорев Ринат Мухаметишаевич – к.б.н., в.н.с., Ботанический институт им. В.Л. Комарова РАН, Россия, Санкт-Петербург (Komarov Botanical Institute, RAS, Russia, St. Petersburg); RGogorev@binran.ru; ORCID – <https://orcid.org/0000-0001-8668-7912>; SPIN-код 7831-6392.

Корреспондентский адрес: Россия, 298188, Феодосия, пос. Курортное ул. Науки, д. 24, Карадагская научная станция им. Т.И. Вяземского – природный заповедник РАН, тел. (36562) 26-212.

Sexual process and ecophysiological features of the diatom *Nitzschia* sp. from Cuba

Olga I. Davidovich¹, Nickolai A. Davidovich¹, Maria A. Gololobova²,
Vyacheslav Yu. Nikulin³, Arthur Yu. Nikulin³, Rinat M. Gogorev⁴

¹Vyazemsky Karadag Scientific Station of Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas, RAS
(Russia, Feodosia)

²Lomonosov Moscow State University (Russia, Moscow)

³FSC of the East Asia Terrestrial Biodiversity, the Far Eastern Branch, RAS (Russia, Vladivostok)

⁴Komarov Botanical Institute, RAS (Russia, St. Petersburg)

Heterothallic isogamous sexual reproduction in the diatom *Nitzschia* sp. from a brackish cenote Cueva de los Peces (Cuba) was obtained in laboratory conditions. Ecophysiological characteristics (the effect of salinity and illumination) of *Nitzschia* sp. were studied. The research showed that this species is broadly tolerant to variations in light and salinity. The cell division rate remained at approximately one division per day within a salinity range of 0–60‰ and decreased to 0.2–0.4 divisions per day at 100‰ salinity. Sexual reproduction occurred within a narrower salinity range of 20–40‰.

Key words: diatoms; sexual reproduction; salinity; illuminance

References

1. Geitler L. Auxosporenbildung und Systematik bei pennaten Diatomeen und die Cytologie von *Cocconeis*-Sippen. *Österreichische Botanische Zeitschrift*. 1973. V.122, №5. P. 299–321.
2. Mann D.G. *Nitzschia* subgenus *Nitzschia* (Notes for a monograph of the Bacillariaceae 2). In: Ricard M. (Ed.). Proceedings of the 8th International Diatom Symposium. O. Koeltz, Koenigstein, 1986. P. 215–226.
3. Polyakova S.L., Davidovich O.I., Podunay Yu.A., Davidovich N.A. Modification of the ESAW culture medium used for cultivation of marine diatoms. *Marine Biological Journal*. 2018. V.3, №2. P.73–80. DOI: <https://doi.org/10.21072/mbj.2018.03.2.06>

ССЫЛКА НА СТАТЬЮ:

Давидович О.И., Давидович Н.А., Гололобова М.А., Никулин В.Ю., Никулин А.Ю., Гогорев Р.М. Половой процесс и экофизиологические особенности диатомовой водоросли *Nitzschia* sp. с острова Куба // Вопросы современной альгологии. 2025. № 1 (37). P. 29–31. URL: <http://algology.ru/2116>

Davidovich O.I., Davidovich N.A., Gololobova M.A., Nikulin V. Yu., Nikulin A. Yu., Gogorev R.M. Sexual process and ecophysiological features of the diatom *Nitzschia* sp. from Cuba. *Voprosy sovremennoi algologii (Issues of modern algology)*. 2025. № 1 (37). P. 29–31. URL: <http://algology.ru/2116>

DOI – [https://doi.org/10.33624/2311-0147-2025-1\(37\)-29-31](https://doi.org/10.33624/2311-0147-2025-1(37)-29-31); EDN – HEDQPK

Морфологическое и молекулярно-филогенетическое исследование *Mastogloia* cf. *cyclops* из Южно-Китайского моря (Вьетнам)

Morphological and molecular study of *Mastogloia* cf. *cyclops* from the South China Sea (Vietnam)

Капустин Д.А.¹, Кезля Е.М.¹, Глущенко А.М.¹, Мальцев Е.И.¹,
Доан Нху Хай², Нгуен Нгок Лам², Хуинь Тхи Нгок Дуйен²,
Куликовский М.С.¹

Dmitry A. Kapustin, Elena M. Kezlya, Anton M. Glushchenko,
Yevhen I. Maltsev, Doan Nhu Hai, Nguyen Ngoc Lam,
Huynh Thi Ngoc Duyen, Maxim S. Kulikovskiy

¹Институт физиологии растений имени К.А. Тимирязева РАН – ИФР РАН
(Москва, Россия)

²Институт океанографии Вьетнамской академии наук и технологий (Нячанг, Вьетнам)

К роду *Mastogloia* принадлежат преимущественно морские диатомовые водоросли со специализированной вальвокопулой – партектой. Мы изолировали из прибрежных вод Вьетнама вид, морфологически сходный с *M. cyclops*. Детальное изучение с использованием световой и сканирующей электронной микроскопии, а также молекулярно-филогенетический анализ на основе последовательностей 18S рДНК и *rbcL* позволило нам описать новый для науки род и вид, *Stigmatogloia lobbanii* gen. et sp. nov.

Ключевые слова: диатомовые водоросли; морфология; СЭМ; Вьетнам

Mastogloia Thwaites ex W. Smith – один из наиболее крупных родов диатомовых водорослей, насчитывающий около 600 видов. Представители рода обитают преимущественно в морях и солоноватоводных водоемах, но также встречаются и в пресных водах.

Отличительной особенностью панциря рода *Mastogloia* является наличие так называемого партектального кольца – видоизмененной вальвокопулы, образующей ряд полых камер (партект). Форма и расположение партект является важным таксономическим признаком, который используется для определения видов.

Изучая разнообразие диатомовых водорослей Южно-Китайского моря в окрестностях г. Нячанг (Вьетнам), мы обнаружили необычный вид из рода *Mastogloia*, характеризующийся наличием круглой стигмы в центральной части створки. Единственным видом *Mastogloia*, имеющим стигму, является *M. cyclops* Voigt,

описанный из Японии и Восточной Индии. Однако, наш вид отличался от *M. cyclops* по форме створок и форме концов, а также меньшими размерами. Морфологически более близкими к нашему виду были виды, идентифицированные как *M. cyclops* другими авторами (Kezlya et al., 2024), но и здесь отмечались отличия в размерах створок, их форме, количестве партекты в 10 мкм и т.д.

Молекулярно-филогенетический анализ на основе последовательностей генов 18S рДНК и *rbcL* показал значительную генетическую гетерогенность представителей рода *Mastogloia*, однако, из-за небольшого числа молекулярных данных таксономическая ревизия рода пока невозможна. Тем не менее, наличие такого уникального признака как стигма, а также отличия в строении шва, створки и порового аппарата нашего вида от типового вида рода *Mastogloia*, *M. danseyi* Thwaites ex W. Smith, позволило нам описать новый для науки род и вид *Stigmatogloia lobbani* Glushchenko et al. (Kezlya et al., 2024).

Работа выполнена при поддержке гранта РНФ 24-44-04006 (<https://rscf.ru/project/24-44-04006/>) и Вьетнамской Академии наук и технологий (проект №QTRU06.05/24-26).

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов, требующего раскрытия в данной статье.

Список литературы

1. Kezlya E., Glushchenko A., Kapustin D., Maltsev Y., Doan-Nhu H., Kulikovskiy M. *Stigmatogloia lobbani* gen. et sp. nov. (Bacillariophyceae, Mastogloiales), a new stigma-bearing diatom genus separated from *Mastogloia* // Phytotaxa. 2024. V.677. P. 49–65. DOI: <https://doi.org/10.11646/phytotaxa.677.1.2>

Статья поступила в редакцию 18.06.2025; поступила после доработки 23.07.2025; принята к публикации 28.08.2025

Сведения об авторах

Капустин Дмитрий Александрович – к.б.н., с.н.с., Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН (ИФР РАН), Россия, Москва (Timiryazev Institute of Plant Physiology RAS, Russia, Moscow); phycology@mail.ru; ORCID – <https://orcid.org/0000-0003-3256-7776>; SPIN-код 3867-9072.

Кезля Елена Михайловна – к.б.н., с.н.с., Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН (ИФР РАН), Россия, Москва (Timiryazev Institute of Plant Physiology, RAS, Russia, Moscow); melosira@mail.ru; ORCID – <https://orcid.org/0000-0002-5263-9338>; SPIN-код 3196-8240.

Глушченко Антон Михайлович – к.б.н., в.н.с., Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН (ИФР РАН), Россия, Москва (Timiryazev Institute of Plant Physiology, RAS, Russia, Moscow); chelovek91_91@mail.ru; ORCID – <https://orcid.org/0000-0002-3876-3455>; SPIN-код 1506-0119.

Мальцев Евгений Иванович – д.б.н., в.н.с., Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН (ИФР РАН), Россия, Москва (Timiryazev Institute of Plant Physiology, RAS, Russia, Moscow); maltsev.ye@yandex.ru; ORCID – <https://orcid.org/0000-0003-4710-319X>; SPIN-код 9410-6478.

Доан Нху Хай – профессор, с.н.с., Институт океанографии Вьетнамской академии наук и технологий, Вьетнам, Нячанг (Institute of Oceanography, Viet Nam Academy of Science and Technology, Viet Nam, Nha Trang); haidoan-ion@planktonviet.com; ORCID – <https://orcid.org/0000-0003-4261-7255>.

Нгуен Нгок Лам – профессор, с.н.с., Институт океанографии Вьетнамской академии наук и технологий, Вьетнам, Нячанг (Institute of Oceanography, Viet Nam Academy of Science and Technology, Viet Nam, Nha Trang).

Хуинь Тхи Нгок Дуйен – Институт океанографии Вьетнамской академии наук и технологий, Вьетнам, Нячанг (Institute of Oceanography, Viet Nam Academy of Science and Technology, Viet Nam, Nha Trang).

Куликовский Максим Сергеевич – д.б.н., г.н.с., Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН (ИФР РАН), Россия, Москва (Timiryazev Institute of Plant Physiology, RAS, Russia, Moscow); max-kulikovsky@yandex.ru; ORCID – <https://orcid.org/0000-0003-0999-9669>; SPIN-код 4170-2884.

Корреспондентский адрес: Россия, 127276, Москва, ул. Ботаническая, д. 35, ИФР РАН, тел. (499) 678-54-00.

Morphological and molecular study of *Mastogloia* cf. *cyclops* from the South China Sea (Vietnam)

Dmitry A. Kapustin¹, Elena M. Kezlya¹, Anton M. Glushchenko¹, Yevhen I. Maltsev¹, Doan Nhu Hai², Nguyen Ngoc Lam², Huynh Thi Ngoc Duyen², Maxim S. Kulikovskiy¹

¹Timiryazev Institute of Plant Physiology, RAS (Russia, Moscow)

²Institute of Oceanography, Viet Nam Academy of Science and Technology (Viet Nam, Nha Trang)

The genus *Mastogloia* comprises mainly marine diatoms with a modified and specialized valvocopula called partecta. We isolated a new species, morphologically similar to *M. cyclops*, from the coastal waters of Viet Nam. A detailed study using light and scanning electron microscopy as well as molecular phylogenetic analysis based on SSU rDNA and *rbcL* sequences led us to describe a new genus and species, *Stigmatogloia lobbanii*.

Key words: Diatoms; morphology; SEM; Viet Nam

References

1. Kezlya E., Glushchenko A., Kapustin D., Maltsev Y., Doan-Nhu H., Kulikovskiy M. *Stigmatogloia lobbanii* gen. et sp. nov. (Bacillariophyceae, Mastogloiales), a new stigma-bearing diatom genus separated from *Mastogloia*. *Phytotaxa*. 2024. V.677. P. 49–65. DOI: <https://doi.org/10.11646/phytotaxa.677.1.2>

ССЫЛКА НА СТАТЬЮ:

Капустин Д.А., Кезля Е.М., Глущенко А.М., Мальцев Е.И., Доан-Нху Хай, Нгуен Нгок Лам, Хуинь Тхи Нгок Дуйен, Куликовский М.С. Морфологическое и молекулярно-филогенетическое исследование *Mastogloia* cf. *cyclops* из Южно-Китайского моря (Вьетнам) // Вопросы современной альгологии. 2025. № 1 (37). P. 32–34. URL: <http://algology.ru/2120>

Kapustin D.A., Kezlya E.M., Glushchenko A.M., Maltsev Y.I., Doan-Nhu H., Nguyen Ngoc L., Huynh Thi Ngoc D., Kulikovskiy M.S. Morphological and molecular study of *Mastogloia* cf. *cyclops* from the South China Sea (Vietnam). *Voprosy sovremennoi algologii* (Issues of modern algology). 2025. № 1 (37). P. 32–34. URL: <http://algology.ru/2120>

DOI – [https://doi.org/10.33624/2311-0147-2025-1\(37\)-32-34](https://doi.org/10.33624/2311-0147-2025-1(37)-32-34); EDN – KLFAEZ

Филогенетическое положение новых штаммов *Ochromonas*-образных золотистых водорослей из Приморского края

Phylogenetic placement of the new strains of the *Ochromonas*-like chrysophytes from Primorsky Krai

Капустин Д.А., Кезля Е.М., Куликовский М.С.

Dmitry A. Kapustin, Elena M. Kezlya, Maxim S. Kulikovskiy

Институт физиологии растений имени К.А. Тимирязева РАН – ИФР РАН
(Москва, Россия)

К *Ochromonas*-образным золотистым водорослям относятся миксотрофные фитофлагеллаты с двумя неравными жгутиками. В 2019 г. из Кронштадского водохранилища (Приморский край) были изолированы три штамма, предварительно идентифицированные как *Ochromonas* sp. Морфологически эти штаммы близки к *Ochromonas pyriformis* Matvienko, но отличаются количеством хлоропластов. Молекулярно-филогенетические исследования на основе последовательностей генов 18S рДНК и *rbcL* показали, что эти штаммы принадлежат к недавно восстановленному роду *Chlorochromonas* I.F. Lewis, и, вероятно, являются новым для науки видом.

Ключевые слова: золотистые водоросли; *Ochromonas*; *Chlorochromonas*; морфология; филогения

К роду *Ochromonas* традиционно относятся одноклеточные золотистые водоросли с голыми клетками и двумя жгутиками разной длины. Представители рода встречаются в пресных, солоноватоводных и морских экосистемах по всему миру, но идентификация их сложна из-за мелких размеров, ограниченного числа морфологических признаков и их изменчивости, а также необходимости изучения структуры стоматоцист, которые не всегда могут наблюдаться в природном материале или культуре.

Ревизия рода *Ochromonas* с применением интегративного подхода показала, что род полифилетичен, а *Ochromonas*-образные золотистые водоросли формируют на филогенетическом древе 14 клад (Andersen et al., 2017). В результате были восстановлены забытые роды *Chrysastrella* Chodat и *Chlorochromonas* I.F. Lewis, а также описан новый род *Melkoniania* R.A. Andersen & H.-S. Yoon (Andersen et al., 2017).

В 2019 г. из Кронштадского водохранилища (Приморский край) были изолированы три штамма (V1207, V1208, V1209), предварительно идентифицированные нами как *Ochromonas* sp. Морфологически они не отличаются между собой, что позволяет предположить, что они относятся к одному виду. Клетки наших штаммов обратнойцевидные, 10,5×5 мкм, сильно метаболические, с небольшим роостром на

переднем конце клетки, задний конец клетки вытянут в стебелек. Жгутиков два. Длинный жгутик превышает длину клетки. Хлоропласт один. Стилма расположена при основе короткого жгутика. Морфологически наши штаммы сходны с *Ochromonas pyriformis* Matvienko, однако, у этого вида два хлоропласта.

Для определения систематического положения наших штаммов был проведен молекулярно-филогенетический анализ на основе последовательностей 18S рДНК. Оказалось, что наши штаммы относятся не к *Ochromonas* s. str., а к недавно восстановленному роду *Chlorochromonas*. Нуклеотидные последовательности 18S рДНК наших штаммов на 99,4% сходны с штаммом *Chlorochromonas danica* CCMP588. *Chlorochromonas danica* (E.G. Pringsh.) R.A. Andersen et al. ($\equiv$ *Ochromonas danica* E.G. Pringsh.) – популярный модельный вид, используемый в различных физиолого-биохимических, биотехнологических и других исследованиях. Размеры клеток *Ch. danica* (16-18×8-9 мкм) существенно превышают размеры клеток наших штаммов (10,5×5 мкм), а учитывая также и генетические отличия, можно констатировать, что наши штаммы относятся к новому для науки виду рода *Chlorochromonas*.

Работа выполнена при поддержке гранта РНФ 24-24-00372 (<https://rscf.ru/project/24-24-00372/>).

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов, требующего раскрытия в данной статье.

Список литературы

1. Andersen R.A., Graf L., Malakhov Yu., Yoon H.S. Rediscovery of the *Ochromonas* type species *Ochromonas triangulata* (Chrysophyceae) from its type locality (Lake Veysove, Donetsk region, Ukraine) // *Phycologia*. 2017. V.56. P. 591–604. DOI: <https://doi.org/10.2216/17-15.1>

Статья поступила в редакцию 18.06.2025; поступила после доработки 23.07.2025; принята к публикации 28.08.2025

Сведения об авторах

Капустин Дмитрий Александрович – к.б.н., с.н.с., Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН (ИФР РАН), Россия, Москва (Timiryazev Institute of Plant Physiology, RAS, Russia, Moscow); phycology@mail.ru; ORCID – <https://orcid.org/0000-0003-3256-7776>; SPIN-код 3867-9072.

Кезля Елена Михайловна – к.б.н., с.н.с., Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН (ИФР РАН), Россия, Москва (Timiryazev Institute of Plant Physiology, RAS, Russia, Moscow); melosira@mail.ru; ORCID – <https://orcid.org/0000-0002-5263-9338>; SPIN-код 3196-8240.

Куликовский Максим Сергеевич – д.б.н., г.н.с., Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН (ИФР РАН), Россия, Москва (Timiryazev Institute of Plant Physiology, RAS, Russia, Moscow); max-kulikovsky@yandex.ru; ORCID – <https://orcid.org/0000-0003-0999-9669>; SPIN-код 4170-2884.

Корреспондентский адрес: Россия, 127276, Москва, ул. Ботаническая, д. 35, ИФР РАН, тел. (499) 678-54-00.

Phylogenetic placement of the new strains of the *Ochromonas*-like Chrysophytes (Primorsky Krai)

Dmitry A. Kapustin, Elena M. Kezlya, Maxim S. Kulikovskiy

Timiryazev Institute of Plant Physiology, RAS (Russia, Moscow)

Ochromonas-like chrysophytes are myxotrophic phytoflagellates with two unequal flagella. In 2019 three strains, tentatively identified as *Ochromonas* sp., were isolated from Kronshtadt Reservoir (Primorye Territory). Morphologically these strains are close to *Ochromonas pyriformis* Matvienko but differ in chloroplast number. Molecular and phylogenetic studies based on the 18S рДНК and *rbcL* showed that these strains belong to *Chlorochromonas* I.F. Lewis, a recently reinstated genus, and probably they are a new species to science.

Key words: chrysophytes; *Ochromonas*; *Chlorochromonas*; morphology; phylogeny

References

1. Andersen R.A., Graf L., Malakhov Yu., Yoon H.S. Rediscovery of the *Ochromonas* type species *Ochromonas triangulata* (Chrysophyceae) from its type locality (Lake Veysove, Donetsk region, Ukraine). *Phycologia*. 2017. V.56. P. 591–604. DOI: <https://doi.org/10.2216/17-15.1>

ССЫЛКА НА СТАТЬЮ:

Капустин Д.А., Кезля Е.М., Куликовский М.С. Филогенетическое положение новых штаммов *Ochromonas*-образных золотистых водорослей из Приморского края // Вопросы современной альгологии. 2025. № 1 (37). P. 35–37. URL: <http://algology.ru/2121>

Kapustin D.A., Kezlya E.M., Kulikovskiy M.S. Phylogenetic placement of the new strains of the *Ochromonas*-like Chrysophytes (Primorsky Krai). *Voprosy sovremennoi algologii (Issues of modern algology)*. 2025. № 1 (37). P. 35–37. URL: <http://algology.ru/2121>

DOI – [https://doi.org/10.33624/2311-0147-2025-1\(37\)-35-37](https://doi.org/10.33624/2311-0147-2025-1(37)-35-37); EDN – KQIDKV

Морфологическая и генетическая вариабельность *Schizostauron* из Южно-Китайского моря (Вьетнам)

Morphological and genetic variability of *Schizostauron* from the South China Sea (Vietnam)

Кезля Е.М.¹, Капустин Д.А.¹, Глущенко А.М.¹, Цеплик Н.Д.¹,
Мальцев Е.И.¹, Генкал С.И.², Доан-Нху Хай³, Нгуен Нгок Лам³,
Хуинь Тхи Нгок Дуйен³, Куликовский М.С.¹

Elena M. Kezlya, Dmitry A. Kapustin, Anton M. Glushchenko,
Natalia D. Tseplik, Yevhen I. Maltsev, Sergey I. Genkal, Doan Nhu Hai,
Nguyen Ngoc Lam, Huynh Thi Ngoc Duyen, Maxim S. Kulikovskiy

¹Институт физиологии растений имени К.А. Тимирязева РАН – ИФР РАН
(Москва, Россия)

²Институт биологии внутренних вод имени И.Д. Папанина РАН (Борок, Россия)

³Институт океанографии Вьетнамской академии наук и технологий (Нячанг, Вьетнам)

Из проб эпифитона прибрежной зоны Южно-Китайского моря в окрестностях г. Нячанг (Вьетнам) получено 7 штаммов *Schizostauron*. Выявлена значительная вариабельность морфометрических признаков внутри штаммов и различия по региону *rbcL* между штаммами, отнесенными к одному морфотипу.

Ключевые слова: диатомовые водоросли; эпифиты; Южно-Китайское море; молекулярная филогения

Материалом для настоящего исследования послужили смывы с макроводорослей, собранные в июле 2024 г. во время совместной Российско-Вьетнамской экспедиции вдоль побережья Южно-Китайского моря к северу от г. Нячанг (Вьетнам). При помощи световой и сканирующей электронной микроскопии подробно изучена морфология 7 штаммов *Schizostauron* Grunow. Филогенетический анализ проведен на основе генов 18S rRNA и *rbcL*. Выявлена значительная вариабельность морфометрических признаков внутри штаммов. Длина/ширина клеток в культуре варьировалась в 1,5–2,2 раза. Эта особенность уже была показана для представителей рода ранее (Davidovich et al. 2017). Все изученные штаммы отнесены к одному морфотипу. По гену 18S rRNA все штаммы имеют 100% сходство, тогда как по гену *rbcL* два штамма отличаются от остальных на 0,8%. У диатомовых такое отличие часто соответствует межвидовому. Результаты сравнения морфологических признаков с известными видами *Schizostauron* выявили ряд отличий, на филогенетическом древе штаммы формируют отдельную ветвь. Таким образом, на основании полученных данных мы предлагаем новый для науки вид.

Авторы выражают признательность к.б.н. Р.А. Ракитову (ПИН РАН) за помощь при работе на СЭМ.

Работа выполнена при поддержке Российского Научного Фонда (№ 24-44-04006, <https://rscf.ru/project/24-44-04006/>) и Вьетнамской Академии Наук и Технологий (№ QTRU06.05/24-26).

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов, требующего раскрытия в данной статье.

Список литературы

1. Davidovich N. A., Davidovich O. I., Witkowski A., Li C., Dabek P., Mann D. G., Zglobicka I., Kurzydłowski K.J., Gusev E., Górecka E., Krzywda M. Sexual reproduction in *Schizostauron* (Bacillariophyta) and a preliminary phylogeny of the genus // *Phycologia*. 2017. V.56(1). P. 77–93. DOI: <https://doi.org/10.2216/16-29.1>

Статья поступила в редакцию 18.06.2025; поступила после доработки 23.07.2025; принята к публикации 28.08.2025

Сведения об авторах

Кезля Елена Михайловна – к.б.н., с.н.с., Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН (ИФР РАН), Россия, Москва (Timiryazev Institute of Plant Physiology, RAS, Russia, Moscow); melosira@mail.ru; ORCID – <https://orcid.org/0000-0002-5263-9338>; SPIN-код 3196-8240.

Капустин Дмитрий Александрович – к.б.н., с.н.с., Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН (ИФР РАН), Россия, Москва (Timiryazev Institute of Plant Physiology, RAS, Russia, Moscow); phycology@mail.ru; ORCID – <https://orcid.org/0000-0003-3256-7776>; SPIN-код 3867-9072.

Глуценко Антон Михайлович – к.б.н., в.н.с., Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН (ИФР РАН), Россия, Москва (Timiryazev Institute of Plant Physiology, RAS, Russia, Moscow); chelovek91_91@mail.ru; ORCID – <https://orcid.org/0000-0002-3876-3455>; SPIN-код 1506-0119.

Цеплик Наталья Денисовна – н.с., Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН (ИФР РАН), Россия, Москва (Timiryazev Institute of Plant Physiology, RAS, Russia, Moscow); ntseplik@gmail.com; ORCID – <https://orcid.org/0009-0005-7752-5221>; SPIN-код 5381-9610.

Мальцев Евгений Иванович – д.б.н., в.н.с., Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН (ИФР РАН), Россия, Москва (Timiryazev Institute of Plant Physiology, RAS, Russia, Moscow); maltsev.ye@yandex.ru; ORCID – <https://orcid.org/0000-0003-4710-319X>; SPIN-код 9410-6478.

Генкал Сергей Иванович – д.б.н., г.н.с., Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН Россия, Ярославская обл., Некоузский р-н, п. Борок (Papanin Institute for Biology of Inland Waters, RAS, Russia, Borok); genkal47@mail.ru; ORCID – <https://orcid.org/0000-0001-6475-4029>; SPIN-код 8325-7470.

Доан Нху Хай – профессор, с.н.с., Институт океанографии Вьетнамской академии наук и технологий, Вьетнам, Нячанг (Institute of Oceanography, Viet Nam Academy of Science and Technology, Viet Nam, Nha Trang); haidoan-ion@planktonviet.com; ORCID – <https://orcid.org/0000-0003-4261-7255>.

Нгуен Нгок Лам – профессор, с.н.с., Институт океанографии Вьетнамской академии наук и технологий, Вьетнам, Нячанг (Institute of Oceanography, Viet Nam Academy of Science and Technology, Viet Nam, Nha Trang).

Хуинь Тхи Нгок Дуйен – н.с., Институт океанографии Вьетнамской академии наук и технологий, Вьетнам, Нячанг (Institute of Oceanography, Viet Nam Academy of Science and Technology, Viet Nam, Nha Trang).

Куликовский Максим Сергеевич – д.б.н., г.н.с., Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН (ИФР РАН), Россия, Москва (Timiryazev Institute of Plant Physiology, RAS, Russia, Moscow); max-kulikovskiy@yandex.ru; ORCID – <https://orcid.org/0000-0003-0999-9669>; SPIN-код 4170-2884.

Корреспондентский адрес: Россия, 127276, Москва, ул. Ботаническая, д. 35, ИФР РАН, тел. (499) 678-54-00.

Morphological and genetic variability of *Schizostauron* from the South China Sea (Vietnam)

Elena M. Kezlya¹, Dmitry A. Kapustin¹, Anton M. Glushchenko¹, Natalia D. Tseplik¹, Yevhen I. Maltsev¹, Sergey I. Genkal², Doan Nhu Hai³, Nguyen Ngoc Lam³, Huynh Thi Ngoc Duyen³, Maxim S. Kulikovskiy¹

¹Timiryazev Institute of Plant Physiology, RAS (Russia, Moscow)

²Papanin Institute for Biology of Inland Waters, RAS (Russia, Borok)

³Institute of Oceanography, Viet Nam Academy of Science and Technology (Viet Nam, Nha Trang)

Seven strains of *Schizostauron* were obtained from epiphyton samples in the coastal zone of the South China Sea in the vicinity of Nha Trang (Viet Nam). Significant variability of morphometric features within the strains and differences in the *rbcL* region between strains assigned to the same morphotype were revealed.

Key words: Diatoms; epiphytes; South China Sea; molecular phylogeny

References

1. Davidovich N. A., Davidovich O. I., Witkowski A., Li C., Dabek P., Mann D. G., Zgłobicka I., Kurzydłowski K.J., Gusev E., Górecka E., Krzywda M. Sexual reproduction in *Schizostauron* (Bacillariophyta) and a preliminary phylogeny of the genus. *Phycologia*. 2017. V.56(1). P. 77–93. DOI: <https://doi.org/10.2216/16-29.1>

ССЫЛКА НА СТАТЬЮ:

Кезля Е.М., Капустин Д.А., Глущенко А.М., Цеплик Н.Д., Мальцев Е.И., Генкал С.И., Доан-Нху Хай, Нгуен Нгок Лам, Хуинь Тхи Нгок Дуйен, Куликовский М.С. Морфологическая и генетическая вариабельность *Schizostauron* из Южно-Китайского моря (Вьетнам) // Вопросы современной альгологии. 2025. № 1 (37). P. 38–40. URL: <http://algology.ru/2122>

Kezlya E.M., Kapustin D.A., Glushchenko A.M., Tseplik N.D., Maltsev Y.I., Genkal S.I., Doan-Nhu H., Nguyen Ngoc L., Huynh Thi Ngoc D., Kulikovskiy M.S. Morphological and genetic variability of *Schizostauron* from the South China Sea (Vietnam). *Voprosy sovremennoi algologii (Issues of modern algology)*. 2025. № 1 (37). P. 38–40. URL: <http://algology.ru/2122>

DOI – [https://doi.org/10.33624/2311-0147-2025-1\(37\)-38-40](https://doi.org/10.33624/2311-0147-2025-1(37)-38-40); EDN – LWFTOR

Широкая или узкая концепция в систематике диатомовых водорослей?

Broad or narrow concept in diatom systematics?

Куликовский М.С.¹, Миронов А.В.^{1,2}

Maxim S. Kulikovskiy, Andrei V. Mironov

¹Институт физиологии растений имени К.А. Тимирязева РАН – ИФР РАН
(Москва, Россия)

²Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,
биологический факультет (Москва, Россия)

В систематике диатомовых водорослей неоднократно менялись подходы и выбор между широкой и узкой концепциями в классификации. Широкая концепция объединяет роды в один более крупный или несколько видов в один, что упрощает идентификацию. Однако с развитием электронной микроскопии и молекулярных методов появилась возможность более детального изучения ультраструктурных признаков панциря – швов, штрихов, поровых структур и других особенностей. Это позволило перейти к узкой концепции, которая точнее отражает филогенетические связи и выявляет скрытое таксономическое разнообразие. Современные молекулярные данные подтверждают необходимость пересмотра широких групп и выделения новых таксонов. Для глубоких эволюционных исследований предпочтительна узкая концепция, которая с помощью полифазного подхода – интеграции морфологических и генетических данных – формирует более точную и гибкую систему, учитывающую как общие, так и уникальные признаки таксонов.

Ключевые слова: диатомеи; систематика; концепция видов; филогения; молекулярная генетика

В контексте диатомовых водорослей, одной из самых разнообразных и экологически значимых групп водорослей, вопрос выбора между широкой и узкой концепцией систематики является особенно актуальным. Широкая концепция предполагает объединение нескольких родов в один или нескольких видов в один более крупный. Такой подход удобен для упрощения классификации, облегчает идентификацию родов, видов. Широкая концепция видов и родов, сформированная в XX веке, в результате изучения диатомовых водорослей с помощью методов световой микроскопии, в последние десятилетия претерпела значительные изменения (Mann, 1984; 1999). Главным идеологом широкой концепции вида и рода был Ф. Хустедт, когда несмотря на большое число описанных им видов, многие из них объединялись в один. Но большее влияние Хустедт оказал на систематику на родовом уровне. Это же направление было продолжено в ранних работах Хорста Ланге-Берталота и Курта Краммера (Krammer & Lange-Bertalot, 1985; 1986; 1988).

Основой для пересмотра классической, широкой концепции таксонов стали новые данные, полученные с помощью сканирующей и трансмиссионной электронной микроскопии, а также молекулярно-генетического анализа. В современной систематике диатомовых водорослей особую важность приобретает анализ филогенетически значимых, ультраструктурных признаков панциря. Подробное изучение таких признаков как тип организации шва, строение штрихов, ареол и поровых окклюзий, наличие, положение и количество дополнительных структур панциря (стигм, стигмоидов, апикальных поровых полей, кавумов, синусов и т.д.) позволяет установить систематическую принадлежность родов и видов, а также определить филогенетические отношения между более крупными таксономическими группами. Таким образом, узкая концепция позволяет точнее отразить филогенетические связи и эволюционную историю, выявить скрытое разнообразие и уточнить статус отдельных групп.

Современные молекулярно-генетические исследования часто поддерживают необходимость пересмотра традиционных широких групп, предлагая выделять новые семейства и роды. В результате наших исследований узкая концепция была применена для описания новых семейств Encyonemataceae Kulikovskiy, Mironov, Maltsev & Kociolek и Witkowsiaceae Kulikovskiy, Mironov, Maltsev & Kociolek в составе порядка Cymbellales (Mironov et al., 2024), а также семейства Nupelaceae Tseplik, Glushchenko, Genkal, Maltsev & Kulikovskiy в составе порядка Naviculales (Tseplik et al., 2025). На уровне родов было описано более 20 новых таксонов и более 500 новых видов. Результаты проведенных нами анализов однозначно установили, что для углубленных эволюционных исследований и реконструкции филогении предпочтительнее узкий подход, позволяющий выявить тонкие различия и установить более точные родственные связи. Интеграция морфологических и молекулярных данных при применении полифазного подхода способствует формированию более объективной и гибкой системы, которая учитывает как общие сходства, так и уникальные особенности отдельных таксонов.

Работа выполнена при поддержке гранта РНФ 24-14-00165 (<https://rscf.ru/project/24-14-00165/> дата обращения 26 мая 2025), гранта РНФ 24-44-03001 (<https://rscf.ru/project/24-44-03001/> дата обращения 26 мая 2025) и в рамках госзадания Министерства образования и науки Российской Федерации (№ 122042700045–3).

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов, требующего раскрытия в данной статье.

Список литературы

1. Krammer K., Lange-Bertalot H. Bacillariophyceae. 2 Teil: Bacillariaceae, Epithemiaceae, Surirellaceae // Ettl H., Gerloff J., Heynig H., Mollenhauer D. (eds). Süßwasserflora von Mitteleuropa. Band 2. – Jena: Gustav Fischer Verlag, 1988. – P. 1–610.
2. Krammer K., Lange-Bertalot H. Naviculaceae Neue und wenig bekannte Taxa, neue Kombinationen und Synonyme sowie Bemerkungen zu einigen Gattungen // Bibliotheca Diatomologica. 1985. V. 9. P. 1–230.
3. Krammer K., Lange-Bertalot H. Süßwasserflora von Mitteleuropa. Bacillariophyceae: Naviculaceae. Vol. 2/1. – Stuttgart & New York: Gustav Fischer Verlag, 1986. – 876 p.
4. Mann D.G. An ontogenetic approach to diatom systematics // Proceedings of the 7th International Diatom Symposium. 1984. V.113, №144.
5. Mann D.G. The species concept in diatoms // Phycologia. 1999. V.38, №2. P. 437–495. DOI: <https://doi.org/10.2216/i0031-8884-38-6-437.1>
6. Mironov A., Maltsev Y., Kociolek J.P., Kezlya E., Liu Y., Kulikovskiy M. Description of Encyonemataceae fam. nov. and Witkowsiaceae fam. nov. (Bacillariophyceae, Cymbellales) based on molecular and morphological analyses // Scientific Reports. 2024. V.14, №.1 ID 31045. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-024-82213-0>

7. Tseplik N., Glushchenko A., Maltsev Y., Genkal S., Nergui S., Kulikovskiy M. Molecular investigation of *Nupela mongolica* sp. nov. (Bacillariophyceae) with the description of the family *Nupelaceae* fam. nov. // Phytotaxa. 2025. V.681, №2. P. 186–198. DOI: <https://doi.org/10.11646/phytotaxa.681.2.4>

Статья поступила в редакцию 18.06.2025; поступила после доработки 10.07.2025; принята к публикации 28.08.2025

Сведения об авторах

Куликовский Максим Сергеевич – д.б.н., г.н.с., Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН (ИФР РАН), Россия, Москва (Timiryazev Institute of Plant Physiology, RAS, Russia, Moscow); mx-kulikovsky@yandex.ru; ORCID – <https://orcid.org/0000-0003-0999-9669>; SPIN-код 4170-2884.

Миронов Андрей Витальевич – м.н.с., Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН (ИФР РАН), Россия, Москва (Timiryazev Institute of Plant Physiology, RAS, Russia, Moscow); Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, биологический факультет, Москва, Россия (Lomonosov Moscow State University, Russia, Moscow); diatomironov@yandex.ru; ORCID – <https://orcid.org/0000-0001-9936-0652>; SPIN-код 6772-3614.

Корреспондентский адрес: Россия, 127276, Москва, ул. Ботаническая, д. 35, ИФР РАН, тел. (499) 678-54-00.

Broad or narrow concept in diatom systematics?

Maxim S. Kulikovskiy¹, Andrei V. Mironov^{1,2}

¹Timiryazev Institute of Plant Physiology, RAS (Russia, Moscow)

²Lomonosov Moscow State University (Russia, Moscow)

In the systematics of diatoms, approaches and the choice between broad and narrow concepts in classification have repeatedly changed. The broad concept unites many genera and species into large taxonomic groups, which makes it easier to identify. However, with the development of electron microscopy and methods of molecular phylogenetics, detailed study of the ultrastructural features of the valve – raphe, striae, areolae and other features – became possible. This allowed us to move to a narrow concept, which reflects the phylogenetic relationships more accurately and reveals hidden taxonomic diversity. Modern molecular data confirm the need to revise broad groups and identify new taxa. For deep evolutionary research, a narrow concept is preferred, which, using a polyphase approach – the integration of morphological and genetic data – forms a more precise and flexible system that takes into account both common and unique features of taxa.

Key words: Diatoms; systematics; species concept; phylogeny; molecular genetics

References

1. Krammer K., Lange-Bertalot H. Bacillariophyceae. 2 Teil: Bacillariaceae, Epithemiaceae, Surirellaceae. Eds: Ettl H., Gerloff J., Heynig H., Mollenhauer D. Süßwasserflora von Mitteleuropa. Band 2. Gustav Fischer Verlag, Jena, 1988. P. 1–610.
2. Krammer K., Lange-Bertalot H. Naviculaceae Neue und wenig bekannte Taxa, neue Kombinationen und Synonyme sowie Bemerkungen zu einigen Gattungen. *Bibliotheca Diatomologica*. 1985. V. 9. P. 1–230.
3. Krammer K., Lange-Bertalot H. Süßwasserflora von Mitteleuropa. Bacillariophyceae: Naviculaceae. Vol. 2/1. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart & New York, 1986. 876 p.
4. Mann D.G. An ontogenetic approach to diatom systematics. Proceedings of the 7th International Diatom Symposium. 1984. V.113, №144.
5. Mann D.G. The species concept in diatoms. *Phycologia*. 1999. V.38, №2. P. 437–495. DOI: <https://doi.org/10.2216/i0031-8884-38-6-437.1>
6. Mironov A., Maltsev Y., Kocielek J.P., Kezlya E., Liu Y., Kulikovskiy M. Description of Encyonemataceae fam. nov. and Witkowskiaceae fam. nov. (Bacillariophyceae, Cymbellales) based on

molecular and morphological analyses. *Scientific Reports*. 2024. V.14, №.1 ID 31045. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-024-82213-0>

7. Tseplik N., Glushchenko A., Maltsev Y., Genkal S., Nergui S., Kulikovskiy M. Molecular investigation of *Nupela mongolica* sp. nov. (Bacillariophyceae) with the description of the family *Nupelaceae* fam. nov. *Phytotaxa*. 2025. V.681, №2. P. 186–198. DOI: <https://doi.org/10.11646/phytotaxa.681.2.4>

ССЫЛКА НА СТАТЬЮ:

Куликовский М.С., Миронов А.В. Широкая или узкая концепция в систематике диатомовых водорослей? // Вопросы современной альгологии. 2025. № 1 (37). P. 41–44. URL: <http://algology.ru/2123>

Kulikovskiy M.S., Mironov A.V. Broad or narrow concept in diatom systematics? *Voprosy sovremennoi algologii (Issues of modern algology)*. 2025. № 1 (37). P. 41–44. URL: <http://algology.ru/2123>

DOI – [https://doi.org/10.33624/2311-0147-2025-1\(37\)-41-44](https://doi.org/10.33624/2311-0147-2025-1(37)-41-44); EDN – JGSBFJ

Описание новых семейств Encyonemataceae и Witkowskiaceae в составе порядка Cymbellales на основании молекулярных и морфологических данных

Description of the new families Encyonemataceae and Witkowskiaceae in the order Cymbellales based on molecular and morphological analyses

Миронов А.В.^{1,2}, Мальцев Е.И.¹, Кезля Е.М.¹, Куликовский М.С.¹

Andrei V. Mironov, Yevhen I. Maltsev, Elena M. Kezlya,
Maxim S. Kulikovskiy

¹Институт физиологии растений имени К.А. Тимирязева РАН – ИФР РАН
(Москва, Россия)

²Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,
биологический факультет (Москва, Россия)

На основании результатов молекулярного анализа последовательностей SSU rRNA и *rbcL* предложены описания двух новых семейств в составе порядка Cymbellales. Молекулярные данные показали, что диатомовые водоросли рода *Encyoneta* представляют собой независимую монофилетическую кладу, которая соответствует отдельному семейству – Encyonemataceae. Молекулярный анализ также указывает на независимость клады, представленной родами *Geissleria*, *Paraplaconeis* и *Witkowskia*. Для учета этих родов предложено описание нового семейства Witkowskiaceae. Результаты проведенного молекулярного исследования подкреплены морфологическим анализом ключевых особенностей створок и протопласта. В работе также изложены идеи о филогении отдельных родов порядка Cymbellales.

Ключевые слова: диатомеи; новые семейства; Encyonemataceae; Witkowskiaceae; молекулярная филогения; морфология

Порядок Cymbellales D.G. Mann представляет собой широко распространённую таксономическую группу двушовных диатомовых водорослей. В соответствии с классической, общепринятой таксономической концепцией (Round et al., 1990), в состав порядка входят четыре семейства: Anomoeoneidaceae D.G. Mann, Rhoicospheniaceae J.Y. Chen & H.Z. Zhu, Cymbellaceae Kützinger и Gomphonemataceae Kützinger. При этом семейства Cymbellaceae и Gomphonemataceae, описанные более двухсот лет назад (Kützinger, 1844), включают большинство родов и видов порядка – свыше 2000 таксонов (Guiry & Guiry, 2025). Эти семейства отличаются значительным морфологическим разнообразием признаков панциря и живых клеток. Несмотря на многочисленные исследования морфологии и филогении диатомей порядка Cymbellales, проведенные за последние два столетия, филогенетические связи между многими таксонами остаются

не до конца изученными. Существенной проблемой систематики порядка является генетической точек зрения. При этом, современные молекулярно-генетические данные также не дают чётких представлений о систематике порядка и взаимоотношениях между родами и семействами. Полученные нами результаты молекулярного анализа последовательностей генов SSU rRNA и *rbcL* позволяют выявить филогенетические связи между цимбеллоидными, гомфонемоидными и навикулоидными таксонами порядка Cymbellales.

На основе этих данных предложена обновлённая система порядка, включающая два новых семейства — Encyonemataceae и Witkowskiaceae. Для этих семейств представлены морфологические диагнозы, а молекулярные данные подкреплены анализом ключевых морфологических признаков панциря, таких как тип симметрии, тип организации шва, строение стигм и стигмоидов, устройство и наличие апикальных поровых полей и поровых окклюзий. В ходе морфологического анализа внимание уделено и строению хлоропластов. Кроме того, некоторым родам порядка, для которых отсутствуют молекулярно-генетические данные, присвоено предварительное положение в составе семейств Cymbellaceae, Encyonemataceae, Gomphonemataceae и Witkowskiaceae. В работе также обсуждаются филогенетические отношения между основными морфологическими группами порядка Cymbellales, а также важность структурных признаков для идентификации таксонов и анализа их филогении.

Работа выполнена при поддержке гранта РНФ 24-14-00165 (<https://rscf.ru/project/24-14-00165>) и в рамках госзадания Министерства образования и науки Российской Федерации (№ 122042700045–3).

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов, требующего раскрытия в данной статье.

Список литературы

1. Kützing F.T. Die Kieselschaligen Bacillarien oder Diatomeen. – Nordhausen: Zu finden bei W. Köhne, 1844. – 30 p.
2. Guiry M.D., Guiry G.M. AlgaeBase. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway, 2025. <http://www.algaebase.org> (дата обращения: 26.05.2025).
3. Round F.E., Crawford R.M., Mann D.G. The Diatoms Biology and Morphology of the Genera. – Cambridge: Cambridge University Press, 1990. – 747 p.

Статья поступила в редакцию 18.06.2025; поступила после доработки 09.07.2025; принята к публикации 28.08.2025

Сведения об авторах

Миронов Андрей Витальевич – м.н.с., Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН (ИФР РАН), Россия, Москва (Timiryazev Institute of Plant Physiology, RAS, Russia, Moscow); Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, биологический факультет, Москва, Россия (Lomonosov Moscow State University, Russia, Moscow); diatomironov@yandex.ru; ORCID – <https://orcid.org/0000-0001-9936-0652>; SPIN-код 6772-3614.

Мальцев Евгений Иванович – в.н.с., Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН (ИФР РАН), Россия, Москва (Timiryazev Institute of Plant Physiology, RAS, Russia, Moscow); ye.maltsev@gmail.com; ORCID – <https://orcid.org/0000-0003-4710-319X>; SPIN-код 9410-6478.

Кезля Елена Михайловна – к.б.н., с.н.с., Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН (ИФР РАН), Россия, Москва (Timiryazev Institute of Plant Physiology, RAS, Russia, Moscow); melosira@mail.ru; ORCID – <https://orcid.org/0000-0002-5263-9338>; SPIN-код 3196-8240.

Куликовский Максим Сергеевич – д.б.н., зав. Лабораторией, Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН (ИФР РАН), Россия, Москва (Timiryazev Institute of Plant Physiology, RAS, Russia, Moscow); max-kulikovsky@yandex.ru; ORCID – <https://orcid.org/0000-0003-0999-9669>; SPIN-код 4170-2884.

Корреспондентский адрес: Россия, 127276, Москва, ул. Ботаническая, д. 35, ИФР РАН, тел. (499) 678-54-00.

Description of the new families Encyonemataceae and Witkowskiaceae in the order Cymbellales based on molecular and morphological analyses

Andrei V. Mironov^{1,2}, Yevhen I. Maltsev¹, Elena M. Kezlya¹, Maxim S. Kulikovskiy¹

¹Timiryazev Institute of Plant Physiology, RAS (Russia, Moscow)

²Lomonosov Moscow State University (Russia, Moscow)

Based on the results of molecular analysis of SSU rRNA and rbcL sequences, the descriptions of two new families in the order Cymbellales were proposed. Molecular data revealed that diatoms of the genus *Encyonema* represent an independent monophyletic clade, which corresponds to a separate family – Encyonemataceae. Molecular analysis also suggests the independency a clade comprised of genera *Geissleria*, *Paraplaconeis* and *Witkowskia*. Therefore, a new family Witkowskiaceae is introduced to accommodate these genera. The results of performed molecular investigation are supported by morphological analysis on the key valve and protoplast features. In addition, ideas on the phylogeny of selected genera of the order Cymbellales are discussed.

Key words: Diatoms; new families; Encyonemataceae; Witkowskiaceae; molecular phylogenetics; morphology

References

1. Kützing F.T. Die Kieselschaligen Bacillarien oder Diatomeen. In: Nordhausen, Zu finden bei W. Köhne, 1844. – 30 p.
2. Guiry M.D., Guiry G.M. AlgaeBase. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway, 2025. <http://www.algaebase.org> (date: 26.05.2025)
3. Round F.E., Crawford R.M., Mann D.G. The Diatoms Biology and Morphology of the Genera. Cambridge University Press, Cambridge, 1990. 747 p.

ССЫЛКА НА СТАТЬЮ:

Миронов А.В., Мальцев Е.И., Кезля Е.М., Куликовский М.С. Описание новых семейств Encyonemataceae и Witkowskiaceae в составе порядка Cymbellales на основании молекулярных и морфологических данных // Вопросы современной альгологии. 2025. № 1 (37). P. 45–47. URL: <http://algology.ru/2124>

Mironov A.V., Maltsev Y.I., Kezlya E.M., Kulikovskiy M.S. Description of the new families Encyonemataceae and Witkowskiaceae in the order Cymbellales based on molecular and morphological analyses. *Voprosy sovremennoi algologii (Issues of modern algology)*. 2025. № 1 (37). P. 45–47. URL: <http://algology.ru/2124>

DOI – [https://doi.org/10.33624/2311-0147-2025-1\(37\)-45-47](https://doi.org/10.33624/2311-0147-2025-1(37)-45-47); EDN – QBKPSI

Новый вид рода *Divergita* (Ulnariaceae) из Южно-Китайского моря: морфология и молекулярные данные

A new species of the genus *Divergita* (Ulnariaceae) from the South China Sea: morphology and molecular data

Муравьева А.В.¹, Кезля Е.М.¹, Глущенко А.М.¹, Генкал С.И.²,
Мальцев Е.И.¹, Доан Нху Хай³, Нгуен Нгок Лам³,
Хуинь Тхи Нгок Дуйен³, Куликовский М.С.¹

Anastasiia V. Muraveva, Elena M. Kezlya, Anton M. Glushchenko,
Sergey I. Genkal, Yevhen I. Maltsev, Doan Nhu Hai, Nguyen Ngoc Lam,
Huynh Thi Ngoc Duyen, Maxim S. Kulikovskiy

¹Институт физиологии растений имени К.А. Тимирязева РАН – ИФР РАН
(Москва, Россия)

²Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН (Борок, Россия)

³Институт океанографии Вьетнамской академии наук и технологий (Нячанг, Вьетнам)

Новый вид из рода *Divergita* предложен к описанию на основе морфологического и молекулярно-генетического анализа штамма CBMCsvn738, выделенного из пробы планктона, собранной в прибрежной части Южно-Китайского моря в районе Триеу Фонг провинции Куангчи, Вьетнам. По данным молекулярно-генетического анализа изученный штамм CBMCsvn738 группируется в кладу с другими штаммами *Divergita*, образуя отдельную ветвь. Новый вид имеет морфологические особенности в строении ареол и выраженности осевого поля, отличающие его от других видов рода.

Ключевые слова: диатомовые водоросли; генетические маркеры; Вьетнам; филогенетический анализ

Род *Divergita* Sabir & Theriot был описан в 2018 году на основе полифазного подхода (Sabir et al. 2018). Авторы описали новый вид и перенесли в новый род два вида из родов *Synedra* и *Hyalosynedra*. В настоящее время *Divergita* включает 6 видов (Sabir et al. 2018, Lobban, 2021, Guiry & Guiry, 2025).

Основными отличительными особенностями рода являются попеременно-перекрестное расположение штрихов, асимметричные губы римопортул и неглубокие, иногда едва заметные, апикальные поровые поля. Створки двухслойные, внутренняя сторона имеет только по одной поре, расположенной на стыке лицевой части и загиба створки между каждой парой вирг. Недавно С.С. Lobban (2021) описал три новых вида этого рода и отметил, что у некоторых представителей штрихи располагаются попеременно-перекрестно только по краям створки. Виды имеют как прямые, так и

изогнутые створки. В базу данных GenBank внесены нуклеотидные последовательности для двух видов: *D. al-ghamdii* Sabir and Theriot и *D. toxoneides* (Castracane) Theriot.

Штамм CBMCsvn738 был выделен из пробы планктона, собранной в прибрежной части Южно-Китайского моря в районе Триеу Фонг провинции Куангчи, Вьетнам во время совместной российско-вьетнамской экспедиции в 2024 году. Морфология вида была проанализирована при помощи световой и сканирующей электронной микроскопии. Получены нуклеотидные последовательности по регионам 18S rRNA и *rbcL*, изучено филогенетическое положение. На основании комбинации молекулярных и морфологических данных нами предложен новый вид рода *Divergita*.

Вид имеет дуговидную форму створок, их длина составляет 158–164 мкм, ширина –4,0–4,4 мкм. Створки изученного вида имеют особенности в строении ареол, отличающие его от близких видов и широкое осевое поле (2,2–2,7 мкм, от 50% до 60% всей ширины створки). На филогенетическом дереве штамм CBMCsvn738 формирует отдельную ветвь в кладе обоими депонированным видами *Divergita*, клада имеет высокую статистическую поддержку.

Работа выполнена при поддержке гранта РНФ (проект № 24-44-04006, <https://rscf.ru/project/24-44-04006/>) и Вьетнамской Академии Наук и Технологий (№ QTRU06.05/24-26).

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов, требующего раскрытия в данной статье.

Список литературы

1. Sabir J.S.M., Theriot E.C., Lobban C.S., Alhebshi A.M., Al-Malki A.L., Hajrah N.H., Khiyami M.A., Obaid A.Y., Jansen R.K., Ashworth M.A. Systematics of araphid diatoms with asymmetric rimoportulae or densely packed virgae, with particular attention to *Hyalosynedra* (Ulnariaceae, Bacillariophyta) // *Phytotaxa*. 2018. V. 347, №. 1. P. 1–49. DOI: <https://doi.org/10.11646/phytotaxa.347.1.1>
2. Lobban C.S. New species of benthic marine diatoms (Bacillariophyta) from the Western Pacific islands of Guam and Yap // *Phytotaxa*. 2021. V.508, №3. P. 235–265. DOI: <https://doi.org/10.11646/phytotaxa.508.3.1>
3. Guiry M.D., Guiry G.M. *AlgaeBase*. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway, 2025. <http://www.algaebase.org> (дата обращения: 23.05.2025).

Статья поступила в редакцию 18.06.2025; поступила после доработки 09.07.2025; принята к публикации 28.08.2025

Сведения об авторах

Муравьева Анастасия Васильевна – инженер, Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН (ИФР РАН), Россия, Москва (Timiryazev Institute of Plant Physiology, RAS, Russia, Moscow); murav722@gmail.com; ORCID – <https://orcid.org/0009-0004-2130-2179>.

Кезля Елена Михайловна – к.б.н., с.н.с., Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН (ИФР РАН), Россия, Москва (Timiryazev Institute of Plant Physiology, RAS, Russia, Moscow); melosira@mail.ru; ORCID – <https://orcid.org/0000-0002-5263-9338>; SPIN-код 3196-8240.

Глуценко Антон Михайлович – к.б.н., в.н.с., Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН (ИФР РАН), Россия, Москва (Timiryazev Institute of Plant Physiology, RAS, Russia, Moscow); closterium7@gmail.com; ORCID – <https://orcid.org/0000-0002-3876-3455>.

Генкал Сергей Иванович – д.б.н., г.н.с., Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН, Россия, Борок (Papanin Institute for Biology of Inland Waters, RAS, Russia, Borok); genkal@ibiw.yaroslavl.ru; ORCID – 0000-0001-6475-4029; SPIN-код 8325-7470.

Мальцев Евгений Иванович – в.н.с., Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН (ИФР РАН), Россия, Москва (Timiryazev Institute of Plant Physiology, RAS, Russia, Moscow); ye.maltsev@gmail.com; ORCID – <https://orcid.org/0000-0003-4710-319X>; SPIN-код 9410-6478.

Доан Ню Хай – профессор, Institute of Oceanography, Viet Nam Academy of Science and Technology, Nha Trang, Viet Nam; ORCID – <https://orcid.org/0000-0003-4261-7255>.

Нгуэн Нгок Лам – профессор, Institute of Oceanography, Viet Nam Academy of Science and Technology, Nha Trang, Viet Nam; ORCID – <https://orcid.org/0000-0001-9405-7072>.

Хюинь Тхи Нгок Дуйен – исследователь, Institute of Oceanography, Viet Nam Academy of Science and Technology, Nha Trang, Viet Nam.

Куликовский Максим Сергеевич – д.б.н., зав. Лабораторией, Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН (ИФР РАН), Россия, Москва (Timiryazev Institute of Plant Physiology, RAS, Russia, Moscow); mx-kulikovsky@yandex.ru; ORCID – <https://orcid.org/0000-0003-0999-9669>; SPIN-код 4170-2884.

Корреспондентский адрес: Россия, 127276, Москва, ул. Ботаническая, д. 35, ИФР РАН, тел. (499) 678-54-00.

Description of the new families Encyonemataceae and Witkovskiaceae in the order Cymbellales based on molecular and morphological analyses

Anastasiia V. Muraveva¹, Elena M. Kezlya¹, Anton M. Glushchenko¹, Sergey I. Genkal², Yevhen I. Maltsev¹, Doan Nhu Hai³, Nguyen Ngoc Lam³, Huynh Thi Ngoc Duyen³, Maxim S. Kulikovskiy¹

¹Timiryazev Institute of Plant Physiology, RAS (Russia, Moscow)

²Papanin Institute for Biology of Inland Waters, RAS (Russia, Borok)

³Institute of Oceanography, Viet Nam Academy of Science and Technology (Viet Nam, Nha Trang)

A new species of the genus *Divergita* is proposed to be described based on morphological and molecular genetic analysis of strain CBMCsvn738, isolated from a plankton sample collected in the coastal waters of the South China Sea in Triệu Phong District, Quảng Trị Province, Viet Nam. Molecular genetic analysis places the studied strain CBMCsvn738 within a clade of other *Divergita* strains, forming a distinct branch. Morphologically, the new species exhibits distinctive features in its areola structure and the prominence of the axial area, distinguishing it from other species in the genus.

Key words: diatoms; genetic markers; Viet Nam; phylogenetic analysis

References

1. Sabir J.S.M., Theriot E.C., Lobban C.S., Alhebshi A.M., Al-Malki A.L., Hajrah N.H., Khiyami M.A., Obaid A.Y., Jansen R.K., Ashworth M.A. Systematics of araphid diatoms with asymmetric rimoportulae or densely packed virgae, with particular attention to *Hyalosynedra* (Ulnariaceae, Bacillariophyta). *Phytotaxa*. 2018. V. 347, №. 1. P. 1–49. DOI: <https://doi.org/10.11646/phytotaxa.347.1.1>
2. Lobban C.S. New species of benthic marine diatoms (Bacillariophyta) from the Western Pacific islands of Guam and Yap. *Phytotaxa*. 2021. V.508, №3. P. 235–265. DOI: <https://doi.org/10.11646/phytotaxa.508.3.1>
3. Guiry M.D., Guiry G.M. AlgaeBase. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway, 2025. <http://www.algaebase.org> (date: 23.05.2025)

ССЫЛКА НА СТАТЬЮ:

Муравьева А.В., Кезля Е.М., Глущенко А.М., Генкал С.И., Мальцев Е.И., Зоан Ню Хай, Нгуен Нгок Лам, Хюинь Тхи Нгок Дуйен, Куликовский М.С. Новый вид рода *Divergita* (Ulnariaceae) из Южно-Китайского моря: морфология и молекулярные данные // Вопросы современной альгологии. 2025. № 1 (37). P. 48–50. URL: <http://algology.ru/2125>

Muraveva A.V., Kezlya E.M., Glushchenko A.M., Genkal S.I., Maltsev Ye.I., Doan Nhu Hai, Nguyen Ngoc Lam, Huynh Thi Ngoc Duyen, Kulikovskiy M.S. A new species of the genus *Divergita* (Ulnariaceae) from the south china sea: morphology and molecular data. *Voprosy sovremennoi algologii (Issues of modern algology)*. 2025. № 1 (37). P. 48–50. URL: <http://algology.ru/2125>

DOI – [https://doi.org/10.33624/2311-0147-2025-1\(37\)-48-50](https://doi.org/10.33624/2311-0147-2025-1(37)-48-50); EDN – NWCKHR

**Репродуктивная совместимость географически
удаленных популяций токсикогенного вида
Pseudo-nitzschia delicatissima (Cleve) Heiden**

**Reproductive compatibility of geographically distant
populations of the toxigenic species
Pseudo-nitzschia delicatissima (Cleve) Heiden**

Полякова С.Л.¹, Давидович Н.А.¹, Стоник И.В.², Орлова Т.Ю.²

**Svetlana L. Polyakova, Nickolai A. Davidovich, Inna V. Stonik,
Tatiana Yu. Orlova**

¹Карадагская научная станция имени Т.И. Вяземского – природный заповедник РАН – филиал ФИЦ ИНБЮМ имени А.О. Ковалевского (Феодосия, Россия)

²Национальный научный центр морской биологии имени А.В. Жирмунского ДВО РАН – ННЦМБ ДВО РАН (Владивосток, Россия)

Используя методы репродуктивной биологии, получено успешное меж- и внутрипопуляционное половое воспроизведение штаммов *Pseudo-nitzschia delicatissima*. Клетки выделены из географически удаленных друг от друга на значительное расстояние популяций из Черного и Японского морей (около десяти тыс. км.). Репродуктивная совместимость подтверждает принадлежность штаммов к токсикогенному виду-космополиту *P. delicatissima*. В одном из штаммов *P. delicatissima* отмечено появление постинициальных, находящихся в начале жизненного цикла клеток, что свидетельствует о произошедшем внутриклоновом воспроизведении. Отмечено изменение длины клеток *P. delicatissima* от 106 мкм у самых крупных начальных клеток до 16 мкм у предельно измельчавших, что позволило расширить ранее известные границы диапазона размеров, характерных для вида.

Ключевые слова: *Pseudo-nitzschia delicatissima*; половое воспроизведение; жизненный цикл; гомотализм; Черное море; Японское море

Pseudo-nitzschia delicatissima (Cleve) Heiden довольно распространенный (Hasle, 2002) токсикогенный вид рода *Pseudo-nitzschia* Н. Peragallo, 1900. Как и *Pseudo-nitzschia caliantha*, *P. delicatissima* относится к видам-космополитам и является одним из 26 видов с подтвержденной токсикогенной активностью клеток (Bates et al., 2018). Во время цветения в Неаполитанском заливе (Средиземное море) отмечено внутривидовое криптическое разнообразие. Присутствие различных типов внутреннего транскрибируемого спейсера (ITS) (Orsini et al., 2004), может быть причиной репродуктивной изолированности, несмотря на схожесть морфологических характеристик (Amato et al., 2005).

Данные, полученные нами в лабораторных экспериментах по внутривидовой и межвидовой системе скрещивания черноморских штаммов и штаммов, выделенных из проб фитопланктона, собранных в бухте Соболя Японского моря, показывают отсутствие репродуктивных барьеров и презиготической изоляции в первом поколении (рис. 1а), несмотря на внушительное расстояние, около 10 тыс. километров. Различия условий местообитания популяций делают возможным изменения некоторых экофизиологических характеристик, как в случае с *P. pungens* (Kim et al., 2015) и *P. seriata* (Hansen et al., 2011). Даже если допустить наличие экофизиологических различий между изученными популяциями, можно констатировать, что они не столь значительны для появления репродуктивных барьеров и расхождения видов.

Для большинства изученных представителей рода *Pseudo-nitzschia* доминирующей системой скрещивания является гетероталлическое воспроизведение, единственный подтвержденный на сегодняшний день случай гомоталлизма описан для *P. brasiliensis* (Quijano-Scheggia et al., 2009).

В наших наблюдениях в клоновой культуре *P. delicatissima*, выделенной из Японского моря в 2019 г., и уже предельно измельчавшей (16 мкм), отмечено появление крупных клеток, близких по размеру к максимальновидоспецифическому (63 мкм) (рис. 1б). Для вида *P. delicatissima* это первый зафиксированный случай гомоталлизма.

Альберто Амато с соавторами в своей работе (Amato et al., 2005) указали на зависимость размера дочерних клеток от размера родительских клеток *P. delicatissima*. Максимальный зарегистрированный размер клеток в этой работе (94 мкм), как отмечают авторы, может быть превышен клетками на начальном этапе жизненного цикла, произведенными родительскими штаммами, размер которых больше штаммов, задействованных в экспериментах. Результаты наших экспериментов по скрещиванию штаммов *P. delicatissima* показали корреляцию между размером инициальных и родительских клеток. Размер инициальных клеток варьировал в диапазоне 71–106 мкм, при этом размер родительских клеток менялся от 25 до 45 мкм соответственно.

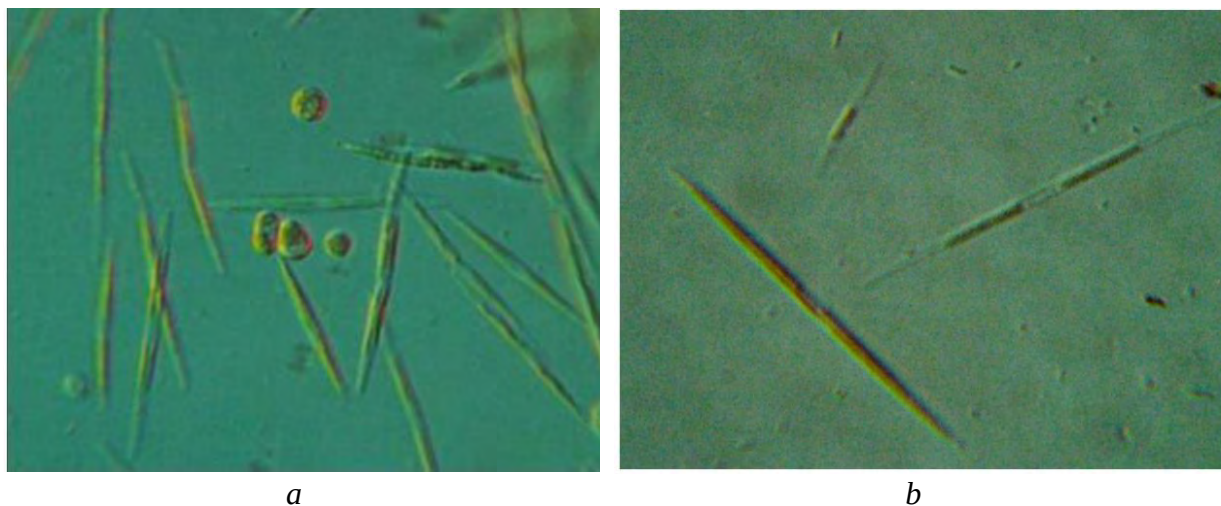


Рис. 1. а – Гаметы, растущие зиготы в смешанном посеве штаммов *Pseudo-nitzschia delicatissima*; б – Результат внутриклонового воспроизведения штамма *Pseudo-nitzschia delicatissima*.

Fig. 1. а – Gametes and developing zygotes in a mixed culture of *Pseudo-nitzschia delicatissima* strains; б – Result of intracloonal reproduction in *Pseudo-nitzschia delicatissima* strain.

Работа выполнена в рамках госзаданий Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (№ 124030100100-0 и № 121082600038-3). Использованы ресурсы

Центров коллективного пользования «Коллекция диатомовых водорослей мирового океана» и «Морской биобанк».

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов, требующего раскрытия в данной статье.

Список литературы

1. Amato A., Orsini L., D'alelio D., Montresor M. Life cycle, size reduction patterns, and ultrastructure of the pennate planktonic diatom *Pseudo-nitzschia delicatissima* (Bacillariophyceae). // Journal of Phycology. 2005. V.41, №3. P. 542–556. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1529-8817.2005.00080.x>
2. Bates S.S., Hubbard K.A., Lundholm N., Montresor M., Leaw C.P. *Pseudo-nitzschia*, *Nitzschia*, and domoic acid: New research since 2011. // Harmful Algae. 2018. V.79. P. 3–43. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.hal.2018.06.001>
3. Hansen L.R., Soylu S., Kotaki Y., Moestrup Ø., Lundholm N. Toxin production and temperature-induced morphological variation of the diatom *Pseudo-nitzschia seriata* from the Arctic. // Harmful Algae. 2011. V.10, №6. P. 689–696. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.hal.2011.05.004>
4. Hasle G. R. Are most of the domoic acid-producing species of the diatom genus *Pseudo-nitzschia* cosmopolites? // Harmful Algae. 2002. V.1, №2. P. 137–46. DOI: [https://doi.org/10.1016/S1568-9883\(02\)00014-8](https://doi.org/10.1016/S1568-9883(02)00014-8)
5. Kim J.H., Park B.S., Kim J.H., Wang P. Intraspecific diversity and distribution of the cosmopolitan species *Pseudo-nitzschia pungens* (Bacillariophyceae): morphology, genetics, and ecophysiology of the three clades // J. Phycol. 2015. V.51, №1. P. 159–172. DOI: <https://doi.org/10.1111/jpy.12263>
6. Orsini L., Procaccini G., Sarno D., Montresor M. Multiple rDNA ITS-types within the diatom *Pseudo-nitzschia delicatissima* (Bacillariophyceae) and their relative abundances across a spring bloom in the Gulf of Naples. // Mar. Ecol. Prog. Ser. 2004. V.271. P. 87–98.
7. Quijano-Scheggia S., Garcés E., Andree K., Fortuño J.M., Camp J. Homothallic auxosporulation in *Pseudo-nitzschia brasiliensis* (Bacillariophyta) // J. Phycol. 2009. V.45, №1. P. 100–107. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1529-8817.2008.00636.x>

Статья поступила в редакцию 18.06.2025; поступила после доработки 01.08.2025; принята к публикации 28.08.2025

Сведения об авторах

Полякова Светлана Леонидовна – н.с., Карадагская научная станция имени Т.И. Вяземского – природный заповедник РАН – филиал ФИЦ ИНБИОМ им. А.О. Ковалевского, Россия, Феодосия (Vyazemsky Karadag Scientific Station of Kovalevskii Institute of Biology of the Southern Seas, RAS, Russia, Feodosia); svetlana.poliakova.77@mail.ru; ORCID – <https://orcid.org/0000-0002-1551-3031>; SPIN-код 8980-5197.

Давидович Николай Александрович – д.б.н., зав. лаб., Карадагская научная станция имени Т.И. Вяземского – природный заповедник РАН – филиал ФИЦ ИНБИОМ им. А.О. Ковалевского, Россия, Феодосия (Vyazemsky Karadag Scientific Station of Kovalevskii Institute of Biology of the Southern Seas, RAS, Russia, Feodosia); nickolaid@yandex.ru; ORCID – <https://orcid.org/0000-0002-3510-0453>; SPIN-код 3588-2870.

Стоник Инна Валентиновна – к.б.н., с.н.с., Национальный научный центр морской биологии им. А.В. Жирмунского ДВО РАН (НИЦМБ ДВО РАН), Россия, Владивосток (Zhirmunsky National Scientific Center of Marine Biology, Far Eastern Branch, RAS, Russia, Vladivostok); innast2004@mail.ru; ORCID – <https://orcid.org/0000-0003-1467-0374>; SPIN-код 9055-1244.

Орлова Татьяна Юрьевна – к.б.н., зам. директора, зав. лаб., Национальный научный центр морской биологии им. А.В. Жирмунского ДВО РАН (НИЦМБ ДВО РАН), Россия, Владивосток (Zhirmunsky National Scientific Center of Marine Biology, Far Eastern Branch, RAS, Russia, Vladivostok), Лаборатория морской микробиоты; torlova06@mail.ru; ORCID – <https://orcid.org/0000-0002-5246-6967>; SPIN-код 1604-9058.

Корреспондентский адрес: Россия, 298188, Феодосия, пос. Курортное ул. Науки, д. 24, Карадагская научная станция им. Т.И. Вяземского – природный заповедник РАН, тел. (36562) 26-212.

Reproductive compatibility of geographically distant populations of the toxigenic species *Pseudo-nitzschia delicatissima* (Cleve) Heiden

Svetlana L. Polyakova¹, Nikolai A. Davidovich¹, Inna V. Stonik²,
Tatiana Yu. Orlova²

¹Vyazemsky Karadag Scientific Station of Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas, RAS (Russia, Feodosia)

²Zhirmunsky National Scientific Center of Marine Biology, Far Eastern Branch, RAS (Russia, Vladivostok)

Using the methods of reproductive biology, successful inter- and intra-population sexual reproduction of *Pseudo-nitzschia delicatissima* strains was achieved. The clone cells were isolated from geographically distant populations of the Black Sea and the Sea of Japan (about ten thousand km). Reproductive compatibility confirms that the strains belong to the toxicogenic cosmopolitan species, *P. delicatissima*. In one of the *P. delicatissima* strains, the appearance of post-initial cells located at the beginning of the life cycle was noted, which indicates the presence of intracolonial reproduction. Changes in cell length in *P. delicatissima* were noted, from 106 µm in the largest original cells to 16 µm in extremely thinned ones, which made it possible to expand the previously known boundaries of the size range characteristic of the species.

Key words: *Pseudo-nitzschia delicatissima*; sexual reproduction; life cycle; homothallism; Black Sea; Sea of Japan

References

1. Amato A., Orsini L., D'alelio D., Montresor M. Life cycle, size reduction patterns, and ultrastructure of the pennate planktonic diatom *Pseudo-nitzschia delicatissima* (Bacillariophyceae). *Journal of Phycology*. 2005. V.41, №3. P. 542–556. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1529-8817.2005.00080.x>
2. Bates S.S., Hubbard K.A., Lundholm N., Montresor M., Leaw C.P. *Pseudo-nitzschia*, *Nitzschia*, and domoic acid: New research since 2011. *Harmful Algae*. 2018. V.79. P. 3–43. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.hal.2018.06.001>
3. Hansen L.R., Soylu S., Kotaki Y., Moestrup Ø., Lundholm N. Toxin production and temperature-induced morphological variation of the diatom *Pseudo-nitzschia seriata* from the Arctic. *Harmful Algae*. 2011. V.10, №6. P. 689–696. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.hal.2011.05.004>
4. Hasle G. R. Are most of the domoic acid-producing species of the diatom genus *Pseudo-nitzschia* cosmopolites? *Harmful Algae*. 2002. V. 1, №2. P. 137–46. DOI: [https://doi.org/10.1016/S1568-9883\(02\)00014-8](https://doi.org/10.1016/S1568-9883(02)00014-8)
5. Kim J.H., Park B.S., Kim J.H., Wang P. Intraspecific diversity and distribution of the cosmopolitan species *Pseudo-nitzschia pungens* (Bacillariophyceae): morphology, genetics, and ecophysiology of the three clades. *J. Phycol.* 2015. V.51, №1. P. 159–172. DOI: <https://doi.org/10.1111/jpy.12263>
6. Orsini L., Procaccini G., Sarno D., Montresor M. Multiple rDNA ITS-types within the diatom *Pseudo-nitzschia delicatissima* (Bacillariophyceae) and their relative abundances across a spring bloom in the Gulf of Naples. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 2004. V.271. P. 87–98.
7. Quijano-Scheggia S., Garcés E., Andree K., Fortuño J.M., Camp J. Homothallic auxosporulation in *Pseudo-nitzschia brasiliensis* (Bacillariophyta). *J. Phycol.* 2009. V.45, №1. P. 100–107. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1529-8817.2008.00636.x>

ССЫЛКА НА СТАТЬЮ:

Полякова С.Л., Давидович Н.А., Стоник И.В., Орлова Т.Ю. Репродуктивная совместимость географически удаленных популяций токсикогенного вида *Pseudo-nitzschia delicatissima* (Cleve) Heiden // Вопросы современной альгологии. 2025. № 1 (37). P. 51–54. URL: <http://algology.ru/2126>

Polyakova S.L., Davidovich N.A., Stonik I.V., Orlova T.Yu. Reproductive compatibility of geographically distant populations of the toxigenic species *Pseudo-nitzschia delicatissima* (Cleve) Heiden. *Voprosy sovremennoi algologii (Issues of modern algology)*. 2025. № 1 (37). P. 51–54. URL: <http://algology.ru/2126>

DOI – [https://doi.org/10.33624/2311-0147-2025-1\(37\)-51-54](https://doi.org/10.33624/2311-0147-2025-1(37)-51-54); EDN – UKSUBA

Проблема идентификации мелкоклеточных диатомовых центрических водорослей

The problem of identification of small-cell diatom centric algae

Шульгина М.А.^{1,2}, Шевченко О.Г.^{2,3}

Mariia A. Shulgina, Olga G. Shevchenko

¹Научно-образовательный комплекс «Приморский океанариум» –
филиал ННЦМБ ДВО РАН (Владивосток, Россия)

²Национальный научный центр морской биологии имени А.В. Жирмунского –
ННЦМБ ДВО РАН (Владивосток, Россия)

³Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет
(Владивосток, Россия)

Значительная часть диатомовых водорослей, особенно в морских экосистемах, представлена мелкими видами, морфологическая идентификация которых требует применения сканирующей электронной микроскопии. Применение комплексного подхода при обработке фитопланктонных проб позволило более точно оценить состояние водных экосистем и идентифицировать новые для района исследования таксоны. В рамках данного исследования впервые в российских водах зарегистрировано «цветение» воды, вызванное *Mediolabrus comicus*.

Ключевые слова: фитопланктон; микроскопия; биоразнообразие

Определение таксономического состава проб фитопланктона является трудоёмким этапом обработки данных. Качество и достоверность исследования зависит от того, насколько точно определены виды. Зачастую при рутинных гидробиологических изысканиях учитывается крупный (>20 мкм) микропланктон. Однако, многие одноклеточные водоросли относятся к нанопланктону (2–20 мкм) и пересекаются с пикопланктонным размером (<2 мкм). Ограниченное разрешение световой микроскопии препятствует выявлению мелких морфологических деталей, критически важных для определения некоторых родов и видов, что приводит к недостаточной изученности и неверным выводам об экологическом состоянии акватории.

Цель работы – показать важность использования методов электронной микроскопии при обработке рутинных гидробиологических проб.

Исследования сезонной и межгодовой динамики фитопланктона выполнены в рамках сбора и анализа материала автором для написания диссертационной работы, посвященной детальному изучению видов рода *Thalassiosira*. Отбор проб производили

в б. Парис (северо-западная часть о-ва Русский), с января 2016 г. по декабрь 2018 г. Исследование полевого материала проводили с помощью светового микроскопа (СМ) Carl Zeiss Scope A1. (Carl Zeiss Microscopy GmbH, Jena, Германия) и сканирующего электронного микроскопа Carl Zeiss Sigma 300 (СЭМ) (Carl Zeiss Microscopy GmbH, Jena, Германия). Численность клеток микроводорослей подсчитывали в счетной камере типа Наботта объемом 0,05 мл (Федоров, 1979; Andersen, Throndsen, 2003).

В ходе исследования было обнаружено значительное число центрических диатомовых водорослей, идентификация которых оказалась возможной только до уровня рода. Для более детального анализа каждую пробу разделяли на подпробы одинакового объема и просматривали параллельно под световым и сканирующим электронным микроскопами.

Данный комплексный подход позволил расширить знания о биоразнообразии микроводорослей в исследуемой акватории и выявить новые для региона виды. Виды *T. allenii* var. *allenii*, *T. allenii* var. *striata*, *T. hispidia*, *T. levanderi*, *T. lundiana*, *T. minicosmica*, *T. ordinaria*, *T. conferta*, *T. minima*, *T. oceanica*, *T. tealata* были отмечены как новые для морей России. Виды *T. allenii* var. *striata*, *T. favosa*, *T. hispidia*, *T. levanderi* и *T. conferta* – впервые отмечены в Японском море. Также виды *T. aestivalis*, *T. allenii* var. *allenii*, *T. binata*, *T. lundiana*, *T. tenera*, *T. pseudonana* регистрировали как доминирующие виды фитопланктона в районе исследования.

Впервые было зафиксировано цветение мелкоклеточного *Mediolabrus comicus*, численность которого достигала 5,5 млн кл./л (Шульгина, 2023). Вид доминировал в б. Парис в августе 2017 г. при температуре воды 22°C. По данным литературы известны случаи «цветения» воды, вызванные этим видом, весной в Средиземном море – численность клеток достигла 5,8 млн кл./л (13°C) и в прибрежных водах Норвегии – до 6 млн кл./л (6–7°C) (Daniels et al., 2015; Leblanc et al., 2018). *Mediolabrus comicus* – вид нанопланктона (размер створки менее 5 мкм); такие организмы невозможно достоверно идентифицировать на световом уровне, что зачастую приводит к недооценке их роли в сообществе.

Идентификация мелких диатомовых клеток может быть сложной из-за их размера и тонких различий в их морфологии. Анализ литературных данных выявляет общую недооценку значимости мелких диатомовых водорослей в глобальном масштабе. Таким образом, сочетание световой и электронной микроскопии является обязательным при идентификации мелких клеток диатомовых водорослей.

Исследования проведены на площадке ЦКП «Приморский океанариум», ННЦМБ ДВО РАН (Владивосток).

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов, требующего раскрытия в данной статье.

Список литературы

1. Федоров В.Д. О методах изучения фитопланктона и его активности. – М.: МГУ, 1979. – 167 с.
2. Шульгина М.А. Видовой состав, сезонная и многолетняя динамика количественных параметров диатомовых водорослей рода *Thalassiosira* в заливе Петра Великого, Японское море: автореф. дисс. ... канд. биол. наук. – Владивосток, 2023. – 22 с.
3. Andersen P., Throndsen O. Estimating cell numbers // Manual on Harmful Marine Microalgae. Eds.: G.M. Hallegraeff, D.M. Anderson, A.D. – Cembella Paris: UNESCO Publishing, 2003. – P. 99–129.
4. Daniels C.J., Poulton A.J., Esposito M., Paulsen M.L., Bellerby R., St John M., Martin A.P. Phytoplankton dynamics in contrasting early stage North Atlantic spring blooms: composition, succession, and potential drivers // Biogeosciences. 2015. V.12. P. 2395–2409.
5. Leblanc K., Quéguiner B., Diaz F., Cornet V., Michel-Rodriguez M., Madron X.D., Bowler C., Malviya S., Thyssen M., Grégori G., Rembauville M., Grosso O., Poulain J., Vargas C., Pujo-Pay M., Conan P.

Nanoplanktonic diatoms are globally overlooked but play a role in spring blooms and carbon export // Nature Communications. 2018. V.9. ID e953. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41467-018-03376-9>

Статья поступила в редакцию 18.06.2025; поступила после доработки 01.08.2025; принята к публикации 28.08.2025

Сведения об авторах

Шульгина Мария Александровна – к.б.н., н.с., Научно-образовательный комплекс «Приморский океанариум» – филиал ННЦМБ им. А.В. Жирмунского ДВО РАН, Россия, Владивосток (“Primorsky Aquarium”, National Scientific Center of Marine Biology, Far Eastern Branch, RAS, Russia, Vladivostok), науч. руководитель Лаб. биотехнологии морских микроводорослей; м.н.с., Национальный научный центр морской биологии им. А.В. Жирмунского ДВО РАН, Владивосток, Россия (Zhirmunsky National Scientific Center of Marine Biology, Far Eastern Branch, RAS, Russia, Vladivostok), Лаборатория морской микробиоты; annekee@mail.ru; ORCID – <https://orcid.org/0000-0002-4744-9230>; SPIN-код 9254-2438.

Шевченко Ольга Геннадьевна – к.б.н., с.н.с., Национальный научный центр морской биологии им. А.В. Жирмунского ДВО РАН, Владивосток, Россия (Zhirmunsky National Scientific Center of Marine Biology, Far Eastern Branch, RAS, Russia, Vladivostok), Лаборатория морской микробиоты; доцент, Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет, Владивосток, Россия (Far Eastern State Technical Fisheries University, Russia, Vladivostok); 713553@mail.ru; ORCID – <https://orcid.org/0000-0003-2394-8673>; SPIN-код 8461-4303.

Корреспондентский адрес: Россия, 690041, Владивосток, ул. Пальчевского, д. 17 ННЦМБ ДВО РАН, тел. (423) 231-09-05.

The problem of identification of small-cell diatom centric algae

Mariia A. Shulgina^{1,2}, Olga G. Shevchenko^{2,3}

¹“Primorsky Aquarium”, National Scientific Center of Marine Biology, Far Eastern Branch, RAS (Russia, Vladivostok)

²Zhirmunsky National Scientific Center of Marine Biology, Far Eastern Branch, RAS (Russia, Vladivostok)

³Far Eastern State Technical Fisheries University (Russia, Vladivostok)

A significant part of diatoms are represented by small species, the morphological identification of which requires the use of scanning electron microscopy. The use of an integrated approach to processing phytoplankton samples made it possible to more accurately assess the state of aquatic ecosystems and identify taxa new to the study area. Also, “blooming” of the species *Mediolabrus comicus* was recorded for the first time in Russian waters, as a part of this study.

Key words: phytoplankton; microscopy; biodiversity

References

1. Andersen P., Throndsen O. Estimating cell numbers. In: Manual on Harmful Marine Microalgae. G.M. Hallegraeff, D.M. Anderson, A.D. Cembella (Eds.) UNESCO Publishing, Paris, 2003. P. 99–129.
2. Daniels C.J., Poulton A.J., Esposito M., Paulsen M.L., Bellerby R., St John M., Martin A.P. Phytoplankton dynamics in contrasting early stage North Atlantic spring blooms: composition, succession, and potential drivers. *Biogeosciences*. 2015. V.12. P. 2395–2409.
3. Fedorov V.D. On methods of studying phytoplankton and its activity. MSU, Moscow, 1979. 167 p. (In Russ.)
4. Leblanc K., Quéguiner B., Diaz F., Cornet V., Michel-Rodriguez M., Madron X.D., Bowler C., Malviya S., Thyssen M., Grégori G., Rembauville M., Grosso O., Poulain J., Vargas C., Pujo-Pay M., Conan P. Nanoplanktonic diatoms are globally overlooked but play a role in spring blooms and carbon export. *Nature Communications*. 2018. V.9. ID e953. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41467-018-03376-9>

5. Shulgina M.A. Species composition, seasonal and long-term dynamics of quantitative parameters of diatoms of the genus *Thalassiosira* in Peter the Great Bay, Sea of Japan: PhD Dissertation abstract. Vladivostok, 2023. 22 p. (In Russ.)

ССЫЛКА НА СТАТЬЮ:

Шульгина М.А., Шевченко О.Г. Проблема идентификации мелкоклеточных диатомовых центрических водорослей // Вопросы современной альгологии. 2025. № 1 (37). P. 55–58. URL: <http://algology.ru/2128>

Shulgina M.A., Shevchenko O.G. The problem of identification of small-cell diatom centric algae. *Voprosy sovremennoi algologii (Issues of modern algology)*. 2025. № 1 (37). P. 55–58. URL: <http://algology.ru/2128>

DOI – [https://doi.org/10.33624/2311-0147-2025-1\(37\)-55-58](https://doi.org/10.33624/2311-0147-2025-1(37)-55-58); EDN – ULPTSA

Молекулярная филогения некоторых родов шовных диатомовых водорослей

Molecular phylogeny of some raphid diatom genera

Цеплик Н.Д.¹, Глущенко А.М.¹, Мальцев Е.И.¹, Генкал С.И.²,
Куликовский М.С.¹

Natalia D. Tseplik, Anton M. Glushchenko,
Yevhen I. Maltsev, Sergey I. Genkal, Maxim S. Kulikovskiy

¹Институт физиологии растений имени К.А. Тимирязева РАН – ИФР РАН
(Москва, Россия)

²Институт биологии внутренних вод имени И.Д. Папанина РАН (Борок, Россия)

В работе рассмотрены результаты молекулярно-генетического анализа представителей родов *Achnanthes*, *Planorbulina*, *Karayevia* и *Nupella* из различных регионов Азии. Обсуждено филогенетическое положение исследованных штаммов, а также таксономическая значимость некоторых морфологических признаков. Показано наличие криптического разнообразия в комплексах видов *Achnanthes minutissima*, *Planorbulina lanceolata* и *Planorbulina frequentissima/victoria*.

Ключевые слова: молекулярная филогения; шовные диатомовые; криптическое разнообразие; таксономия

Изучено 35 моноклональных штаммов различных представителей родов *Planorbulina*, *Achnanthes*, *Karayevia* и *Nupella*, выделенных из разнотипных водных объектов Юго-Восточной Азии, Байкальского региона, Камчатки и Монголии. На примере вновь описанных видов *Achnanthes* из разных географических локаций показана генетическая и морфологическая гетерогенность этого рода, а также наличие криптического разнообразия в комплексе видов *Achnanthes minutissima*. По результатам филогенетического анализа данный комплекс состоит из нескольких отдельных линий, которые, вероятно, представляют собой отдельные виды (Pinseel et al., 2017; Tseplik et al., 2023).

Виды рода *Planorbulina* на филогенетическом дереве разделяются на три четкие клады с высокой поддержкой, морфологически различающиеся строением центральной части бесшовной створки: в первую кладу входят виды, характеризующиеся наличием синуса, во вторую – виды с кавумом, и в третью – виды, не имеющие подковообразной структуры (Jahn et al., 2017). На основе нашего материала с полуострова Камчатка описано несколько новых видов *Planorbulina*, относящихся к трем морфологическим группам; некоторые из изученных видов морфологически очень схожи, однако результаты молекулярно-генетического анализа подтверждают самостоятельность этих таксонов (Tseplik et al., 2024a, б). Штаммы *Planorbulina lanceolata*, *P. cryptolanceolata*, *P. frequentissima* и *P. victoria* не образуют монофилетических

групп, что указывает на неоднородность этих таксонов и присутствие криптического разнообразия внутри рода *Planothidium* (Tseplik et al., 2024a, б).

На основании штаммов, выделенных из прибрежных вод Вьетнама, описан вид *Karayevia chelonica*, характеризующийся наличием макроареол на шовной и бесшовной створках с тенденцией к формированию постмакроареол (Tseplik et al., 2022). На основании данных признаков новый вид отнесен к роду *Karayevia* в понимании Bukhtiyarova (2006). По данным молекулярных исследований изученные штаммы *K. chelonica* формируют отдельную кладу с высокой статистической поддержкой, которая близкородственна более крупному кластеру различных моношовных таксонов из родов *Karayevia*, *Kolbesia* и *Madinithidium*. Все эти таксоны входят в семейство Stauroneidaceae вместе с представителями родов *Stauroneis*, *Dorofeyukea*, *Craticula* и др. (Witkowski et al., 2016; Kulikovskiy et al., 2019). Роды *Karayevia*, *Kolbesia* и *Madinithidium* образуют монофилетическую группу, которая может быть истолкована как единый род, на что также указывают и морфологические признаки – наличие макроареол и постмакроареол и их сочетание на шовной и бесшовной створках.

Из пресноводного озера в Монголии описан новый вид рода *Nupela*, *N. mongolica* (Tseplik et al., 2025) на основании световой, сканирующей электронной и трансмиссионной электронной микроскопии, а также молекулярных данных. Род *Nupela* первоначально был помещен в подпорядок Neidiineae с неясным положением внутри подпорядка (Vyverman & Compère, 1991). Впоследствии он был включен в семейство Brachysiraceae, несмотря на различия в строении ареол и шва между *Nupela* и *Brachysira* (Cox, 2015). Молекулярные данные показывают, что штаммы *Nupela* образуют отдельную кладу, не близкородственную другим родам; также было показано, что подпорядок Neidiineae не является монофилетической группой (Kulikovskiy et al., 2020). На примере *N. mongolica* показана уникальная структура ареол, характерная для представителей этого рода и не отмеченная у других представителей пеннатных диатомовых: ареолы кратеровидные, с крупными внешними отверстиями и небольшими внутренними, закрытые с наружной стороны гименами, покрывающими ареолу целиком и продолжающимися на лицевую поверхность створки. Поскольку отдельное положение *Nupela* подтверждается как морфологическими, так и молекулярными данными, выделено новое семейство Nupelaceae в порядке Naviculales, включающее род *Nupela* (Tseplik et al., 2025).

Работа выполнена при поддержке гранта Российского научного фонда (проект № 24-14-00165, <https://rscf.ru/project/24-14-00165/>, дата обращения – 30 мая 2025 г.).

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов, требующего раскрытия в данной статье.

Список литературы

1. Bukhtiyarova L. Additional data on the diatom genus *Karayevia* and a proposal to reject the genus *Kolbesia* // Nova Hedwigia. 2006. V.130. P. 85–96.
2. Cox E.J. Coscinodiscophyceae, Mediophyceae, Fragilariophyceae, Bacillariophyceae (Diatoms) // Jaklitsch W. et al. (Eds.) Syllabus of Plant Families. Adolf Engler's Syllabus der Pflanzenfamilien. Part 2/1. Photoautotrophic eukaryotic Algae: Glaucocystophyta, Cryptophyta, Dinophyta/Dinzoa, Haptophyta, Heterokontophyta/Ochrophyta, Chlorarachniophyta/Cercozoa, Euglenophyta/Euglenozoa, Chlorophyta, Streptophyta. Stuttgart: Borntraeger Verlagsbuchhandlung, 2015. – P. 64–103.
3. Jahn R., Abarca N., Gemeinholzer B., Mora D., Skibbe O., Kulikovskiy M., Gusev E., Kusber W.-H., Zimmermann J. *Planothidium lanceolatum* and *Planothidium frequentissimum* reinvestigated with molecular methods and morphology: four new species and the taxonomic importance of the sinus and cavum // Diatom Research. V.32, №1. P. 75–107. DOI: <https://doi.org/10.1080/0269249X.2017.1312548>

4. Kulikovskiy M., Maltsev Ye., Andreeva S., Glushchenko A., Gusev E., Podunay Yu., Veiga Ludwig T., Tusset E., Kociolek J.P. Description of a new diatom genus *Dorofeyukea* gen. nov. with remarks on phylogeny of the family Stauroneidaceae // Journal of Phycology. 2019. V.55, №1. P. 173–185. DOI: <https://doi.org/10.1111/jpy.12810>
5. Kulikovskiy M., Maltsev Ye., Glushchenko A., Gusev E. Preliminary molecular phylogeny of the diatom genus *Nupela* with the description of a new species and consideration of the interrelationships of taxa in the suborder Neidiineae D.G. Mann sensu E.J. Cox // Fottea. 2020. V.20, №2. P. 192–204. DOI: <https://doi.org/10.5507/fot.2020.009>
6. Pinseel E., Vanormelingen P., Hamilton P. B., Vyverman W., Van de Vijver B., Kopalova K. Molecular and morphological characterization of the *Achnanthidium minutissimum* complex (Bacillariophyta) in Petuniabukta (Spitsbergen, High Arctic) including the description of *A. digitatum* sp. nov. // European Journal of Phycology. 2017. V.52. P. 264–280. DOI: <https://doi.org/10.1080/09670262.2017.1283540>
7. Tseplik N., Glushchenko A., Maltsev Y., Kuznetsova I., Genkal S., Kociolek J. P., Kulikovskiy M. A new monoraphid diatom species from the genus *Karayevia* sensu lato (Bacillariophyceae: Stauroneidaceae) with remarks on taxonomy and phylogeny of the genus // Diatom Research. 2022. V.37, №1. P. 39–50. DOI: <https://doi.org/10.1080/0269249X.2022.2039780>
8. Tseplik N., Glushchenko A., Maltsev Ye., Genkal S., Nergui S., Kulikovskiy M. Molecular investigation of *Nupela mongolica* sp. nov. (Bacillariophyceae) with the description of the family Nupelaceae fam. nov. // Phytotaxa. 2025. V. 681, № 2. P. 186–198. DOI: <https://doi.org/10.11646/phytotaxa.681.2.4>
9. Tseplik N., Genkal S., Maltsev Ye., Kuznetsova I., Kulikovskiy M. Molecular Investigation of the *Achnanthidium minutissimum* Complex (Bacillariophyceae) from the Transbaikal Region with the Description of Three New Species // Water. 2023. V.15. P. 3379. DOI: <https://doi.org/10.3390/w15193379>
10. Tseplik N., Maltsev Ye., Glushchenko A., Genkal S., Mironova E., Kulikovskiy M. New cavum-bearing *Planothidium* (Achnanthidiaceae, Bacillariophyceae) species from the Kamchatka Peninsula, Russia // Phytotaxa. 2024b. V.665, №3. P. 271–281. DOI: <https://doi.org/10.11646/phytotaxa.665.3.9>
11. Tseplik N., Maltsev Ye., Glushchenko A., Genkal S., Kulikovskiy M. Two new *Planothidium* (Achnanthidiaceae, Bacillariophyceae) species with a sinus from the Kamchatka Peninsula, Russia // Phytotaxa. 2024a. V.664, №2. P. 111–122. DOI: <https://doi.org/10.11646/phytotaxa.664.2.3>
12. Vyverman W., Compère P. *Nupela giluwensis* gen. & spec. nov. A new genus of naviculoid diatoms // Diatom Research. 1991. V.6, №1. P. 175–179. DOI: <https://doi.org/10.1080/0269249X.1991.9705156>
13. Witkowski A., Li Ch., I. Zglobicka, Shu-xian Yu, Ashworth M., Dąbek P., Qin Song, Tang Cheng, Krzywdą M., Ruppel M., Theriot E.C., Jansen R.K., Car A., Tomasz Płociński, Wang Yin-chu, Sabir J.S.M., Daniszewska-Kowalczyk G., Kierzek A., Hajrah N.H. Multigene assessment of biodiversity of diatom (Bacillariophyceae) assemblages from the littoral zone of the Bohai and Yellow seas in Yantai region of northeast China with some remarks on ubiquitous taxa // Journal of Coastal Research. 2016. V.74. P. 166–195. DOI: <https://doi.org/10.2112/SI74-016.1>

Статья поступила в редакцию 18.06.2025; поступила после доработки 08.08.2025; принята к публикации 28.08.2025

Сведения об авторах

Цеплик Наталья Денисовна – н.с., Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН (ИФР РАН), Россия, Москва (Timiryazev Institute of Plant Physiology, RAS, Russia, Moscow); ntseplik@gmail.com; ORCID – <https://orcid.org/0009-0005-7752-5221>; SPIN-код 5381-9610.

Глуценко Антон Михайлович – к.б.н., в.н.с., Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН (ИФР РАН), Россия, Москва (Timiryazev Institute of Plant Physiology, RAS, Russia, Moscow); chelovek91_91@mail.ru; ORCID – <https://orcid.org/0000-0002-3876-3455>; SPIN-код 1506-0119.

Мальцев Евгений Иванович – д.б.н., в.н.с., Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН (ИФР РАН), Россия, Москва (Timiryazev Institute of Plant Physiology, RAS, Russia, Moscow); maltsev.ye@yandex.ru; ORCID – <https://orcid.org/0000-0003-4710-319X>; SPIN-код 9410-6478.

Генкал Сергей Иванович – д.б.н., г.н.с., Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН Россия, Ярославская обл., Некоузский р-н, п. Борок (Papanin Institute for Biology of Inland Waters, RAS, Russia, Borok); genkal47@mail.ru; ORCID – <https://orcid.org/0000-0001-6475-4029>; SPIN-код 8325-7470.

Куликовский Максим Сергеевич – д.б.н., г.н.с., Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН (ИФР РАН), Россия, Москва (Timiryazev Institute of Plant Physiology, RAS, Russia, Moscow); mx-kulikovsky@yandex.ru; ORCID – <https://orcid.org/0000-0003-0999-9669>; SPIN-код 4170-2884.

Корреспондентский адрес: Россия, 127276, Москва, ул. Ботаническая, д. 35, ИФР РАН, тел. (499) 678-54-00.

Molecular phylogeny of some raphid diatom genera

Natalia D. Tseplik¹, Anton M. Glushchenko¹, Yevhen I. Maltsev¹, Sergey I. Genkal²,
Maxim S. Kulikovskiy¹

¹Timiryazev Institute of Plant Physiology, RAS (Russia, Moscow)

²Papanin Institute for Biology of Inland Waters, RAS (Russia, Borok)

This communication presents the results of molecular analysis of representatives of the genera *Achnantheidium*, *Planothidium*, *Karayevia* and *Nupela* from different regions of Asia. The phylogenetic position of the studied strains as well as the taxonomic significance of some morphological features are discussed. The presence of cryptic diversity in the species complexes *Achnantheidium minutissimum*, *Planothidium lanceolatum* and *Planothidium frequentissimum/victori* is shown.

Key words: molecular phylogeny; raphid diatoms; cryptic diversity; taxonomy

References

1. Bukhtiyarova L. Additional data on the diatom genus *Karayevia* and a proposal to reject the genus *Kolbesia*. *Nova Hedwigia*. 2006. V.130. P. 85–96.
2. Cox E.J. Coscinodiscophyceae, Mediophyceae, Fragilariophyceae, Bacillariophyceae (Diatoms). In : Jaklitsch W. et al. (Eds.) Syllabus of Plant Families. Adolf Engler's Syllabus der Pflanzenfamilien. Part 2/1. Photoautotrophic eukaryotic Algae: Glaucocystophyta, Cryptophyta, Dinophyta/Dinzoa, Haptophyta, Heterokontophyta/Ochromytha, Chlorarachniophyta/Cercozoa, Euglenophyta/Euglenozoa, Chlorophyta, Streptophyta. Stuttgart: Borntraeger Verlagsbuchhandlung, 2015. – P. 64–103.
3. Jahn R., Abarca N., Gemeinholzer B., Mora D., Skibbe O., Kulikovskiy M., Gusev E., Kusber W.-H., Zimmermann J. *Planothidium lanceolatum* and *Planothidium frequentissimum* reinvestigated with molecular methods and morphology: four new species and the taxonomic importance of the sinus and cavum. *Diatom Research*. V.32, №1. P. 75–107. DOI: <https://doi.org/10.1080/0269249X.2017.1312548>
4. Kulikovskiy M., Maltsev Ye., Andreeva S., Glushchenko A., Gusev E., Podunay Yu., Veiga Ludwig T., Tusset E., Kociolek J.P. Description of a new diatom genus *Dorofeyukea* gen. nov. with remarks on phylogeny of the family Stauroneidaceae. *Journal of Phycology*. 2019. V.55, №1. P. 173–185. DOI: <https://doi.org/10.1111/jpy.12810>
5. Kulikovskiy M., Maltsev Ye., Glushchenko A., Gusev E. Preliminary molecular phylogeny of the diatom genus *Nupela* with the description of a new species and consideration of the interrelationships of taxa in the suborder Neidiineae D.G. Mann sensu E.J. Cox. *Fottea*. 2020. V.20, №2. P. 192–204. DOI: <https://doi.org/10.5507/fot.2020.009>
6. Pinseel E., Vanormelingen P., Hamilton P. B., Vyverman W., Van de Vijver B., Kopalova K. Molecular and morphological characterization of the *Achnantheidium minutissimum* complex (Bacillariophyta) in Petuniabukta (Spitsbergen, High Arctic) including the description of *A. digitatum* sp. nov. *European Journal of Phycology*. 2017. V.52. P. 264–280. DOI: <https://doi.org/10.1080/09670262.2017.1283540>
7. Tseplik N., Glushchenko A., Maltsev Y., Kuznetsova I., Genkal S., Kociolek J. P., Kulikovskiy M. A new monoraphid diatom species from the genus *Karayevia* sensu lato (Bacillariophyceae: Stauroneidaceae) with remarks on taxonomy and phylogeny of the genus. *Diatom Research*. 2022. V.37, №1. P. 39–50. DOI: <https://doi.org/10.1080/0269249X.2022.2039780>
8. Tseplik N., Glushchenko A., Maltsev Ye., Genkal S., Nergui S., Kulikovskiy M. Molecular investigation of *Nupela mongolica* sp. nov. (Bacillariophyceae) with the description of the family Nupelaceae fam. nov. *Phytotaxa*. 2025. V. 681, № 2. P. 186–198. DOI: <https://doi.org/10.11646/phytotaxa.681.2.4>
9. Tseplik N., Genkal S., Maltsev Ye., Kuznetsova I., Kulikovskiy M. Molecular Investigation of the *Achnantheidium minutissimum* Complex (Bacillariophyceae) from the Transbaikal Region with the Description of Three New Species. *Water*. 2023. V.15. ID 3379. DOI: <https://doi.org/10.3390/w15193379>
10. Tseplik N., Maltsev Ye., Glushchenko A., Genkal S., Mironova E., Kulikovskiy M. New cavum-bearing *Planothidium* (Achnanthidiaceae, Bacillariophyceae) species from the Kamchatka Peninsula, Russia. *Phytotaxa*. 2024b. V.665, №3. P. 271–281. DOI: <https://doi.org/10.11646/phytotaxa.665.3.9>
11. Tseplik N., Maltsev Ye., Glushchenko A., Genkal S., Kulikovskiy M. Two new *Planothidium* (Achnanthidiaceae, Bacillariophyceae) species with a sinus from the Kamchatka Peninsula, Russia. *Phytotaxa*. 2024a. V.664, №2. P. 111–122. DOI: <https://doi.org/10.11646/phytotaxa.664.2.3>

12. Vyverman W., Compère P. *Nupela giluwensis* gen. & spec. nov. A new genus of naviculoid diatoms. *Diatom Research*. 1991. V.6, №1. P. 175–179. DOI: <https://doi.org/10.1080/0269249X.1991.9705156>
13. Witkowski A., Li Ch., I. Zglobicka, Shu-xian Yu, Ashworth M., Dąbek P., Qin Song, Tang Cheng, Krzywda M., Ruppel M., Theriot E.C., Jansen R.K., Car A., Tomasz Płociński, Wang Yin-chu, Sabir J.S.M., Daniszewska-Kowalczyk G., Kierzek A., Hajrah N.H. Multigene assessment of biodiversity of diatom (Bacillariophyceae) assemblages from the littoral zone of the Bohai and Yellow seas in Yantai region of northeast China with some remarks on ubiquitous taxa. *Journal of Coastal Research*. 2016. V.74. P. 166–195. DOI: <https://doi.org/10.2112/SI74-016.1>

ССЫЛКА НА СТАТЬЮ:

Цеплик Н.Д., Глущенко А.М., Мальцев Е.И., Генкал С.И., Куликовский М.С. Молекулярная филогения некоторых родов шовных диатомовых водорослей // Вопросы современной альгологии. 2025. № 1 (37). P. 59–63. URL: <http://algology.ru/2129>

Tsepplik N.D., Glushchenko A.M., Maltsev Y.I., Genkal S.I., Kulikovskiy M.S. Molecular phylogeny of some raphid diatom genera. *Voprosy sovremennoi algologii (Issues of modern algology)*. 2025. № 1 (37). P. 59–63. URL: <http://algology.ru/2129>

DOI – [https://doi.org/10.33624/2311-0147-2025-1\(37\)-59-63](https://doi.org/10.33624/2311-0147-2025-1(37)-59-63); EDN – UREPRC

Nitzschia cf. frigida* в Амурском заливе Японского моря**Nitzschia cf. frigida* in Amur Bay of the Sea of Japan****Юрикова Е.А., Орлова Т.Ю.****Ekaterina A. Yurikova, Tatiana Yu. Orlova***Национальный научный центр морской биологии имени А. В. Жирмунского ДВО РАН –
ННЦМБ ДВО РАН (Владивосток, Россия)*

Микроводоросли являются основным биологическим компонентом морских льдов. *Nitzschia frigida* – один из видов, наиболее часто встречающихся в морском льду, часто упоминается в работах криобиологической направленности. Наше наблюдение показывает, что *N. frigida*, встреченная во льду Амурского залива, отличается по некоторым морфологическим признакам от общепринятых описаний, что свидетельствует о внутривидовой изменчивости вида.

Ключевые слова: морской лед; ледовые микроводоросли; Амурский залив; Японское море

В связи с глобальным потеплением, изучение сезонно образующихся ледяных покровов приобретает особую актуальность. Исследования показывают, что микроводоросли активно влияют на физико-химические свойства льда, а в период его таяния являются одним из основных источников первичной продукции. В связи с этим исследования сообществ микроводорослей в сезонно образующемся морском льду в последние годы проводятся особенно активно. У микроводорослей, обитающих в таких необычных условиях, обнаружены адаптационные механизмы, выраженные в физиологических, биохимических и морфологических изменениях, которые могут по-разному проявляться даже внутри одного вида в зависимости от региональных особенностей среды обитания (Ligowski et al., 2012; Shorenko et al., 2016; Brandenburg et al., 2018; Weber et al., 2025). Особый интерес представляет Амурский залив, который является одной из самых южных точек северного полушария, где формируется сезонный устойчивый ледяной покров.

Материал получен из кернов льда Амурского залива, собранных в зимний период с 2021 по 2025 гг. Керны льда вырезали кольцевым буром диаметром 15 см, растапливали при комнатной температуре в течение суток. Материал просматривали под световым микроскопом (Olympus BX41) как в живом состоянии, так и в фиксированном с помощью раствора Утермеля. Для сканирующей электронной микроскопии (Zeiss Sigma 300 VP) использовали традиционную методику кипячения в концентрированной (98%) H₂SO₄ в течение 40 минут, при режиме центрифугирования – 4000 об/мин в течение 12 минут.

Nitzschia frigida Grunow 1880 – пеннатная диатомовая водоросль, бентосный аркто-бореальный вид, часто встречающийся в арктических водах, один из ключевых

видов морского льда. В северо-западной части Японского моря вид впервые отмечен Гайлом Г.И. (Гайл, 1950), в описании которого указано, что *N. frigida* встречается перед приморским берегом зимой и ранней весной. В планктоне Амурского залива вид встречается в зимнее время с января по апрель от 10 тыс. до 1 млн. кл/л, наиболее многочислен в марте (Орлова и др., 2009). По нашим данным во льду Амурского залива вид встречается с января по март, наиболее обилен в нижних слоях, численность достигает 2 млн кл/л, в среднем в слое льда – 45 тыс. кл/л.

Вид характеризуется ланцетной со створки и прямоугольной с пояска формой клеток, двумя хорошо различимыми хлоропластами, образует древовидные колонии. В ходе поиска по литературным данным было проанализировано несколько описаний вида *N. frigida* (Прошкина-Лавренко, 1950; Medlin & Hasle, 1989; Witkowski et al., 2000; Throndsen et al., 2007), в том числе первоописание Грунова (Cleve & Grunow, 1879). Основные морфометрические признаки включают в себя длину от 36 до 75, ширину от 4,5 до 12,5, число фибул от 7 до 9 шт в 10 мкм, число штрихов от 30 до 50 шт в 10 мкм (табл. 1).

Таблица 1. Основные морфометрические признаки клеток *Nitzschia frigida* по лит. данным и в Амурском заливе

Table 1. Main morphometric traits of *Nitzschia frigida* cells in literature data and in Amur Bay

Морфометрические характеристики	Cleve & Grunow, 1879	Throndsen et al., 2007	Прошкина-Лавренко, 1950	Medlin & Hasle, 1989	Witkowski et al., 2000	Амур. залив
Длина (апик.), мкм	45–75	45–75	36–75	45–75	45–75	35–66
Ширина (трансп.), мкм	8–12,5	4,5–7,5	5–12	4,5–7,5	4,5–7,5	3,1–6,8
Число фибул в 10 мкм	7–10	7–9	7–10	7–9	7–9	12–16
Число штрихов в 10 мкм	>35		>30	45–50	45–50	37–45

При детальном анализе, проведенном с помощью СЭМ, было показано, что основные морфометрические признаки *N. frigida* из льда Амурского залива в целом соответствуют имеющимся литературным данным, за исключением меньших размеров створки. Существенное несоответствие обнаружено в числе фибул, которое отличается от имеющихся описаний почти в два раза. Известно, что фибулы обеспечивают поддержку системы шва (Paddock & Sims, 1977). Можно сделать предположение, что большее число фибул, обнаруженных у *N. frigida*, обитающей во льду Амурского залива, связано со спецификой биотопа. Подобные морфологические изменения, касающиеся числа фибул, были установлены ранее для шовных пеннатных диатомей родов *Nitzschia* (Shorenko et al., 2016) и *Pseudo-nitzschia*, как следствие внутривидовой изменчивости (Weber et al., 2025). Однако, не исключено и то, что мы имеем дело с новым видом, идентификация которого невозможна без проведения молекулярно-генетических исследований.

Данное исследование поддержано Федеральной службой по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды Российской Федерации (Соглашение № 169-15-2023-002).

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов, требующего раскрытия в данной статье.

Список литературы

1. Гайл Г.И. Определитель фитопланктона Японского моря // Известия ТИНРО. 1950. Т.33. С. 3–177.
2. Диатомовый анализ. Книга 3. Определитель ископаемых и современных диатомовых водорослей / А.И. Прошкина-Лавренко (ред.). – Л.: Госиздат, 1950. – 398 с.
3. Орлова Т.Ю., Стоник И.В., Шевченко О.Г. Флора микроводорослей планктона Амурского залива Японского моря // Биология моря. 2009. Т.35 №1. С. 48–61.
4. Brandenburg K.M., Wohlrab S., John U., Kremp A., Jerney J. Krock B., Van de Waal D.B. Intraspecific trait variation and trade-offs within and across populations of a toxic dinoflagellate // Ecology letters. 2018. V.2, №10. P. 1561–1571. DOI: <https://doi.org/10.1111/ele.13138>
5. Cleve P.T., Grunow A. Beiträge zur Kenntniss der arctischen Diatomeen. – Kongliga Svenska Vetenskaps-Akademiens Handlingar. 1880. V.17, №2. P. 1–121.
6. Ligowski L., Jordan R.W., Assmy P. Morphological adaptation of a planktonic diatom to growth in Antarctic sea ice // Marine Biology. 2012. V.159, №4. P. 817–827. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00227-011-1857-6>
7. Medlin L.K., Hasle G.R. Some *Nitzschia* and related diatom species from fast ice samples in the Arctic and Antarctic // Polar Biology. 1990. V.10. P. 451–479. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF00233693>
8. Paddock T.B.B., Sims B.A. A preliminary survey of the raphe structure of some advanced groups of diatoms (Epithemiaceae-Surirellaceae) // Beihefte zur Nova Hedwigia. 1977. V.54. P. 291–322.
9. Shorenko K.I., Podunai Yu.A., Davidovich O.I., Kulikovskiy M.S. Morphological variation of two marine diatom species, *Nitzschia ventricosa* and *Ardissonea crystallina* (Bacillariophyta) // Marine Biological Journal. 2016. V.1, №4. P. 53–62. DOI: <https://doi.org/10.21072/mbj.2016.01.4.07>
10. Throndsen J., Hasle G.R., Tangen K. Phytoplankton of Norwegian coastal waters. – Oslo: Almager farglas as, 2007. – 343 p.
11. Weber C., Olesen A.J., Hatfield R.G., Krock B., Lundholm N. Extensive variation in thermal responses and toxin content among 40 strains of the cold-water diatom *Pseudo-nitzschia seriata* – in a global warming context // Toxins. 2025. V.17, №5. ID 235. DOI: <https://doi.org/10.3390/toxins17050235>
12. Witkowski A., Lange-Bartalot H., Metzeltin D. Diatom flora of marine coasts. – Konigstein: A.R.G. Gantner Verlag K.G., 2000. – 925 p.

Статья поступила в редакцию 18.06.2025; поступила после доработки 01.08.2025; принята к публикации 28.08.2025

Сведения об авторах

Юрикова Екатерина Андреевна – м.н.с., Национальный научный центр морской биологии им. А.В. Жирмунского ДВО РАН (НИЦМБ ДВО РАН), Россия, Владивосток (Zhirmunsky National Scientific Center of Marine Biology, Far Eastern Branch, RAS, Russia, Vladivostok), Лаборатория морской микробиоты; komciykat@mail.ru; ORCID – <https://orcid.org/0000-0003-2831-5197>; SPIN-код 2987-8250.

Орлова Татьяна Юрьевна – к.б.н., в.н.с., Национальный научный центр морской биологии им. А.В. Жирмунского ДВО РАН (НИЦМБ ДВО РАН), Россия, Владивосток (Zhirmunsky National Scientific Center of Marine Biology, Far Eastern Branch, RAS, Russia, Vladivostok), Лаборатория морской микробиоты; torlova06@mail.ru; ORCID – <https://orcid.org/0000-0002-5246-6967>; SPIN-код 1604-9058.

Корреспондентский адрес: Россия, 690041, Владивосток, ул. Пальчевского, д. 17, НИЦМБ ДВО РАН, тел. (423) 231-09-05

Nitzschia cf. *frigida* in Amur Bay of the Sea of Japan

Ekaterina A. Yurikova, Tatiana Yu. Orlova

Zhirmunsky National Scientific Center of Marine Biology, Far Eastern Branch, RAS (Russia, Vladivostok)

Microalgae are the key biological component of sea ice. *Nitzschia frigida* is one of the most common for the sea ice species and often mentioned in cryobiological studies. Our observation shows that morphology of *N. frigida* from sea ice of Amur Bay differs from generally accepted descriptions what may be an evidence of the intraspecific variability.

Key words: sea ice; ice microalgae; Amur Bay; the Sea of Japan

References

1. Brandenburg K.M., Wohlrab S., John U., Kremp A., Jerney J. Krock B., Van de Waal D.B. Intraspecific trait variation and trade-offs within and across populations of a toxic dinoflagellate. *Ecology letters*. 2018. V.2, №10. P. 1561–1571. DOI: <https://doi.org/10.1111/ele.13138>
2. Cleve P.T., Grunow A. Beiträge zur Kenntniss der arctischen Diatomeen. Kongliga Svenska Vetenskaps-Akademiens Handlingar. 1880. V.17, №2. P. 1–121.
3. Diatom analysis. Book 3. The determinant of fossil and modern diatoms. Proshkina-Lavrenko A.I. (Ed.). Gosizdat, Leningrad, 1950. 398 p. (In Russ.)
4. Gail G.I. Phytoplankton determinant of the Sea of Japan. *Izvestiya TINRO*. 1950. V.33. P. 3–177. (In Russ.)
5. Ligowski L., Jordan R.W., Assmy P. Morphological adaptation of a planktonic diatom to growth in Antarctic sea ice. *Marine Biology*. 2012. V.159, №4. P. 817–827. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00227-011-1857-6>
6. Medlin L.K., Hasle G.R. Some *Nitzschia* and related diatom species from fast ice samples in the Arctic and Antarctic. *Polar Biology*. 1990. V.10. P. 451–479. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF00233693>
7. Orlova T.Yu., Stonik I.V., Shevchenko O.G. Flora of Planktonic Microalgae of Amursky Bay, Sea of Japan. *Russian Journal of Marine Biology*. 2009. V.35. №1. P. 48–61. DOI: <https://doi.org/10.1134/S106307400901009X>
8. Paddock T.B.B., Sims B.A. A preliminary survey of the raphe structure of some advanced groups of diatoms (Epithemiaceae-Suirellaceae). *Beihefte zur Nova Hedwigia*. 1977. V.54. P. 291–322.
9. Shorenko K.I., Podunai Yu.A., Davidovich O.I., Kulikovskiy M.S. Morphological variation of two marine diatom species, *Nitzschia ventricosa* and *Ardissonea crystallina* (Bacillariophyta). *Marine Biological Journal*. 2016. V.1, №4. P. 53–62. DOI: <https://doi.org/10.21072/mbj.2016.01.4.07>
10. Throndsen J., Hasle G.R., Tangen K. Phytoplankton of Norwegian coastal waters. *Almager farglas* as, Oslo, 2007. 343 p.
11. Weber C., Olesen A.J., Hatfield R.G., Krock B., Lundholm N. Extensive variation in thermal responses and toxin content among 40 strains of the cold-water diatom *Pseudo-nitzschia seriata* – in a global warming context. *Toxins*. 2025. V.17, №5. ID 235. DOI: <https://doi.org/10.3390/toxins17050235>
12. Witkowski A., Lange-Bartalot H., Metzeltin D. Diatom flora of marine coasts. A.R.G. Gantner Verlag K.G., Königstein, 2000. 925 p.

ССЫЛКА НА СТАТЬЮ:

Юрикова Е.А., Орлова Т.Ю. *Nitzschia* cf. *frigida* в Амурском заливе Японского моря // Вопросы современной альгологии. 2025. № 1 (37). P. 64–67. URL: <http://algology.ru/2130>

Yurikova E.A., Orlova T.Yu. *Nitzschia* cf. *frigida* in Amur Bay of the Sea of Japan. *Voprosy sovremennoi algologii (Issues of modern algology)*. 2025. № 1 (37). P. 64–67. URL: <http://algology.ru/2130>

DOI – [https://doi.org/10.33624/2311-0147-2025-1\(37\)-64-67](https://doi.org/10.33624/2311-0147-2025-1(37)-64-67); EDN – URPMDU

Секция 2.

Генетика, эволюция и филогения

Идентификация с помощью молекулярно-генетических методов некоторых родов семейства *Thalassiosiraceae*

Molecular genetic identification of some diatom genera of the family *Thalassiosiraceae*

Качур Д.И.¹, Шульгина М.А.^{1,2}

Diana I. Kachur, Mariia A. Shulgina

¹Национальный научный центр морской биологии имени А.В. Жирмунского – ННЦМБ ДВО РАН (Владивосток, Россия)

²Научно-образовательный комплекс «Приморский океанариум» – филиал ННЦМБ ДВО имени А.В. Жирмунского ДВО РАН (Владивосток, Россия)

В нашей работе представлен молекулярно-генетический анализ диатомовых водорослей родов *Minidiscus* и *Mediolabrus*, относящихся к семейству *Thalassiosiraceae*, отобранных на побережье Японского моря Дальнего Востока России. В ходе исследования рассматривается сложность идентификации двух рассматриваемых родов и анализ полученных данных.

Ключевые слова: диатомовые водоросли; *Thalassiosiraceae*; филогения; Японское море

Диатомовые водоросли родов *Minidiscus* и *Mediolabrus*, относящиеся к семейству *Thalassiosiraceae*, распространены по всему миру, как в прибрежных водах, так и по всей океанической толще воды. Плотность клеток данных микроводорослей может быть очень высокой и составлять более миллиона клеток на литр, вызывая так называемое «цветение».

Идентификация видов, диаметр клеток которых составляет 5 мкм и менее, зачастую затруднена из-за сложности и трудоемкости определения их видовой принадлежности (Kaczmarek et al., 2009). Несмотря на быстрый рост развития молекулярных методов, систематики часто не включают молекулярные исследования в описание видов. При этом точная идентификация имеет решающее значение для изучения биоразнообразия и биогеографии фитопланктона.

Амплификация образцов *Minidiscus* и *Mediolabrus* по участку 18S была проведена с помощью праймеров SSU_F (5'-KACCTGGTTGATCCTGCCAGT-3') и SSU_R (5'-TCACCTACGGAAACCTTGT-3') (Li et al., 2018). Для дальнейшего филогенетического анализа мы привлекли дополнительные последовательности из GenBank и литературных данных (Li et al., 2020; Park et al., 2017). Реконструкция филогенетических деревьев по методам MP, ML и NJ была выполнена в программной среде R. Реконструкция деревьев по методу BI была выполнена в программе MrBayes на основе 1000000 поколений с 2 запусками четырех параллельных цепей Маркова с частотой выборки 1 на 100 поколений. Топология BI была принята как основная ввиду наиболее полного разрешения узлов.

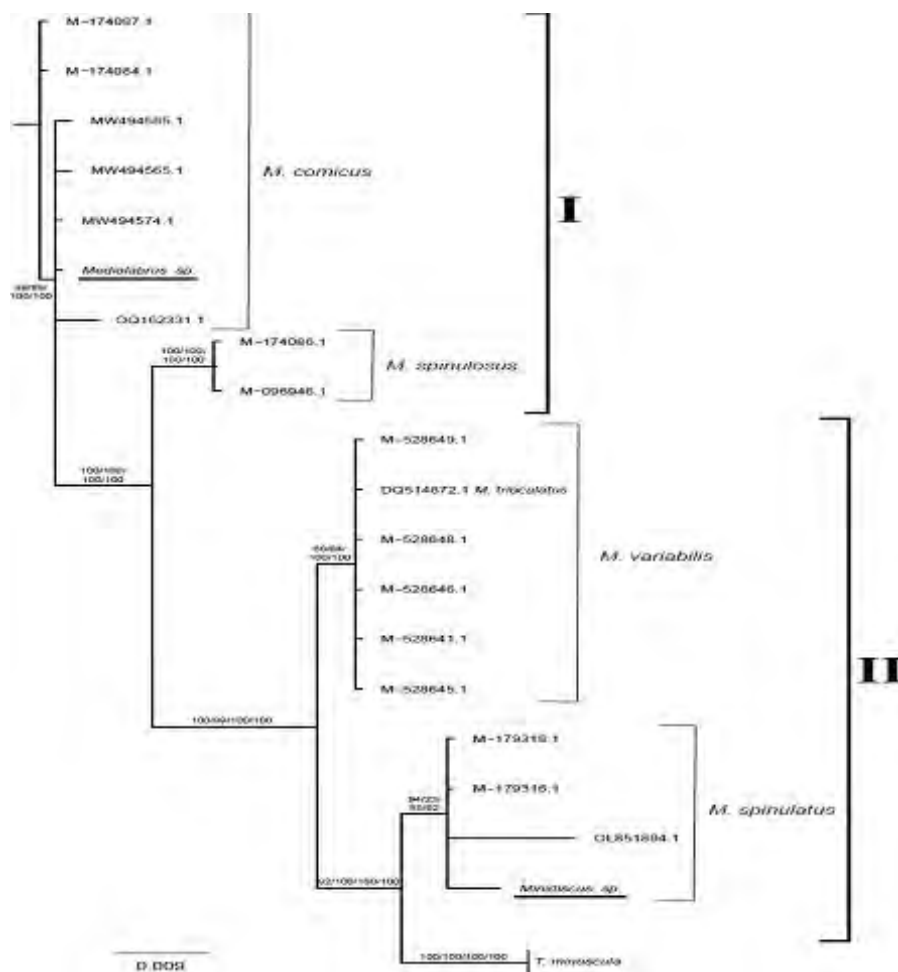


Рис. 1. Укорененное BI-дерево на основе последовательностей 18S рДНК, показывающее филогенетические отношения между видами родов *Mediolabrus* и *Minidiscus*. Устойчивость топологий в узлах для алгоритмов BI/NJ/MP/ML указана в процентах.

Fig. 1. Rooted BI tree based on 18S rDNA sequences showing phylogenetic relationships between species of the genus *Mediolabrus* and *Minidiscus*. The stability of topologies at nodes for the BI/NJ/MP/ML algorithms is given in percents.

На полученном дереве род *Mediolabrus* и род *Minidiscus* сформировали две отчетливые филогруппы. Наша последовательность *Mediolabrus sp.* находится в кладе *M. comicus*. Клада хорошо поддержана по всем 4-м методам реконструкции, устойчивость топологии составляет 100%, либо близкие к 100% значения. Другая последовательность *Minidiscus sp.* находится в кладе *M. spinulatus*. Клада имеет низкие поддержки только по методу NJ (23%), остальные методы показывают устойчивость топологии более 50% (рис. 1).

Значение дивергенции между нашей последовательностью *Mediolabrus sp.* и последовательностями *M. comicus* составляет 0,001%, что можно скорее назвать внутривидовым расстоянием, а не межвидовым, это вполне соотносится с положением последовательности на филогенетическом дереве. Последовательность *Minidiscus sp.* имеет значение дивергенции 0,005% и 0,008% с видами *M. variabilis*, *M. trioculatus* и *M. spinulatus*. И всё же, смотря на положение рассматриваемой последовательности на филогенетическом дереве, можно сказать, что данный образец относится к виду *M. spinulatus*.

Исследования частично проведены на площадке ЦКП «Приморский океанариум», ННЦМБ ДВО РАН (Владивосток).

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов, требующего раскрытия в данной статье.

Список литературы

1. Kaczmarek I., Lovejoy C., Potvin M., Macgillivray M. Morphological and molecular characteristics of selected species of *Minidiscus* (Bacillariophyta, Thalassiosiraceae) // European Journal of Phycology. 2009. V.44, №4. P. 461–475. DOI: <https://doi.org/10.1080/09670260902855873>
2. Li Y., Guo Y.Q., Guo X.H. Morphology and molecular phylogeny of *Thalassiosira sinica* sp. nov. (Bacillariophyta) with delicate areolae and fulcra pattern // European Journal of Phycology. 2018. V.53, №2. P. 122–134. DOI: <https://doi.org/10.1080/09670262.2017.1386329>
3. Li Y., Guo X.H., Lundholm L. Molecular phylogeny and taxonomy of the genus *Minidiscus* (Bacillariophyceae), with description of *Mediolabrus* gen. nov // Journal of Phycology. 2020. V.56, №6. P. 1443–1456. DOI: <https://doi.org/10.1111/jpy.13038>
4. Park J.S., Jung S.W., Ki J.S., Guo R., Kim H.J., Lee K.W., Lee J.H. Transfer of the small diatoms *Thalassiosira proschkiniae* and *T. spinulata* to the genus *Minidiscus* and their taxonomic re-description // PLoS One. 2017. V.12, №9. P. 1–20. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0181980>

Статья поступила в редакцию 18.06.2025; поступила после доработки 24.07.2025; принята к публикации 28.08.2025

Сведения об авторах

Качур Диана Игоревна – м.н.с., Национальный научный центр морской биологии им. А.В. Жирмунского ДВО РАН, Россия, Владивосток (Zhirmunsky National Scientific Center of Marine Biology, Far Eastern Branch, RAS, Russia, Vladivostok), Лаборатория молекулярной систематики; dina-cherry@mail.ru; ORCID – <https://orcid.org/0009-0004-9612-2391>; SPIN-код 5514-8381.

Шульгина Мария Александровна – м.н.с., Национальный научный центр морской биологии им. А.В. Жирмунского ДВО РАН, Владивосток, Россия (Zhirmunsky National Scientific Center of Marine Biology, Far Eastern Branch, RAS, Russia, Vladivostok), Лаборатория морской микробиоты; к.б.н., н.с., Научно-образовательный комплекс «Приморский океанариум» – филиал ННЦМБ им. А.В. Жирмунского ДВО РАН, Россия, Владивосток (“Primorsky Aquarium”, National Scientific Center of Marine Biology, Far Eastern Branch, RAS, Russia, Vladivostok), науч. руководитель Лаб. биотехнологии морских микроводорослей; annekee@mail.ru; ORCID – <https://orcid.org/0000-0002-4744-9230>; SPIN-код 9254-2438.

Корреспондентский адрес: Россия, 690041, Владивосток, ул. Пальчевского, д. 17 ННЦМБ ДВО РАН, тел. (423) 231-09-05

Molecular genetic identification of some diatom genera of the family Thalassiosiraceae

Diana I. Kachur¹, Mariia A. Shulgina^{1,2}

¹Zhirmunsky National Scientific Center of Marine Biology, Far Eastern Branch, RAS (Russia, Vladivostok)

²“Primorsky Aquarium”, National Scientific Center of Marine Biology, Far Eastern Branch, RAS (Russia, Vladivostok)

Our work presents a molecular genetic analysis of diatoms of the genera *Minidiscus* and *Mediolabrus* of the family Thalassiosiraceae, collected on the coast of the Sea of Japan in the Russian Far East. The study shows the difficulty of identification the two small diatom genus and analyzes the obtained data.

Key words: diatoms; Thalassiosiraceae; phylogeny; Sea of Japan

References

1. Kaczmarek I., Lovejoy C., Potvin M., Macgillivray M. Morphological and molecular characteristics of selected species of *Minidiscus* (Bacillariophyta, Thalassiosiraceae). *European Journal of Phycology*. 2009. V.44, №4. P. 461–475. DOI: <https://doi.org/10.1080/09670260902855873>
2. Li Y., Guo Y.Q., Guo X.H. Morphology and molecular phylogeny of *Thalassiosira sinica* sp. nov. (Bacillariophyta) with delicate areolae and fultoportulae pattern. *European Journal of Phycology*. 2018. V.53, №2. P. 122–134. DOI: <https://doi.org/10.1080/09670262.2017.1386329>
3. Li Y., Guo X.H., Lundholm L. Molecular phylogeny and taxonomy of the genus *Minidiscus* (Bacillariophyceae), with description of *Mediolabrus* gen. nov. *Journal of Phycology*. 2020. V.56, №6. P. 1443–1456. DOI: <https://doi.org/10.1111/jpy.13038>
4. Park J.S., Jung S.W., Ki J.S., Guo R., Kim H.J., Lee K.W., Lee J.H. Transfer of the small diatoms *Thalassiosira proschkinae* and *T. spinulata* to the genus *Minidiscus* and their taxonomic re-description. *PLoS One*. 2017. V.12, №9. P. 1–20. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0181980>

ССЫЛКА НА СТАТЬЮ:

Качур Д.И., Шульгина М.А. Идентификация с помощью молекулярно-генетических методов некоторых родов семейства Thalassiosiraceae // Вопросы современной альгологии. 2025. № 1 (37). P. 68–71. URL: <http://algology.ru/2132>

Kachur D.I., Shulgina M.A. Molecular genetic identification of some diatom genera of the family Thalassiosiraceae. *Voprosy sovremennoi algologii (Issues of modern algology)*. 2025. № 1 (37). P. 68–71. URL: <http://algology.ru/2132>

DOI – [https://doi.org/10.33624/2311-0147-2025-1\(37\)-68-71](https://doi.org/10.33624/2311-0147-2025-1(37)-68-71); EDN – AGYPRS

**Новые находки диатомовых водорослей
рода *Adlafia moser*, Lange-Bert. and Metzeltin 1998
на территории Российского Кавказа**

**New findings of diatoms of the genus *Adlafia moser*,
Lange-Bert. and Metzeltin 1998 on the territory
of the Russian Caucasus**

**Кухарук М.Ю.¹, Куликовский М.С.², Глущенко А.М.², Кезля Е.М.²
Maksim J. Kukharuk, Maxim S. Kulikovskiy, Anton M. Glushchenko,
Elena M. Kezlya**

¹Северо-Кавказский федеральный университет – ФГАОУ ВО «СКФУ»
(Ставрополь, Россия)

²Институт физиологии растений имени К.А. Тимирязева РАН – ИФР РАН
(Москва, Россия)

Проведено исследование культур диатомовых водорослей рода *Adlafia*, полученных с территории Кабардино-Балкарской республики и г. Сочи. Проведен анализ микрофотографий, сканирующая электронная микроскопия, молекулярно-генетический анализ.

Ключевые слова: диатомовые водоросли; *Adlafia*; Кавказ

Adlafia – род диатомовых водорослей, включающий около сорока видов, который был отделен от *Navicula* s.l. (Moser et al., 1998), голотипом является *Adlafia muscora* (Kocielek & Reviers) Gerd Moser, Lange-Bertalot & Metzeltin. Все известные виды *Adlafia* имеют небольшие размеры. Максимальная длина створки обычно составляет менее 25 мкм, только у нескольких видов – более 35 мкм (Monnier et al., 2012). Очертания створок обычно от линейных до линейно-ланцетных или эллиптических, с концами, более или менее оттянутыми, клювовидными или головчатыми. Поверхность шва имеет плоскую форму, слабо изогнута, с расширенными порами в центральной части и сильно отклоненными концами. Осевая область очень узкая, а центральная область изменчива, но никогда не расширяется и не достигают края створки. Плотность штрихов обычно высока, с четким радиальным рисунком, который постепенно сужается к концам створки. Штрихи расположены в один ряд и тянутся непрерывно от лицевой стороны створки к загибу. Простые, маленькие, округлые ареолы расположены непрерывно по поверхности створки, по краю и вниз на загиб; они открыты изнутри и закрыты снаружи гименом. *Adlafia* – широко распространенный, возможно, космополитический пресноводный род (Morales & Le, 2005).

Материалом для данной работы послужили пробы водорослей с территории Кабардино-Балкарской республики, собранные Куликовским М.С. в 2020 году, и из окрестностей г. Сочи в 2024 году. Из данных образцов в лаборатории молекулярной систематики водных растений ИФР РАН были получены три культуры водорослей рода *Adlafia*, которые были использованы для приготовления постоянных препаратов и выделения ДНК. Постоянные препараты были изготовлены с использованием смолы Naphrax и исследованы под световым микроскопом с использованием DIC (Куликовский и др., 2016), а также с помощью СЭМ на базе Научно-лабораторного комплекса чистых зон СКФУ.

Выделенные образцы ДНК были использованы для проведения ПЦР реакции, для которой были выбраны два наиболее часто используемых в баркодировании диатомовых водорослей маркера – ядерный 18S рРНК V4 (праймеры F-D512 /R-D978rev) и хлоропластный rbcL (праймеры rbcL66+ и rbcL1255- и rbcL404+ для секвенирования) (Kezlya et al., 2023). Все полученные секвенограммы были обработаны и выровнены на референс и проанализированы с использованием баз данных GenBank и Diat. barcode (Rimet et al., 2019).

Полученные данные позволяют нам дополнить информацию о разнообразии и филогении исследуемого рода.

Работа выполнена при поддержке гранта РНФ 24-14-00165 и в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (122042700045-3).

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов, требующего раскрытия в данной статье.

Список литературы

1. Куликовский М.С., Глуценко А.М., Генкал С.И., Кузнецова И.В. Определитель диатомовых водорослей России. – Ярославль: Общество с ограниченной ответственностью «Филигрань», 2016. – 804 с. – ISBN 978-5-906682-72-7.
2. Kezlya E., Tseplik N., Kulikovskiy M. Genetic Markers for Metabarcoding of Freshwater Microalgae: Review // *Biology*. 2023. V.12, №7. ID 1038. DOI: <https://doi.org/10.3390/biology12071038>
3. Monnier O., Ector L., Rimet F., Ferréol M., Homann L. *Adlaa langebertalotii* sp. nov. (Bacillariophyceae), a new diatom from the Grand-Duchy of Luxembourg morphologically similar to *A. suchlandtii* comb. nov. // *Nova Hedwigia Beihe*. 2012. V. 141. P. 131–140.
4. Morales E.A., Le M. A new species of the diatom genus *Adlafia* (Bacillariophyceae) from the United States // *Proc. Acad. Nat. Sci. Philadelphia*. 2005. V. 154. P. 149–154.
5. Moser G., Lange-Bertalot H., Metzeltin D. Insel der Endemiten. Geobotanisches Phänomen Neukaledonien. Island of endemics New Caledonia – a geobotanical phenomenon // *Bibliotheca Diatomologica*. 1998. V.38. 464 p.
6. Rimet F., Gusev E., Kahlert M., Kelly M., Kulikovskiy M., Maltsev Y., Mann D., Pfannkuchen M., Trobajo R., Vasselon V., Zimmermann J., Bouchez A. Diat. barcode, an open-access curated barcode library for diatoms // *Sci. Rep*. 2019. V.9. ID 15116.

Статья поступила в редакцию 18.06.2025; поступила после доработки 29.07.2025; принята к публикации 28.08.2025

Сведения об авторах

Кухарук Максим Юрьевич – к.б.н., зав. каф. ботаники, физиологии и биохимии растений, Северо-Кавказский федеральный университет, Россия, Ставрополь (North-Caucasus Federal University, Russia, Stavropol); kuth87@mail.ru; ORCID – <https://orcid.org/0000-0003-4093-5807>; SPIN-код 4343-9170.

Куликовский Максим Сергеевич – д.б.н., г.н.с., Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН (ИФР РАН), Россия, Москва (Timiryazev Institute of Plant Physiology, RAS, Russia, Moscow); max-kulikovsky@yandex.ru; ORCID – <https://orcid.org/0000-0003-0999-9669>; SPIN-код 4170-2884.

Глушченко Антон Михайлович – к.б.н., в.н.с., Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН (ИФР РАН), Россия, Москва (Timiryazev Institute of Plant Physiology, RAS, Russia, Moscow); chelovek91_91@mail.ru; ORCID – <https://orcid.org/0000-0002-3876-3455>; SPIN-код 1506-0119.

Кезля Елена Михайловна – к.б.н., с.н.с., Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН (ИФР РАН), Россия, Москва (Timiryazev Institute of Plant Physiology, RAS, Russia, Moscow); melosira@mail.ru; ORCID – <https://orcid.org/0000-0002-5263-9338>; SPIN-код 3196-8240.

Корреспондентский адрес: Россия, 127276, Москва, ул. Ботаническая, д. 35, ИФР РАН, тел. (499) 678-54-00.

New findings of diatoms of the genus *Adlafia moser*, Lange-Bert. and Metzeltin 1998 on the territory of the Russian Caucasus

Maksim J. Kukharuk¹, Maxim S. Kulikovskiy², Anton M. Glushchenko²,
Elena M. Kezlya²

¹North-Caucasus Federal University (Russia, Stavropol)

²Timiryazev Institute of Plant Physiology, RAS (Russia, Moscow)

A study was conducted on samples of planktonic and benthic diatoms collected in October 2024 from the high-mountain lakes Kara-Köl and Tumanly-Köl (Karachay-Cherkess Republic). Eight pure cultures were isolated and processed, and their genotyping was performed.

Key words: Diatoms; sediments; high-mountain lakes; Kara-Köl; Tumanly-Köl

References

1. Kulikovskiy M.S., Glushchenko A.M., Genkal S.I., Kuznetsova I.V. Determinant of Russian diatoms. Filigree Limited Liability Company, Yaroslavl, 2016. 804 p. (In Russ.)
2. Kezlya E., Tseplik N., Kulikovskiy M. Genetic Markers for Metabarcoding of Freshwater Microalgae: Review. *Biology*. 2023. V.12, №7. ID 1038. DOI: <https://doi.org/10.3390/biology12071038>
3. Monnier O., Ector L., Rimet F., Ferréol M., Homann L. *Adlaa langebertalotii* sp. nov. (Bacillariophyceae), a new diatom from the Grand-Duchy of Luxembourg morphologically similar to *A. suchlandtii* comb. nov. *Nova Hedwigia Beihe*. 2012. V.141. P. 131–140.
4. Morales E.A., Le M. A new species of the diatom genus *Adlafia* (Bacillariophyceae) from the United States. *Proc. Acad. Nat. Sci. Philadelphia*. 2005. V.154. P. 149–154.
5. Moser G., Lange-Bertalot H., Metzeltin D. Insel der Endemiten. Geobotanisches Phänomen Neukaledonien. Island of endemics New Caledonia – a geobotanical phenomenon. *Bibliotheca Diatomologica*. 1998. V.38. 464 p.
6. Rimet F., Gusev E., Kahlert M., Kelly M., Kulikovskiy M., Maltsev Y., Mann D., Pfannkuchen M., Trobajo R., Vasselon V., Zimmermann J., Bouchez A. Diat. barcode, an open-access curated barcode library for diatoms. *Sci. Rep*. 2019. V.9. ID 15116.

ССЫЛКА НА СТАТЬЮ:

Кухарук М.Ю., Куликовский М.С., Глушченко А.М., Кезля Е.М. Новые находки диатомовых водорослей рода *Adlafia moser*, Lange-Bert. and Metzeltin 1998 на территории Российского Кавказа // Вопросы современной альгологии. 2025. № 1 (37). P. 72–74. URL: <http://algology.ru/2133>

Kukharuk M.J., Kulikovskiy M.S., Glushchenko A.M., Kezlya E.M. New findings of diatoms of the genus *Adlafia moser*, Lange-Bert. and Metzeltin 1998 on the territory of the Russian Caucasus. *Voprosy sovremennoi algologii (Issues of modern algology)*. 2025. № 1 (37). P. 72–74. URL: <http://algology.ru/2133>

DOI – [https://doi.org/10.33624/2311-0147-2025-1\(37\)-72-74](https://doi.org/10.33624/2311-0147-2025-1(37)-72-74); EDN – WHTOWU

Опыт изучения диатомовых водорослей некоторых водоемов и водотоков г. Москвы методом метабаркодинга

The experience of studying diatoms of selected reservoirs and watercourses in Moscow using metabarcoding

Миронова Э.А.^{1,2}, Кезля Е.М.¹, Куликовский М.С.¹

Elina A. Mironova, Elena M. Kezlya, Maxim S. Kulikovskiy

¹Институт физиологии растений имени К.А. Тимирязева РАН – ИФР РАН
(Москва, Россия)

²Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,
биологический факультет (Москва, Россия)

С применением метода метабаркодинга изучен состав и распространение диатомовых водорослей в планктоне двадцати водных объектов на территории г. Москвы. В качестве генетического маркера выбран регион 18S V9–ITS1 rRNA. Секвенирование выполнено на платформе Illumina MiSeq с последующей таксономической аннотацией по базе SILVA и NCBI. Идентифицировано более 30 родов диатомей, включая *Navicula*, *Thalassiosira*, *Aulacoseira*, *Nitzschia* и др. Проведено сравнение состава сообществ между водными объектами разных типов (водоемы и водотоки), проанализировано влияние физико-химических показателей воды на состав сообщества диатомовых.

Ключевые слова: метабаркодинг; диатомовые водоросли; биомониторинг; Москва; фитопланктон

Водные экосистемы на территории г. Москвы испытывают существенное антропогенное влияние, связанное со значительной рекреационной нагрузкой со стороны городской среды. В связи с этим, анализ состояния поверхностных водоёмов и водотоков Москвы имеет приоритетное значение. Контроль качества поверхностных вод на территории города осуществляют такие организации как «Мосводоканал» (питьевое водоснабжение), Управление Роспотребнадзора по г. Москве (рекреационные водные объекты), Департамент природопользования и охраны окружающей среды г. Москвы, ГПБУ «Мосэкомониторинг», Отдел мониторинга воды (мониторинг водных объектов с целью выявления источников загрязнения и оценка экологической эффективности водоохраных мероприятий). Все эти организации контролируют широкий спектр физико-химических и микробиологических показателей согласно СанПиН и, насколько нам известно, гидробиологический анализ не проводят. При этом состояние водной экосистемы определяется методами биоиндикации, которые позволяют определить изменение ее состояния в ответ на загрязнение, обнаружить воздействия на водоем, предшествующие времени взятия анализа, а также определить

последствия разового загрязнения. Результаты физико-химического метода определяют показатели только на момент взятия проб.

Водоросли образуют начальное звено трофической цепи и, в связи с этим, несут большую функциональную нагрузку. Как известно, они очень чувствительны к условиям окружающей среды: быстро растут, быстро реагируют на изменения химических, физических или биологических факторов и, поэтому, используются в качестве биоиндикаторов для оценки качества воды и общего состояния экосистем. Одной из ключевых биоиндикаторных групп для оценки состояния пресноводных экосистем являются диатомовые водоросли (Bacillariophyta). Благодаря высокой чувствительности к изменениям условий среды и накопленной научной базе, они широко используются в экологическом мониторинге водоёмов (Kelly et al., 2008). Изучение биоразнообразия и анализ состава их сообществ обеспечивает выявление изменений окружающей среды, которые произошли по естественным причинам или в результате антропогенного воздействия.

Классические методы, основанные на микроскопии, довольно трудозатратны. Микроводоросли отличаются высоким видовым разнообразием. Изучение и анализ их сообщества требует высокой квалификации специалиста, обширных знаний в области морфологии и таксономии, постоянного обновления знаний в связи частыми таксономическими преобразованиями во всех группах водорослей. Криптическое разнообразие, показанное для многих таксонов микроводорослей, также не может быть обнаружено при микроскопировании. К тому же для анализа большого объёма проб классические подходы малоэффективны, а нехватка квалифицированных специалистов в этой области, особенно в последние годы, еще более затрудняет их применение. При этом метабаркодирование (метод идентификации таксономического состава сообщества из образцов окружающей среды путем амплификации и высокопроизводительного секвенирования последовательностей маркерных генов баркодов или метабаркодинг) уже признано альтернативным (более быстрым и экономичным) методом в отличие от традиционного метода микроскопии для экологической оценки и мониторинга пресноводных водоемов, рек и морей на основе микроводорослей.

В настоящее время, метод метабаркодинга активно внедряется в практики биомониторинга по всему миру. В ряде стран разработаны руководства и стандарты по применению метабаркодинга для оценки разнообразия микроводорослей и цианобактерий (Kelly et al. 2020, Elersek et al. 2021, Jerney et al. 2022). В России таких разработок на настоящий момент, насколько нам известно, нет. В целом исследования микроводорослей и цианобактерий с применением метабаркодинга в России проводят лишь единичные научные коллективы.

В данном исследовании проведено изучение фитопланктона двадцати водных объектов Москвы с применением метода метабаркодинга. Материалом для работы послужили пробы планктона, собранные в июне–июле 2024 года. В исследование были включены как водотоки (Москва-река, Яуза, Сетунь, Чаченка), так и водоемы (пруды в районах Сколково, Крылатское, Екатерининские и Патриаршие пруды, Мещерское озеро и другие) с разной рекреационной нагрузкой. Для анализа 100 литров природной воды пропускали через стерильную планктонную сеть с диаметром ячеей 29 мкм до финального объема 250 мл. Далее из общей пробы отбирали два подобразца по 50 мл (один фиксировали на месте, один сохраняли в сумке-холодильнике). По приезду в лабораторию образец на метабаркодинг отфильтровывали через аналитические трековые мембраны ООО «РЕАТРЕК-Фильтр» с диаметром пор 0,4 мкм при помощи аппарата для вакуумной фильтрации Sartorius и ручного вакуумного насоса. После этого фильтры с биомассой переносили в пробирки и немедленно замораживали. Одновременно во всех точках проводили измерение основных физико-химических

показателей (температура, pH, суммарная электропроводность) при помощи портативного прибора HANNA и отбор проб воды на химический анализ.

Для метабаркодинга использовали маркерный регион 18S V9–ITS1 и праймеры 1391F и ITS2_broad (Boenigk et al. 2018). Пробоподготовку и секвенирование на платформе Illumina MiSeq (2×300 п.н.) проводили в кампании «Синтол» (г. Москва). Биоинформатическая обработка включала фильтрацию по качеству, кластеризацию ампликонов в таксономические единицы (ASV, amplicon sequence variant) и таксономическую аннотацию по референсным базам SILVA и NCBI.

В результате анализа получены данные по составу диатомовых в фитопланктоне в 20 водных объектах на территории г. Москвы. Всего идентифицировано более 30 родов диатомей. Наиболее часто встречающимися родами оказались: *Thalassiosira* Cleve, *Navicula* Bory., *Aulacoseira* Thwaites, *Nitzschia*, *Ulnaria* (Kützinger) Compère, *Gomphonema* Kützinger, а также *Cyclotella* (Kützinger) Brébisson, *Amphora* Ehrenberg ex Kützinger, *Cocconeis* Ehrenberg. ASV этих родов обнаружены в трех и более водных объектах.

В докладе будут обсуждены результаты сравнения состава сообществ диатомовых между водными объектами разных типов (водоемов и водотоков), проведено сравнение данных, полученных с применением классического подхода (микроскопирование) и метабаркодинга, проанализировано влияние физико-химических показателей воды на состав сообщества диатомовых.

Работа выполнена при поддержке гранта РНФ 24-24-20116 (<https://rscf.ru/project/24-24-20116/>).

Авторы заявляют **об отсутствии конфликта интересов**, требующего раскрытия в данной статье.

Список литературы

1. Kelly M., Juggins S., Guthrie R., Pritchard S., Jamieson J., Rippey B., Hirst, H., Yallop M. Assessment of ecological status in UK rivers using diatoms // *Freshwater Biology*. 2008. V. 53, №. 2. P. 403–422. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2427.2007.01903.x>
2. Jerney J., Hällfors H., Oja J., Reunamo A., Suikkanen S., Lehtinen S. Guidelines for using environmental DNA in Finnish marine phytoplankton monitoring—Improved biodiversity assessment through method complementation. – Reports of Finnish Environment Institute, 2022. – V.40. – 69 p.
3. Boenigk J., Wodniok S., Bock C., Beisser D., Hempel C., Grossmann L., Lange A., Jensen M. Geographic distance and mountain ranges structure freshwater protist communities on a European scale // *Metabarcoding Metagenom*. 2018. V. 2, e21519. DOI: <https://doi.org/10.3897/mbmg.2.21519>
4. Kelly M., Boonham N., Juggins S., Mann D., Glover R. Further development of a DNA based metabarcoding approach to assess diatom communities in rivers. – Bristol: Environment Agency, 2020. – 133 p.
5. Elersek T. Technical Guidelines for eDNA Monitoring in Alpine Waters for Stakeholders and End-Users. 2024. <http://www.alpine-space.eu/project/eco-alpswater/> (дата обращения: 28.05.2025).

Статья поступила в редакцию 18.06.2025; поступила после доработки 09.07.2025; принята к публикации 28.08.2025

Сведения об авторах

Миронова Элина Алексеевна – инженер, Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН (ИФР РАН), Россия, Москва (Timiryazev Institute of Plant Physiology, RAS, Russia, Moscow); Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, биологический факультет, Москва, Россия (Lomonosov Moscow State University, Russia, Moscow); elechka-03@mail.ru; ORCID – <https://orcid.org/0009-0003-0695-9837>.

Кезля Елена Михайловна – к.б.н., с.н.с., Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН (ИФР РАН), Россия, Москва (Timiryazev Institute of Plant Physiology, RAS, Russia, Moscow); melosira@mail.ru; ORCID – <https://orcid.org/0000-0002-5263-9338>; SPIN-код 3196-8240.

Куликовский Максим Сергеевич – д.б.н., зав. Лабораторией, Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН (ИФР РАН), Россия, Москва (Timiryazev Institute of Plant Physiology, RAS, Russia, Moscow); max-kulikovsky@yandex.ru; ORCID – <https://orcid.org/0000-0003-0999-9669>; SPIN-код 4170-2884.

Корреспондентский адрес: Россия, 127276, Москва, ул. Ботаническая, д. 35, ИФР РАН, тел. (499) 678-54-00.

The experience of studying diatoms of selected reservoirs and watercourses in Moscow using metabarcoding

Elina A. Mironova^{1,2}, Elena M. Kezlya¹, Maxim S. Kulikovskiy¹

¹Timiryazev Institute of Plant Physiology, RAS (Russia, Moscow)

²Lomonosov Moscow State University (Russia, Moscow)

Composition and distribution of diatoms in the plankton of 20 waterbodies in Moscow has been studied with metabarcoding. The 18S V9–ITS1 rRNA region was selected as a genetic marker for molecular study. Sequencing was performed on the Illumina MiSeq platform, followed by taxonomic annotation based on SILVA and NCBI. More than 30 genera of diatoms have been identified, including *Navicula*, *Thalassiosira*, *Aulacoseira*, *Nitzschia*. A comparison of the composition of communities between water bodies of different types (reservoirs and watercourses) has been carried out, and the influence of physicochemical parameters of water on the composition of the diatom communities has been analyzed.

Key words: metabarcoding; diatoms; biomonitoring; Moscow; phytoplankton

References

1. Kelly M., Juggins S., Guthrie R., Pritchard S., Jamieson J., Rippey B., Hirst, H., Yallop M. Assessment of ecological status in UK rivers using diatoms. *Freshwater Biology*. 2008. V. 53, № 2. P. 403–422. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2427.2007.01903.x>
2. Jerney J., Hällfors H., Oja J., Reunamo A., Suikkanen S., Lehtinen S. Guidelines for using environmental DNA in Finnish marine phytoplankton monitoring—Improved biodiversity assessment through method complementation. Reports of Finnish Environment Institute, 2022. V.40. 69 p.
3. Boenigk J., Wodniok S., Bock C., Beisser D., Hempel C., Grossmann L., Lange A., Jensen M. Geographic distance and mountain ranges structure freshwater protist communities on a European scale. *Metabarcoding Metagenom.* 2018. V. 2, e21519. DOI: <https://doi.org/10.3897/mbmg.2.21519>
4. Kelly M., Boonham N., Juggins S., Mann D., Glover R. Further development of a DNA based metabarcoding approach to assess diatom communities in rivers. Bristol: Environment Agency, 2020. 133 p.
5. Elersek T. Technical Guidelines for eDNA Monitoring in Alpine Waters for Stakeholders and End-Users. 2024. <http://www.alpine-space.eu/project/eco-alpswater/> (date: 28.05.2025).

ССЫЛКА НА СТАТЬЮ:

Миронова Э.А., Кезля Е.М., Куликовский М.С. Опыт изучения диатомовых водорослей некоторых водоемов и водотоков г. Москвы методом метабаркодинга // Вопросы современной альгологии. 2025. № 1 (37). P. 75–78. URL: <http://algology.ru/2134>

Mironova E.A., Kezlya E.M., Kulikovskiy M.S. The experience of studying diatoms of selected reservoirs and watercourses in Moscow using metabarcoding. *Voprosy sovremennoi algologii (Issues of modern algology)*. 2025. № 1 (37). P. 75–78. URL: <http://algology.ru/2134>

DOI – [https://doi.org/10.33624/2311-0147-2025-1\(37\)-75-78](https://doi.org/10.33624/2311-0147-2025-1(37)-75-78); EDN – ZRJQYC

Горизонтальный перенос митохондриальных генов у пеннатных бесшовных диатомей

Horizontal transfer of mitochondrial genes in pennate araphid diatoms

Налимова М.А.¹, Марченков А.М.¹, Захарова Ю.Р.¹, Тетерина В.И.¹,
Давидович Н.А.², Давидович О.И.², Подунай Ю.А.², Петрова Д.П.¹

Maria A. Nalimova, Artyom M. Marchenkov, Yulia R. Zakharova,
Veronica I. Teterina, Nickolai A. Davidovich, Olga I. Davidovich,
Yuliia A. Podunay, Daria P. Petrova

¹Лимнологический институт – ЛИН СО РАН (Иркутск, Россия)

²Карадагская научная станция имени Т.И. Вяземского – природный заповедник РАН –
филиал ФИЦ ИНБЮМ имени А.О. Ковалевского (Феодосия, Россия)

Диатомовые водоросли демонстрируют высокую степень дифференциации, что позволяет быстро адаптироваться к новым условиям окружающей среды. Мы проанализировали генетическую дифференциацию для моноклональных штаммов рода *Ulnaria*, выделенных из географически удаленных водоемов. В результате анализа фрагментов *cox1* было установлена гетерогенность популяций видов *Ulnaria acus*, *Ulnaria danica* и *Ulnaria ulna*. В ходе нашей работы впервые удалось установить факт межвидовой гибридизации для диатомовых водорослей путем анализа маркерных генов: ядерного (18S рРНК), хлоропластного (*rbcL*) и митохондриальных (*cox1*, *atp6*).

Ключевые слова: диатомовые водоросли; 18S рРНК; *cox1*; *atp6*; *rbcL*; горизонтальный перенос генов; митохондриальные гены

Диатомовые водоросли (Bacillariophyta) – одноклеточные автотрофные эукариотические организмы, доминирующие в составе бентосных и планктонных сообществ морских и пресных водоемах. Широкое распространение видов безусловно способствует морфологической, физиологической и генетической дифференциации популяций, которая играет важную роль в быстрой адаптации к условиям окружающей среды. Неравномерное распределение отдельных генотипов у ряда видов может быть связано с различиями в их экологических предпочтениях. Возможно, оказывает влияние чередование полового и бесполого размножения, поскольку в периоды бесполого размножения генотипическое разнообразие постепенно сокращается в результате естественного отбора.

В своем исследовании мы сосредоточились на определении генетической дифференциации в популяциях пресноводных пеннатных диатомовых водорослей рода *Ulnaria* (*Ulnaria acus* (Kützinger) Abol, *Ulnaria danica* (Kützinger) Compère & Bukhtiyarova и

Ulnaria ulna (Nitzsch) Compère). В работе мы провели анализ маркерных генов у моноклональных штаммов, выделенных из озер Западно-Кавказского региона, оз. Матано (Индонезия), оз. Байкал, а также р. Сарт и р. Эрдр (Франция).

Согласно филогенетической реконструкции гена 18S рРНК, анализируемые последовательности отнесены к кладам, соответствующими родам *Ulnaria* и *Fragilaria*. Последовательности всех штаммов, которые по данным морфологического анализа были отнесены к *U. acus* образуют одну кладу с высокой степенью поддержки. Группа *U. danica* / *U. ulna* содержит последовательности штаммов из оз. Рица, оз. Голубое, оз. Байкал и штаммов, выделенных из водоемов Италии, последовательности для которых опубликованы в базе данных NCBI. Отсутствие разделения между представителями этих двух видов на основе анализа разных вариабельных участков 18S рРНК было показано ранее (Zakharova et al., 2023). Следует отметить, что *U. ulna* и *U. danica* имеют схожую морфологию и при этом ряд тонких отличительных признаков (Zakharova et al., 2023).

Анализ *cox1* показал разделение штаммов *U. acus* на три клады. Клады 1 и 2 содержат последовательности штаммов, выделенных из географически удаленных водоемах Евразии. Клада 3 образована только последовательностями *cox1* двух штаммов из оз. Матано. Выделение индонезийских штаммов в отдельный генотип может быть связано с тем, что у изолированной и относительно малочисленной островной популяции, не имеющей связи с континентом, было больше шансов накопить различия в гене *cox1*.

Последовательности *cox1* штаммов *U. ulna* и *U. danica* не разделяются на отдельные клады видового порядка. Показано формирования трех клад, представляющих собой разные генотипы, которые могут встречаться в географически удаленных точках. Ранее были показаны географические пределы распространения данных видов на территории Евразии. *U. ulna* имеет широкое распространение в западной части континента, тогда как *U. danica* – в восточной части. Популяции *U. ulna* способны к межвидовой гибридизации с популяциями *U. danica*, находящимися в районе Западно-Сибирской низменности и к востоку от нее вплоть до оз. Байкал (Подунай, 2022). Согласно последним данным в фитопланктоне оз. Байкал присутствует только *U. danica* (Zakharova et al., 2023).

По данным анализа 18S рРНК штамм АСН275 является *F. radians*, а штаммы 5КН561 и G.21.0309-ОС-3 отнесены к *U. danica* и *U. ulna*, соответственно (рис. 1 18S rRNA). По результатам филогенетического анализа фрагмента гена *cox1* эти штаммы относятся к *U. acus*. Можно предположить, что в естественных условиях между парами *F. radians* и *U. acus*, *U. danica* и *U. acus*, *U. ulna* и *U. acus* возможна гибридизация, а исследуемые штаммы являются гибридами первого поколения. Однако, нет данных о межвидовой гибридизации между этими видами в лабораторных условиях (Подунай и др., 2021). Факт того, что ядерный и митохондриальный маркерные гены дают разную видовую принадлежность, может свидетельствовать о возможности горизонтального переноса генов (ГПГ) между исследуемыми видами, а именно передачи генетической информации между репродуктивно изолированными видами.

Для подтверждения выдвинутого предположения был проведен филогенетический анализ фрагментов хлоропластного гена *rbcL* и митохондриального гена *atp6*. Распределение последовательностей при филогенетическом анализе фрагмента гена *rbcL* по кладам видового уровня соответствует результату, полученному при анализе фрагментов гена 18S рРНК. В результате филогенетического анализа фрагмента гена *atp6* (рис. 1 *atp6*) штаммы АСН275, 5КН561 и G.21.0309-ОС-3 были отнесены в кладу, которая содержит только последовательности представителей *U. acus*. Согласно последовательности митохондриального генома *U. acus* расстояние между *cox1* и *atp6* составляет 16 508 п.н. Можно выдвинуть предположение, что ГПГ затронул протяженные участки митохондриального генома. Остается пока неясным

произошел ли в данном случае ГПГ всего митохондриального генома или его части. Считается, что ГПГ относительно распространен среди эукариот, является частью эволюционного процесса и может оказать влияние на адаптацию к новым условиям.

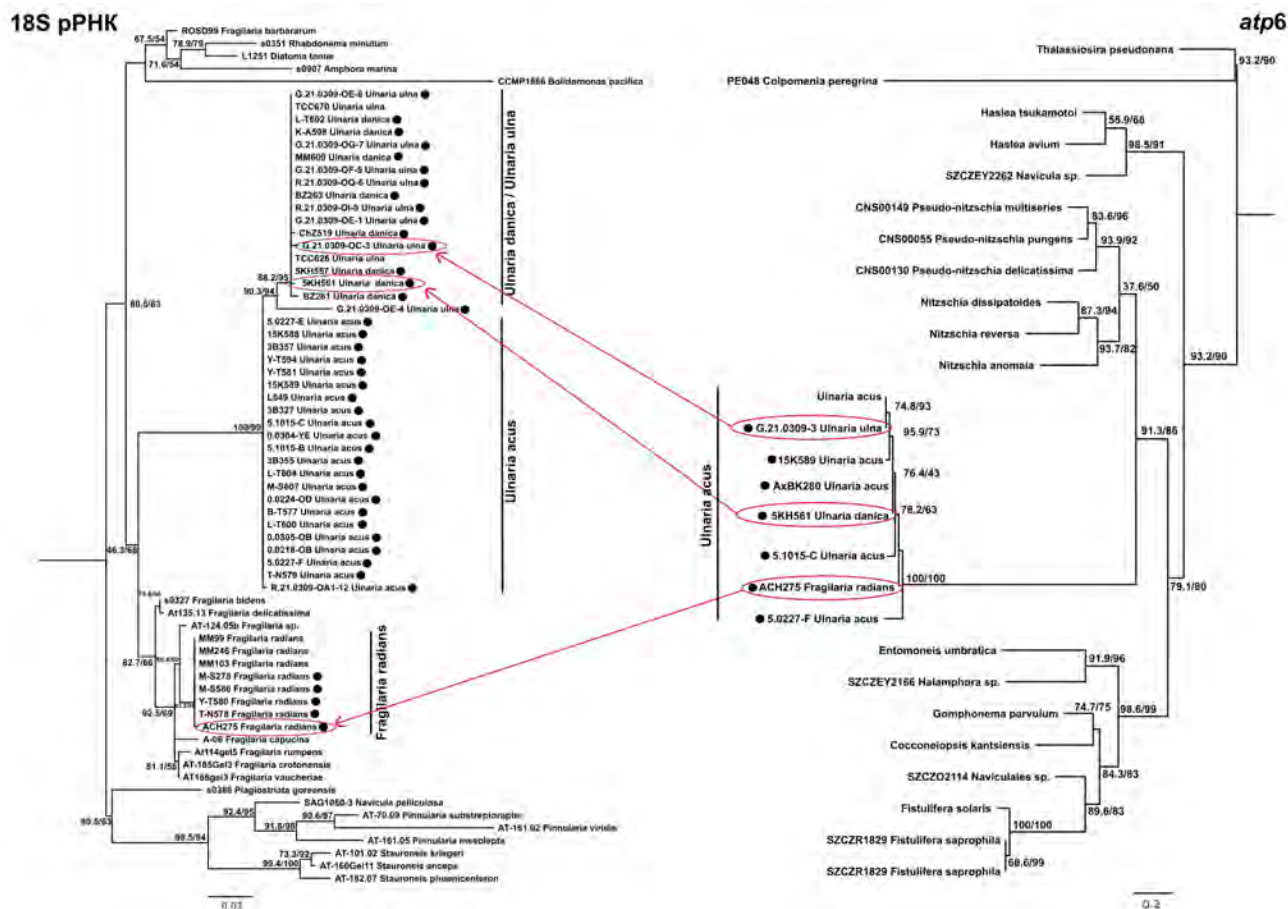


Рис. 1. Сопоставление филогенетических реконструкций фрагментов генов 18S рРНК и *atp6* представителей родов *Fragilaria* и *Ulnaria*. Точками отмечены последовательности, полученные в работе. Штаммы, для которых установлен горизонтальный перенос генов, отмечены красным цветом.

Fig. 1. Comparison of phylogenetic reconstructions of 18S rRNA and *atp6* gene fragments of representatives of the genera *Fragilaria* and *Ulnaria*. The dots mark the sequences obtained in the work. Strains for which horizontal gene transfer has been established are marked in red.

Исследование финансировалось Министерством науки и высшего образования Российской Федерации проект № 121032300191-3. Отбор и выделение штаммов из оз. Рица, оз. Голубого, оз. Матано, р. Эрдр и р. Сарта проводилось сотрудниками Карадагской научной станцией им. Т.И. Вяземского – природного заповедника РАН в рамках проекта № 124030100100-0.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов, требующего раскрытия в данной статье.

Список литературы

1. Подунай Ю.А. Половое воспроизведение, система скрещивания и биогеография представителей рода *Ulnaria* (Kutzing) Compère (Bacillariophyta): Автореф. дис. канд. биол. наук. – Севастополь, 2022. – 23 с.

2. Подунай Ю.А., Давидович О.И., Давидович Н.А. Репродуктивная совместимость европейских популяций у двух видов *Ulnaria* (Bacillariophyta) // Вестник Московского университета. Серия 16. Биология. 2021. Т. 76, № 2. С.76–82.

3. Zakharova Y., Marchenkov A., Petrova D., Bukin Y., Morozov A., Bedoshvili Y., Podunay Y., Davidovich O., Davidovich N., Bondar A., Kahlert M., Likhoshway Y. Delimitation of Some Taxa of *Ulnaria* and *Fragilaria* (Bacillariophyceae) Based on Genetic, Morphological Data and Mating Compatibility // Diversity. 2023. V. 15, № 271. P. 1–26. DOI: <https://doi.org/10.3390/d15020271>

Статья поступила в редакцию 18.06.2025; поступила после доработки 09.07.2025; принята к публикации 28.08.2025

Сведения об авторах

Налимова Мария Анатольевна – инженер, Лимнологический институт Сибирского отделения РАН, Россия, Иркутск (Limnological Institute, Siberian Branch, RAS, Russia, Irkutsk); nalimov.maria@yandex.ru; ORCID – <https://orcid.org/0009-0008-2458-6495>; SPIN-код 4486-7925.

Марченков Артём Михайлович – к.б.н., н.с., Лимнологический институт Сибирского отделения РАН, Россия, Иркутск (Limnological Institute, Siberian Branch, RAS, Russia, Irkutsk); marchenkov.am@bk.ru; ORCID – <https://orcid.org/0000-0002-4820-9394>; SPIN-код 6556-2682.

Захарова Юлия Робертовна – к.б.н., н.с., Лимнологический институт Сибирского отделения РАН, Россия, Иркутск (Limnological Institute, Siberian Branch, RAS, Russia, Irkutsk); julia.zakharova@gmail.com; ORCID – <https://orcid.org/0000-0003-2075-1269>.

Тетерина Вероника Игоревна – к.б.н., н.с., Лимнологический институт Сибирского отделения РАН, Россия, Иркутск (Limnological Institute, Siberian Branch, RAS, Russia, Irkutsk); veronika@lin.irk.ru; ORCID – <https://orcid.org/0000-0001-7101-6622>.

Давидович Николай Александрович – д.б.н., зав. лаб., Карадагская научная станция им. Т.И. Вяземского – природный заповедник РАН – филиал ФИЦ ИНБЮМ им. А.О. Ковалевского, Россия, Феодосия (Vyazemsky Karadag Scientific Station of Kovalevskii Institute of Biology of the Southern Seas, RAS, Russia, Feodosia); nickolaid@yandex.ru; ORCID – <https://orcid.org/0000-0002-3510-0453>; SPIN-код 3588-2870.

Давидович Ольга Ивановна – к.б.н., с.н.с., Карадагская научная станция им. Т.И. Вяземского – природный заповедник РАН – филиал ФИЦ ИНБЮМ им. А.О. Ковалевского, Россия, Феодосия (Vyazemsky Karadag Scientific Station of Kovalevskii Institute of Biology of the Southern Seas, RAS, Russia, Feodosia); olivdav@mail.ru; ORCID – <https://orcid.org/0000-0003-3024-0104>; SPIN-код 9137-1153.

Подунай Юлия Александровна – к.б.н., с.н.с., Карадагская научная станция им. Т.И. Вяземского – природный заповедник РАН – филиал ФИЦ ИНБЮМ им. А.О. Ковалевского, Россия, Феодосия (Vyazemsky Karadag Scientific Station of Kovalevskii Institute of Biology of the Southern Seas, RAS, Russia, Feodosia); grab-ua@yandex.ru; ORCID – <https://orcid.org/0000-0002-0519-2908>; SPIN-код 6730-1070.

Петрова Дарья Петровна – к.б.н., с.н.с., Лимнологический институт Сибирского отделения РАН, Россия, Иркутск (Limnological Institute, Siberian Branch, RAS, Russia, Irkutsk); daryapetr@gmail.com; ORCID – <https://orcid.org/0000-0002-5594-504X>; SPIN-код 1250-2715.

Корреспондентский адрес: Россия, 664033, Иркутск, ул. Улан-Баторская, д. 3, ЛИИ СО РАН, тел. (3952) 42-65-04.

Horizontal transfer of mitochondrial genes in pennate araphid diatoms

Maria A. Nalimova¹, Artyom M. Marchenkov¹, Yulia R. Zakharova¹,
Veronica I. Teterina¹, Nickolai A. Davidovich², Olga I. Davidovich²,
Yuliia A. Podunay², Daria P. Petrova¹

¹Limnological Institute, Siberian Branch, RAS (Russia, Irkutsk)

²Vyazemsky Karadag Scientific Station of Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas, RAS (Russia, Feodosia)

Diatoms demonstrate a high degree of differentiation, which allows them to quickly adapt to new environmental conditions. We analyzed genetic differentiation for monoclonal strains of the genus *Ulnaria* isolated from geographically distant water bodies. As a result of the *cox1* analysis, it was found that the species *Ulnaria acus*, *Ulnaria danica* and *Ulnaria ulna* are characterized by

population heterogeneity. It was found that the species *U. acus* has geographic isolation, as exemplified by the genotype from Lake Matano. For *U. danica* and *U. ulna* the geographical isolation of individual genotypes was not detected. In the course of our work, for the first time we were able to establish the fact of interspecific hybridization of diatoms by analyzing marker genes: nuclear (18S rRNA), chloroplast (*rbcL*) and mitochondrial (*cox1*, *atp6*).

Key words: Diatoms; 18S rRNA; *cox1*; *atp6*; *rbcL*; horizontal gene transfer; mitochondrial genes

References

1. Podunay Y.A. Sexual reproduction, the system of crossing and biogeography of representatives of the genus *Ulnaria* (Kutzing) Compere (Bacillariophyta): abstract of the dissertation of the cand: PhD Dissertation abstract. Sevastopol, 2022. 23 p. (In Russ.)
2. Podunay Y.A., Davidovich O.I., Davidovich N.A. Reproductive compatibility of European populations of two species of *Ulnaria* (Bacillariophyta). *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 16. Biologiya*. 2021. V. 76 (2). P. 76–82. (In Russ.).
3. Zakharova Y., Marchenkov A., Petrova D., Bukin Y., Morozov A., Bedoshvili Y., Podunay Y., Davidovich O., Davidovich N., Bondar A., Kahlert M., Likhoshway Y. Delimitation of Some Taxa of *Ulnaria* and *Fragilaria* (Bacillariophyceae) Based on Genetic, Morphological Data and Mating Compatibility. *Diversity*. 2023. V. 15, № 271. P. 1–26. DOI: <https://doi.org/10.3390/d15020271>

ССЫЛКА НА СТАТЬЮ:

Налимова М.А., Марченков А.М., Захарова Ю.Р., Тетерина В.И., Давидович Н.А., Давидович О.И., Подунай Ю.А., Петрова Д.П. Горизонтальный перенос митохондриальных генов у пеннатных бесшовных диатомей // Вопросы современной альгологии. 2025. № 1 (37). P. 79–83. URL: <http://algology.ru/2135>

Nalimova M.A., Marchenkov A.M., Zakharova Yu.R., Teterina V.I., Davidovich N.A., Davidovich O.I., Podunay Yu.A., Petrova D.P. Horizontal transfer of mitochondrial genes in pennate araphid diatoms. *Voprosy sovremennoi algologii (Issues of modern algology)*. 2025. № 1 (37). P. 79–83. URL: <http://algology.ru/2135>

DOI – [https://doi.org/10.33624/2311-0147-2025-1\(37\)-79-83](https://doi.org/10.33624/2311-0147-2025-1(37)-79-83); EDN – DDINPJ

Секция 3.

Флористика, биогеография

Материалы к флоре диатомовых водорослей реки Подкумок (Ставропольский край)

Materials to the flora of diatom algae of Podkumok river (Stavropol Region)

Бобрышева М.С., Кухарук М.Ю.

Marina S. Bobrysheva, Maksim J. Kukharuk

*Северо-Кавказский федеральный университет – ФГАОУ ВО «СКФУ»
(Ставрополь, Россия)*

Проведено исследование образцов планктонных и бентосных диатомовых водорослей, собранных в октябре 2024 года с реки Подкумок (Ставропольский край), выделено и обработано 4 чистые культуры, выполнено их генотипирование.

Ключевые слова: диатомовые водоросли; река Подкумок; Ставропольский край

Диатомовые водоросли – уникальная, разнообразная группа водной и почвенной альгофлоры. Они – элемент большей части фитопланктонной биомассы, составляют около четверти всех продуцентов. Диатомеи Кавказа малоизучены и нуждаются в подробном генетическом и морфологическом анализе. Исследования проводили в 2024–2025 гг. (рис. 1).



Рис. 1. Места сбора проб, река Подкумок.

Fig. 1. Sample collection sites, Podkumok River.

Река Подкумок расположена в Карачаево-Черкесии и Ставропольском крае, является крупнейшим правым притоком Кумы. Длина реки – 160 км. Площадь бассейна – 2220 км². Берёт начало с горы Гум-Баши в Карачаево-Черкесии, характер течения соответственно горный (Волосухин, 2006). На Подкумке расположено несколько крупных населённых пунктов: города Кисловодск, Ессентуки, Пятигорск и Георгиевск, посёлки городского типа Горячеводский и Свободы, станицы Ессентукская, Константиновская, Лысогорская, Незлобная, сёла Учккен, Терезе и Краснокумское, посёлок Подкумок. Флора реки Подкумок очень разнообразна, также в ней встречаются и представители видов диатомовых водорослей.

Из десяти образцов планктона, перифитона и бентоса, собранных стандартными методами было выделено 80 культур диатомовых водорослей. Для дальнейшей работы были отобраны 4 чистых культур бентосных диатомей видов *Cyclotella meneghiniana*, *Nitzschia umbonata*, *Stenophora publichella* и *Navicula pseulanceolata* (рис. 2).

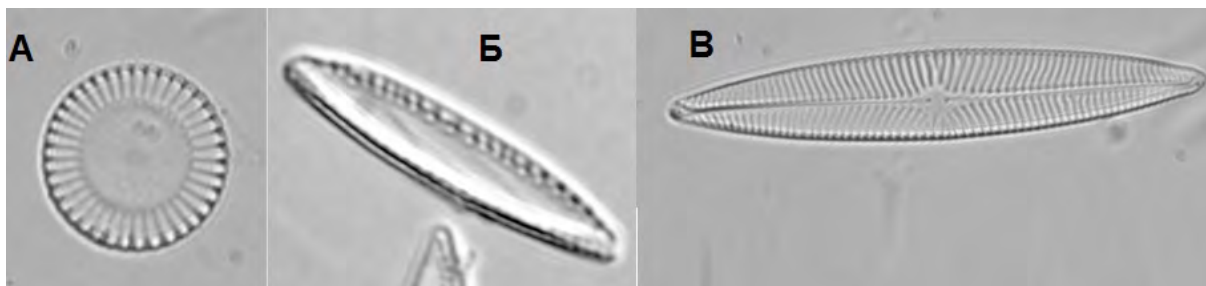


Рис. 2. Диатомовые водоросли видов: А – *Cyclotella meneghiniana*; Б – *Nitzschia umbonata*; В – *Navicula pseulanceolata*.

Fig. 2. Diatoms of species: А – *Cyclotella meneghiniana*; Б – *Nitzschia umbonata*; В – *Navicula pseulanceolata*.

Выделение ДНК проводили набором «МагноПрайм ГМО» с использованием магнитного штатива; постановка ПЦР с праймерами ITS v4: 18S_D512_F и 18S_D978_R; rbcL: rbcL404_F и rbcL1255_R и электрофореза на агарозном геле; очистка ДНК стандартным набором реакционных смесей «ColGen»; секвенирование материала набором «GenSeq» на генетическом анализаторе «НАНОФОР 05», чтение сиквенса в программах Ridom TraceEdit и Chromas, выравнивание (рис. 3) и сравнение сиквенса с последовательностями из базы данных National Center for Biotechnology Information; очистка панцирей в перекиси водорода и изготовление постоянных препаратов в смоле Эляшева (Куликовский, 2016).

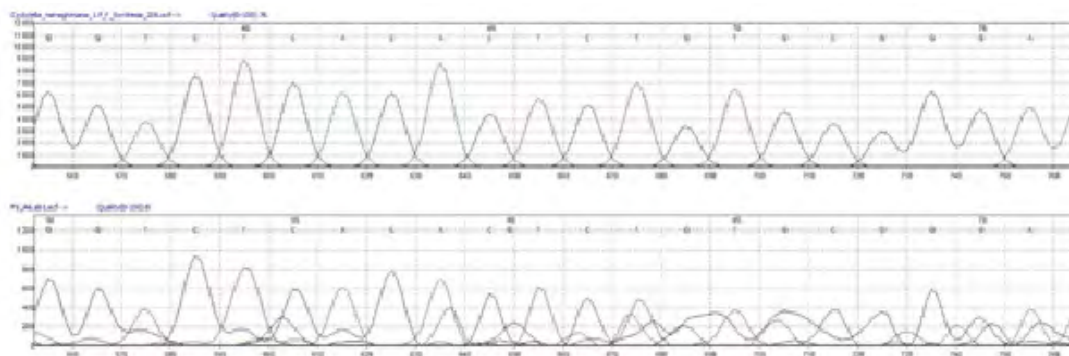


Рис. 3. Выравнивание сиквенса образца, обнаружение мутаций.

Fig. 3. Sample sequence alignment, mutation detection.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов, требующего раскрытия в данной статье.

Список литературы

1. Волосухин Я.В. Современное использование водных ресурсов в бассейне реки Подкумок // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Серия: Технические науки. 2006. №3.
2. Куликовский М.С., Глуценко А.М., Генкал С.И., Кузнецова И.В. Определитель диатомовых водорослей России. – Ярославль: Общество с ограниченной ответственностью "Филигрань", 2016. – 804 с. – ISBN 978-5-906682-72-7.
3. Kezlya E., Tseplik N., Kulikovskiy M. Genetic Markers for Metabarcoding of Freshwater Microalgae: Review // *Biology*. 2023. V.12, №7. ID 1038. DOI: <https://doi.org/10.3390/biology12071038>
4. Rimet F., Gusev E., Kahlert M., Kelly M., Kulikovskiy M., Maltsev Y., Mann D., Pfannkuchen M., Trobajo R., Vasselon V., Zimmermann J., Bouchez A. Diat. barcode, an open-access curated barcode library for diatoms // *Sci. Rep.* 2019. V.9. ID 15116.

Статья поступила в редакцию 18.06.2025; поступила после доработки 29.07.2025; принята к публикации 28.08.2025

Сведения об авторах

Бобрышева Марина Сергеевна – Северо-Кавказский федеральный университет, Россия, Ставрополь (North-Caucasus Federal University, Russia, Stavropol); kuth87@mail.ru.

Кухарук Максим Юрьевич – к.б.н., зав. каф. ботаники, физиологии и биохимии растений, Северо-Кавказский федеральный университет, Россия, Ставрополь (North-Caucasus Federal University, Russia, Stavropol); kuth87@mail.ru; ORCID – <https://orcid.org/0000-0003-4093-5807>; SPIN-код 4343-9170.

Корреспондентский адрес: Россия, 355017, Ставрополь, ул. Пушкина, 1, СКФУ, тел. (8652) 33-06-60, доб. 51-05.

Materials to the flora of diatom algae of Podkumok river (Stavropol Region)

Marina S. Bobrysheva, Maksim J. Kukharuk

North-Caucasus Federal University (Russia, Stavropol)

A study was conducted on samples of planktonic and benthic diatoms collected in October 2024 from the Podkumok River (Stavropol Territory) was conducted, 4 pure crops were isolated and processed, and their genotyping was performed

Key words: Diatoms; sediments; Podkumok River; Stavropol region

References

1. Kezlya E., Tseplik N., Kulikovskiy M. Genetic Markers for Metabarcoding of Freshwater Microalgae: Review. *Biology*. 2023. V.12, №7. ID 1038. DOI: <https://doi.org/10.3390/biology12071038>
2. Kulikovskiy M.S., Glushchenko A.M., Genkal S.I., Kuznetsova I.V. Determinant of Russian diatoms. Filigree Limited Liability Company, Yaroslavl, 2016. 804 p. (In Russ.)
3. Rimet F., Gusev E., Kahlert M., Kelly M., Kulikovskiy M., Maltsev Y., Mann D., Pfannkuchen M., Trobajo R., Vasselon V., Zimmermann J., Bouchez A. Diat. barcode, an open-access curated barcode library for diatoms. *Sci. Rep.* 2019. V.9. ID 15116.
4. Volosukhin Ya.V. Modern use of water resources in the Podkumok river basin. *Izvestiya vuzov. The North Caucasus region. Series: Technical Sciences*. 2006. №3. (In Russ.)

ССЫЛКА НА СТАТЬЮ:

Бобрышева М.С., Кухарук М.Ю. Материалы к флоре диатомовых водорослей реки Подкумок (Ставропольский край) // Вопросы современной альгологии. 2025. № 1 (37). P. 84–86. URL: <http://algology.ru/2141>

Bobrysheva M.S., Kukharuk M.J. Materials to the flora of diatom algae of Podkumok river (Stavropol Region). *Voprosy sovremennoi algologii (Issues of modern algology)*. 2025. № 1 (37). P. 84–86. URL: <http://algology.ru/2141>

DOI – [https://doi.org/10.33624/2311-0147-2025-1\(37\)-84-86](https://doi.org/10.33624/2311-0147-2025-1(37)-84-86); EDN – RHOKKH

Новые таксоны диатомовых водорослей из Карабогазгольского залива Каспийского моря

The new taxa of diatom algae from the Kara-Bogaz-Gol Bay (Caspian Sea)

Булатов С.А.

Stanislav A. Bulatov

Консорциум «Международный альянс комплексных исследований морских и
супергалинных экосистем» (Клин, Россия)

В результате проведенных исследований выявлено 7 новых и интересных видовых и внутривидовых таксонов диатомовых водорослей для залива Кара-Бога-Гол и Карабогазгольского пролива, относящихся к 6 родам, 6 семействам, 5 порядкам и 2 классам. Дается их описание, приводится сравнение с ранее известными диагнозами, а также указывается их галотолерантность. Установлено, что от общеизвестных диагнозов вид *Nitzschia bulnheimiana* из залива отличался более широкими створками, *Halamphora acutiuscula* – меньшей длиной створки. Четыре таксона указываются впервые для Каспийского моря.

Ключевые слова: диатомеи; соленость; морфометрия; залив Кара-Богаз-Гол; Каспийское море

Выявлено 7 новых и интересных видовых и внутривидовых таксонов диатомовых водорослей для залива Кара-Бога-Гол и пролива, соединяющего его с Каспийским морем (Карабогазгольский пролив), относящихся к 6 родам, 6 семействам, 5 порядкам и 2 классам. Ниже дается их описание, приводится сравнение с ранее известными диагнозами, а также указывается их галотолерантность. 4 таксона указываются впервые для Каспийского моря. Названия таксонов приведены в соответствии с международной альгологической базой данных (Guiry, Guiry, 2025).

1. *Nitzschia bulnheimiana* (Rabenhorst) Smith. Створки длиной 31,2–35,7 мкм, шириной – 6,1–6,4 мкм. Штрихов 18–19 в 10 мкм, фибул 7–8 в 10 мкм. Встречен в заливе Кара-Богаз-Гол в районе косы Карасукут при солености 240 г/л. От общеизвестных диагнозов *N. bulnheimiana* из Кара-Богаз-Гола отличалась более широкими створками (Krammer, Lange-Bertalot, 1988; Hofmann et al., 2011). Приводится впервые для Каспийского моря.

2. *Rhopalodia gibberula* (Ehrenberg) Müller. Створки длиной 41,7 мкм, шириной – 14,6 мкм. Ребер – 3 в 10 мкм. Створки *R. gibberula* из залива не отличаются от створок из Каспийского моря (Караева, 1972). Встречен при солености 44 г/л в районе зоны смешения вод залива Кара-Богаз-Гол.

3. *Halamphora acutiuscula* (Kützinger) Levkov. Створки длиной 26,5 мкм, шириной – 5,5 мкм. Штрихов на дорсальной части створки 18–19 в 10 мкм, на вентральной части

створки штрихи слабо различимы. От общеизвестных диагнозов отличается немного меньшей длиной створки (Levkov, 2009) Встречен при солености 50 г/л в районе зоны смешения вод залива Кара-Богаз-Гол. Приводится впервые для Каспийского моря.

4. *Coscinodiscus perforatus* Ehrenberg. Створки в диаметре 104,1–120,0 мкм, 3–4 ареолы в 10 мкм. Вид встречен при солености 50–120 г/л в районе зоны смешения вод залива Кара-Богаз-Гол.

5. *Navicula densilineolata* (Lange-Bertalot) Lange-Bertalot. Створки длиной 46,5 мкм, шириной – 6,0 мкм. Штрихов 11 в 10 мкм. Встречен при солености 14 г/л в Карабогазгольском проливе. Приводится впервые для Каспийского моря.

6. *Navicula ramosissima* f. *caspia* (Grunow) Cleve. Створки длиной 35,0 мкм, шириной – 5,7 мкм. Штрихов в центре створки 12 в 10 мкм, ближе к концам – 14 в 10 мкм. Встречен при солености 14 г/л в Карабогазгольском проливе.

7. *Staurosira leptostauron* (Ehrenberg) Kulikovskiy & Genkal. Створки длиной 24,5 мкм, шириной: в центре – 15 мкм, ближе к концам – 4,2 мкм. Встречен при солености 73,2 г/л в районе зоны смешения вод залива Кара-Богаз-Гол. Приводится впервые для Каспийского моря. Ранее данный таксон уже приводился нами в предыдущей работе (Булатов, 2022), без указания данных о размерах створок.

Проведенные исследования позволили расширить перечень диатомовых водорослей залива Кара-Богаз-Гол и Каспийского моря, а также наметить перспективу для дальнейших исследований таксономического разнообразия диатомей каспийского залива Кара-Богаз-Гол.

Работа выполнена за счет собственных средств Консорциума «Международный альянс комплексных исследований морских и гипергалинных экосистем».

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

Список литературы

1. Булатов С.А. Состав и структура альгофлоры залива Кара-Богаз-Гол (Каспийское море) // Вопросы современной альгологии. 2022. № 1(28). С. 59–73. DOI: [https://doi.org/10.33624/2311-0147-2022-1\(28\)-59-73](https://doi.org/10.33624/2311-0147-2022-1(28)-59-73).
2. Караева Н.И. Диатомовые водоросли бентоса Каспийского моря. – Баку: Элм, 1972. – 258 с.
3. Guiry M.D., Guiry G.M. AlgaeBase. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway. 2025. <http://www.algaebase.org> (дата обращения: 31.05.2025).
4. Hofmann G., Werum M., Lange-Bertalot H. Diatomeen im Süßwasser-Benthos von Mitteleuropa. – Konigstein: A.R.G. Gantner Verlag K.G., 2011. – 908 p.
5. Krammer K., Lange-Bertalot H. Bacillariophytae. Teil 2. Bacillariaceae, Epithemiaceae, Surirellaceae. Die Süsswasserflora von Mitteleuropa. Bd. 2/2. – Jena: Gustav Fischer Verlag., 1988. – 596 p.
6. Levkov Z. Diatoms of Europe. Diatoms of the European Inland Waters and Comparable Habitats. Vol. 5. *Amphora* sensu lato. – Ruggell: A.R.A. Gantner Verlag., 2009. – 916 p.

Статья поступила в редакцию 18.06.2025; поступила после доработки 01.08.2025; принята к публикации 28.08.2025

Сведения об авторах

Булатов Станислав Александрович – Президент Консорциума, Консорциум «Международный альянс комплексных исследований морских и гипергалинных экосистем», Россия, Клин (International Alliance for Integrated Research of Marine and Hypersaline Ecosystems Consortium, Russia, Klin); mimge_rus@mail.ru; ORCID – <https://orcid.org/0000-0001-9257-4754>; SPIN-код 7836-2753.

Корреспондентский адрес: Россия, 141603, Московская область, г. Клин, пос. Майданово, 18–19; телефон (926) 383-10-44.

The new taxa of diatom algae from the Kara-Bogaz-Gol Bay (Caspian Sea)

Stanislav A. Bulatov

*International Alliance for Integrated Research of Marine and Hypersaline Ecosystems Consortium
(Russia, Klin)*

As a result of the research 7 new and interesting species and varieties of diatoms for the Kara-Boga-Gol Bay and the Karabogazgol Strait were identified, belonging to 6 genera, 6 families, 5 orders and 2 classes. Their description is given, a comparison with previously known diagnoses is given, and their salt tolerance are also indicated. Four taxa are indicated for the first time for the Caspian Sea.

Key words: Diatoms; salinity; morphometry; Kara-Bogaz-Gol Bay; Caspian Sea

References

1. Bulatov S.A. Composition and structure of algal flora of the Kara-Bogaz-Gol Bay (Caspian Sea). *Voprosy sovremennoi algologii [Issues of modern algology]*. 2022. №1 (28). P. 59–73. URL: <http://www.algology.ru/1798>. DOI: [https://doi.org/10.33624/2311-0147-2022-1\(28\)-59-73](https://doi.org/10.33624/2311-0147-2022-1(28)-59-73) (In Russ.)
2. Hofmann G., Werum M., Lange-Bertalot H. Diatomeen im Süßwasser-Benthos von Mitteleuropa. A.R.G. Gantner Verlag K.G., Königstein, 2011. 908 p.
3. Guiry M.D., Guiry G.M. AlgaeBase. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway. 2025. <http://www.algaebase.org> (date: 31.05.2025).
4. Karaeva N.I. Diatoms of benthos of the Caspian Sea. Elm, Baku, 1972. 258 p. (In Russ.)
5. Krammer K., Lange-Bertalot H. Bacillariophytae. Teil 2. *Bacillariaceae, Epithemiaceae, Surirellaceae*. Die Süßwasserflora von Mitteleuropa. Bd. 2/2. Gustav Fischer Verlag, Jena, 1988. 596 p.
6. Levkov Z. Diatoms of Europe. Diatoms of the European Inland Waters and Comparable Habitats. V.5. *Amphora sensu lato*. A.R.A. Gantner Verlag, Ruggell, 2009. 916 p.

ССЫЛКА НА СТАТЬЮ:

Булатов С.А. Новые таксоны диатомовых водорослей из Карабогазгольского залива Каспийского моря // Вопросы современной альгологии. 2025. № 1 (37). P. 87–89. URL: <http://algology.ru/2142>

Bulatov S.A. The new taxa of diatom algae from the Kara-Bogaz-Gol Bay (Caspian Sea). *Voprosy sovremennoi algologii (Issues of modern algology)*. 2025. № 1 (37). P. 87–89. URL: <http://algology.ru/2142>

DOI – [https://doi.org/10.33624/2311-0147-2025-1\(37\)-87-89](https://doi.org/10.33624/2311-0147-2025-1(37)-87-89); EDN – JCRNOW

Разнообразие диатомовых водорослей в водоемах Свердловской области

Diversity of diatoms in the water bodies of the Sverdlovsk region

Еремкина Т.В., Корбут Д.Е.

Tatiana V. Eremkina, Darja E. Korbut

*Уральский филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт
рыбного хозяйства и океанографии» – «УралНИРО» (Екатеринбург, Россия)*

В работе впервые представлены обобщенные с учетом современных номенклатурных изменений литературные, фондовые (1933–2024 гг.) и собственные (2001–2024 гг.) данные о разнообразии диатомовых водорослей 130 разнотипных водных объектов Свердловской области. Общий список выявленных к настоящему времени таксонов включает 462 таксономические единицы диатомовых водорослей, принадлежащие 4 классам, 21 порядку, 34 семействам, 95 родам. По типу местообитания преобладают бентосные формы, по отношению к солености – индифференты, по ацидификации – алкалифилы, по географической приуроченности – космополиты.

Ключевые слова: диатомовые водоросли; водоемы; таксономическое разнообразие; Свердловская область

Территория Свердловской области расположена между 56°03' и 61°57' с. ш., 57°14' и 66°11' в. д. на стыке трех крупных физико-географических стран: Уральской равнинно-горной, Восточно-Европейской равнинной и Западно-Сибирской равнинной. Удаленность от океанов обуславливает континентальность климата. Большая часть речной сети относится к бассейну Карского моря и входит в Обь-Иртышскую систему (Водные ресурсы..., 2004), меньшая часть (рр. Уфа, Чусовая, Сытва) – притоки Камы. По сравнению с другими регионами РФ Свердловская область характеризуется одним из самых высоких уровней загрязненности вод и вторым в стране по объемам промышленным производством. На ее территории насчитывается более 18000 рек, около 2500 озер и 134 водохранилища. Литературные данные о диатомовой флоре водоемов региона отрывочны (Генкал, Ярушина, 2002; Еремкина, 2013, 2017; Генкал и др., 2022; Еремкина, Генкал, 2022; Генкал, Еремкина, 2023а, б).

Цель настоящей работы – обобщение литературных, фондовых (1933–2024 гг.) и собственных (2001–2024 гг.) данных о разнообразии диатомовых водорослей 130 разнотипных водных объектов (22 озер, 46 рек и ручьев, 21 водохранилища, 12 прудов, 30 городских и техногенных водоемов) Свердловской области.

Интегральные пробы фитопланктона, отобранные на глубину фотического слоя, фиксировали 40%-ным раствором формалина и обрабатывали по общепринятым

методикам с использованием светового микроскопа «Микмед-6» и сканирующего электронного микроскопа JSM-6510 LV (Методика ..., 1975). За основу классификации при инвентаризации видового состава принята система, используемая в альгологической базе данных Algaebase (Guiry, Guiry, 2025). Для эколого-географической характеристики водорослей использовали данные Бариновой С.С. с соавт. (Баринова и др., 2006).

Сводный список диатомовых водорослей водоемов Свердловской области с учетом современных номенклатурных преобразований насчитывает 462 таксономические единицы (432 вида, разновидности и формы), принадлежащие 4 классам, 21 порядку, 34 семействам, 95 родам. По разнообразию диатомовые водоросли занимают первое место в общем таксономическом списке, их доля от общего состава альгофлоры водоемов региона достигает 35,98%, что сопоставимо с данными по альгофлоре Челябинской области (Ярушина и др., 2004). Пропорции диатомовой флоры водоемов Свердловской области составили 1,0Fm:2,8 Gn/Fm:11,6Sp/Fm:12,7Spp/Fm, родовая насыщенность – 1,0 : 4,5. Наиболее разнообразны диатомеи водохранилищ (408 таксонов) и водотоков (172), в техногенных и малых городских водоемах выявлено 110 таксонов, в прудах – 76, в озерах – 72.

В сводном списке преобладают представители класса *Bacillariophyceae* (89,18% от общего состава). Представители порядков *Naviculales* (27,3%), *Cymbellales* (13,8%), *Bacillariales* (10,6%), *Achnanthales* (9,3%) формируют 61,0% от общего видового состава диатомовых водорослей. Ведущими семействами являются *Bacillariaceae* (49 таксонов), *Naviculaceae* (44), *Achnanthidiaceae* (34), *Gomphonemataceae* (30), *Pinnulariaceae* (27), *Surirellaceae* (26), *Cymbellaceae* (25), *Fragilariaceae* (21), *Stephanodiscaceae* (21), *Eunotiaceae* (20), объединяющие 64,3% от общего разнообразия. Выраженный бореальный характер альгофлоры подтверждается преобладанием семейств (52,9%) и родов (72,6%) с маловидовым (1-5 таксонов) представительством. Спектр ведущих родов составили: *Nitzschia* (35 таксонов), *Navicula* (28), *Pinnularia* (27), *Gomphonema* (22), *Eunotia* (20), *Sellaphora* (16), *Surirella* (14), *Aulacoseira* (13), *Planothidium* (13), *Fragilaria* (12), объединив 43,3 % таксономического разнообразия диатомовых водорослей. В водных объектах области наиболее распространены следующие виды: *Achnanthidium minutissimum* (Kützinger) Czarnecki 1994 (встречаемость 33,8%), *Diatoma vulgare* Bory 1824 (32,3%), *Ulnaria ulna* (Nitzsch) Compère 2001 (30,8%), *Epithemia gibba* (Ehrenberg) Kützinger 1844 (29,2%), *Fragilaria crotonensis* Kitton 1869 (25,4%), *Navicula radiosa* Kützinger 1844 (24,6%), *Stephanodiscus hantzschii* Grunov 1880 (23,1%), *Nitzschia acicularis* (Kützinger) W.Smith 1853 (23,1%), *Aulacoseira granulata* (Ehrenberg) Simonsen 1979 (23,1 %), *Gomphonema parvulum* (Kützinger) Kützinger 1849 (22,3%), *Gomphonema truncatum* Ehrenberg 1832 (22,3%). Доля видов, выявленных в каком-либо одном водном объекте, составила 46,3% от общего разнообразия (214 таксонов).

В результате эколого-географического анализа установлено, что по географическому распределению преобладают космополиты (75,3%), 15,2% – бореальные виды, 9,5% – альпийские, аркто-альпийские и голарктические виды. По приуроченности к местообитанию преобладают бентосные (69,0%) и планктонно-бентосные организмы (20,3%), планктонных форм – 9,8%, эпифиты единичны. По отношению к реофильности большинство видов (60,2%) индифферентны, обитателей стоячих вод 35,8%, текущих – 4,0%. По отношению к солёности воды большинство – индифферентны (72,6%), галофилы – 11,5%, галофобы – 7,7%, мезогалофы – 5,8%, олигогалофы – 2,4%. По отношению к активной реакции среды преобладают алкалофилы (52,6%), доля индифферентов – 31,3%, ацидофилов – 10,3%, алкалобионтов – 5,8%. При сапробиологическом анализе выявлено 279 видов-индикаторов сапробиальности, из которых обитатели чистых вод (χ -, χ -о, χ - β , о- χ , о-

сапробионты) составили 48,7%, умеренно загрязненных и загрязненных вод – 51,2 % (о-β, β-о, о-α-, β-, β-α, α-β, α-сапробионты).

Полученные данные свидетельствуют о высоком разнообразии диатомовых водорослей в водных объектах Свердловской области и позволяют выявить индивидуальные черты региональной диатомовой флоры.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов, требующего раскрытия в данной статье.

Список литературы

1. Баринаева С.С., Медведева О.В., Анисимова О.В. Биоразнообразие водорослей-индикаторов окружающей среды. – Тель-Авив: Pilies Studio, 2006. – 498 с.
2. Водные ресурсы Свердловской области / Под науч. ред. Н. Б. Прохоровой; ФГУП РосНИИВХ. – Екатеринбург: Издательство АМБ, 2004. – 432 с.
3. Генкал С.И., Еремкина Т.В. Диатомовые водоросли разнотипных водохранилищ Свердловской области (Средний Урал) // Биология внутренних вод. 2023b. №3. С. 291–300. DOI: 10.31857/S0320965223030087
4. Генкал С.И., Еремкина Т.В. *Brevilinea kevei* (Bacillariophyta) – новый род и вид для флоры России // Биология внутренних вод. 2023a. № 2. С. 131–133. DOI: 10.31857/S0320965223020067
5. Генкал С.И., Еремкина Т.В., Гололобова М.А. *Sellaphora archibaldii* (Bacillariophyta) – новый вид для флоры России // Новости систематики низших растений. 2022. 56(2). Р. 245–253. DOI: <https://doi.org/10.31111/nsnr/2022.56.2.245>
6. Генкал С.И., Ярушина М.И. Материалы к флоре диатомовых водорослей (Centrophyceae) водоемов Среднего Урала // Биология внутренних вод. 2002. № 2. С. 27–32.
7. Еремкина Т.В. К распространению *Acanthoceras zachariasii* (Brun.) Simonsen в водоемах Среднего и Южного Урала // Материалы XIII Международной научной конференции альгологов «Диатомовые водоросли: современное состояние и перспективы исследований» (пос. Борок, 24–29 августа 2013 г.) – Кострома, 2013. – С. 43–44.
8. Еремкина Т.В. Диатомовые водоросли р. Тагил (Свердловская область) // Диатомовые водоросли: современное состояние и перспективы исследования: Материалы XV Международной конференции (пос. Борок, 24–27 августа 2017 г.). – Ярославль, 2017. – С. 25–26.
9. Еремкина Т.В., Генкал С.И. Диатомовые водоросли Белоярского, Нижнетагильского и Черноисточинского водохранилищ (Свердловская область, Средний Урал) // Вопросы современной альгологии. 2022. № 1 (28). С. 74–80. DOI: [https://doi.org/10.33624/2311-0147-2022-1\(28\)-74-80](https://doi.org/10.33624/2311-0147-2022-1(28)-74-80)
10. Методика изучения биогеоценозов внутренних водоемов. – М.: Наука, 1975. – С. 138–170.
11. Ярушина М.И., Танаева Г.В., Еремкина Т.В. Флора водорослей водоемов Челябинской области. – Екатеринбург: УрО РАН, 2004. – 308 с.
12. Guiry M.D., Guiry G.M. AlgaeBase. World-wide electronic publication, University of Galway. 2025. <http://www.algaebase.org> (дата обращения 07.04.2025).

Статья поступила в редакцию 18.06.2025; поступила после доработки 08.08.2025; принята к публикации 28.08.2025

Сведения об авторах

Еремкина Татьяна Владимировна – к.б.н., с.н.с., Уральский филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии» – «УралНИРО», Россия, Екатеринбург (Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography, Ural Branch, Russia, Ekaterinburg); eremkina@ural.vniro.ru; ORCID – <https://orcid.org/0000-0002-7133-0520>; SPIN-код 1784-6665.

Корбут Дарья Евгеньевна – специалист, Уральский филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии» – «УралНИРО», Россия, Екатеринбург (Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography, Ural Branch, Russia, Ekaterinburg); korbut@ural.vniro.ru; SPIN-код 8911-4623.

Корреспондентский адрес: Россия, 620014, Екатеринбург, ул. 8 Марта, д. 5, Уральский филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» («УралНИРО»), тел. (343) 212-44-16.

Diversity of diatoms in the water bodies of the Sverdlovsk region

Tatiana V. Eremkina, Darja E. Korbud

Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography, Ural Branch (Russia, Ekaterinburg)

This paper summarizes the literature, stock and own data on the diversity of diatoms in the water bodies of the Sverdlovsk region. The general taxonomic list includes 462 taxonomic units of diatoms belonging to 4 class, 21 orders, 34 families and 95 genera. According to the type of habitat, benthic forms predominate, indifferent – in relation to salinity, by acidification – alkaliphiles, by geographical distribution – cosmopolitans.

Key words: Diatoms; water bodies; taxonomic diversity; Sverdlovsk region

References

1. Barinova S.S., Medvedeva O.V., Anisimova O.V. Bioraznoobrazie vodoroslej-indikatorov okruzhayushhej sredy. Pilies Studio, Tel'-Aviv, 2006. 498 p. (In Russ.)
2. Eremkina T.V. Diatomovye vodorosli r. Tagil (Sverdlovskaya oblast'). Diatomovye vodorosli: sovremennoe sostoyanie i perspektivy issledovaniya: Materialy XV Mezhdunarodnoj konferencii (Borok, 24–27 avg. 2017). Yaroslavl', 2017. P. 25–26. (In Russ.)
3. Eremkina T.V. K rasprostraneniyu Acanthoceras zachariasii (Brun.) Simonsen v vodoemah Srednego i YUzhnogo Urala. Materialy XIII Mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii al'gologov «Diatomovye vodorosli: sovremennoe sostoyanie i perspektivy issledovaniy» (Borok, 24–29 avg. 2013). Kostroma, 2013. P. 43–44. (In Russ.)
4. Eremkina T.V., Genkal S.I. Diatom algae of the Beloyarskoe, Nizhnetagil'skoe and Chernostochinskoe reservoirs (Sverdlovsk region, Middle Ural). *Voprosy sovremennoi algologii (Issues of modern algology)*. 2022. № 1 (28). P. 74–80. URL: <http://algology.ru/1810>. DOI: [https://doi.org/10.33624/2311-0147-2022-1\(28\)-74-80](https://doi.org/10.33624/2311-0147-2022-1(28)-74-80) (In Russ.)
5. Genkal S.I., Eremkina T.V. *Brevilinea kevei* (Bacillariophyta) – novyy rod i vid dlya flory Rossii. *Biologiya vnutrennih vod*. 2023a. № 2. P. 131–133. DOI: 10.31857/S0320965223020067 (In Russ.)
6. Genkal S.I., Eremkina T.V. Diatomovye vodorosli raznotipnykh vodohranilishch Sverdlovskoy oblasti (Srednij Ural). *Biologiya vnutrennih vod*. 2023b. № 3. P. 291–300. DOI: 10.31857/S0320965223030087 (In Russ.)
7. Genkal S.I., Eremkina T.V., Gololobova M.A. *Sellaphora archibaldii* (Bacillariophyta) – novyy vid dlya flory Rossii. *Novosti sistematiki nizshih rastenij*. 2022. 56(2). P. 245–253. DOI: <https://doi.org/10.31111/nsnr/2022.56.2.245> (In Russ.)
8. Genkal S.I., Yarushina M.I. Materialy k flore diatomovykh vodoroslej (Centrophyceae) vodoemov Srednego Urala. *Biologiya vnutrennih vod*. 2002. № 2. P. 27–32. (In Russ.)
9. Guiry M.D., Guiry G.M. *AlgaeBase*. World-wide electronic publication, University of Galway. 2025. <http://www.algaebase.org> (date: 07.04.2025)
10. Metodika izucheniya biogeocenozy vnutrennix vodoemov. Nauka, Moscow, 1975. P. 138–170. (In Russ.)
11. Vodnye resursy Sverdlovskoy oblasti. N.B. Prohorova (Ed.). Izdatel'stvo AMB, Ekaterinburg, 2004. 432 p. (In Russ.)
12. Yarushina M.I., Tanaeva G.V., Eremkina T.V. Flora vodoroslej vodoemov Chelyabinskoy oblasti. UrO RAN, Ekaterinburg, 2004. 308 p. (In Russ.)

ССЫЛКА НА СТАТЬЮ:

Еремкина Т.В., Корбут Д.Е. Разнообразие диатомовых водорослей в водоемах Свердловской области // Вопросы современной альгологии. 2025. № 1 (37). P. 90–93. URL: <http://algology.ru/2143>

Eremkina T.V., Korbud D.E. Diversity of diatoms in the water bodies of the Sverdlovsk region. *Voprosy sovremennoi algologii (Issues of modern algology)*. 2025. № 1 (37). P. 90–93. URL: <http://algology.ru/2143>

DOI – [https://doi.org/10.33624/2311-0147-2025-1\(37\)-90-93](https://doi.org/10.33624/2311-0147-2025-1(37)-90-93); EDN – IICJWJ

Комплексная характеристика нового штамма *Navicula salinicola* Hustedt из гипергалинного озера Джарылгач

Comprehensive characteristics of the new strain *Navicula salinicola* Hustedt from the hypersaline lake Dzharylgach

Игнатенко М.Е.¹, Черногорец О.А.¹, Тынников О.А.¹, Чивкунова О.Б.²,
Соловченко А.Е.², Лобакова Е.С.², Селиванова Е.А.¹

Marina E. Ignatenko, Olga A. Chernogorec, Oleg A. Tynnikov,
Olga B. Chivkunova, Alexei E. Solovchenko, Elena S. Lobakova,
Elena A. Selivanova

¹Институт клеточного и внутриклеточного симбиоза УрО РАН (Оренбург, Россия)

²Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,
биологический факультет (Москва, Россия)

С использованием полифазного подхода исследован штамм *Navicula salinicola* Hustedt, выделенный из гипергалинного озера Джарылгач (соленость – 122 г/л). В ходе исследования выявлены различия в морфометрических характеристиках створок панциря выделенного штамма по сравнению с протологом и морфологическая изменчивость в условиях различной солености. Определены границы галотолерантности (диапазон устойчивости) и зоны оптимума развития микроводоросли. Анализ жирнокислотного состава биомассы исследуемого штамма продемонстрировал высокое содержание полиненасыщенных жирных кислот. С использованием двух маркерных генов (ген 18S рРНК и *rbcL*) определено филогенетическое положение. На основе данных метабаркодинга по V4-фрагменту гена 18S рРНК получены новые сведения о распространении *N. salinicola* в водоемах с различной соленостью.

Ключевые слова: диатомеи; *Navicula salinicola*; гипергалинные водоемы; галотолерантность морфологическая изменчивость; жирные кислоты

Navicula salinicola Hustedt впервые был обнаружен в 1939 г. и охарактеризован как довольно часто встречающийся вид в морских цианوفитовых илистых отменях (Hustedt, 1939). Этот таксон был описан как мезогалобный и эвригалинный (Hustedt, 1939). С точки зрения классификации, предложенной Кольбе (Kolbe, 1927), разработанной Хустедтом (Hustedt, 1957), которая в настоящее время широко используется в биоиндикации (Stoermer, Smol, 1999), мезогалобы характерны для шельфовых солоноватых песчаных эстуариев, а также водных объектов с соленостью в пределах 5‰–20‰ (Барина и др., 2019). К настоящему моменту подтверждено широкое распространение *N. salinicola* по всему миру в пресных, солоноватых и морских водоемах (Guiry, Guiry, 2022). Доминирование *N. salinicola* в микробных матах было отмечено при солености 38 ‰ (Fayó et. al., 2020). *Navicula salinicola* var. *boliviana*

был обнаружен в гипергалинной лагуне Колорадо, где он является компонентом пищевого рациона фламинго (Peña, Patrick, 1961). *Navicula salinicola* привлекает интерес как биотехнологический объект, поскольку наряду другими диатомовыми рассматривается как потенциальный источник полиненасыщенных жирных кислот (Etesami et al., 2017).

При изучении разнообразия микроводорослей в гипергалинных водоемах различной географической локализации нами был выделен штамм навикулоидных диатомовых, идентифицированный как *N. salinicola*, который явился объектом комплексного исследования.

Исследуемый штамм навикулоидных диатомовых выделен в 2019 г. из планктонной пробы гипергалинного озера Джарылгач, находящегося на северном побережье Тарханкутского полуострова (Крым). Соленость воды в точке отбора составляла 122 г/л, pH – 7,71. Альгологически чистая культура получена путем отсаживания единичных клеток из накопительной культуры с помощью тонко оттянутых пастеровских пипеток под инвертированным микроскопом Nikon TS2 (Nikon Corporation, Japan). Культивирование осуществляли на минеральной среде с соленостью 100 г/л в условиях люминистата. Световую микроскопию проводили с использованием микроскопа Axiostar plus (Carl Zeiss, Germany), сканирующую электронную микроскопию выполняли на микроскопе Tescan Mira 3 (Tescan Brno, s.r.o., Brno, Czech Republic) в Центре выявления и поддержки одаренных детей «Гагарин» (Оренбург). В градиенте минерализации были определены границы галотолерантности (диапазон устойчивости) и зоны оптимума развития микроводоросли. Морфологическую изменчивость оценивали в динамике по мере роста культуры в условиях различной солености. Состав жирных кислот оценивали с помощью ГЖХ-хроматографа/масс-спектрометра (Cohen, 1993). Определение суммарного содержания пигментов проводили в хлороформных экстрактах спектрофотометрически по формулам Wellburn (Wellburn, 1994), с использованием спектрофотометра CarySeries UV-Vis Spectrofotometer (Agilent Technologies, USA).

Выделенный штамм был идентифицирован как *Navicula salinicola* на основании морфологических и молекулярно-генетических данных. Определено филогенетическое положение с использованием двух маркерных генов (ген 18S рРНК и *rbcL*). Исследуемый штамм *N. salinicola* отличался от протолога большей длиной ($22,8 \pm 0,1$ ($21,7$ – $23,5$) мкм против 7 – 17 мкм, соответственно) и шириной ($3,4 \pm 0,03$ ($3,1$ – $3,9$) мкм против 2 – 3 мкм, соответственно) створки. Установлена оптимальная соленость и диапазон галотолерантности. Показана морфологическая изменчивость створок панциря в градиенте солености. С использованием метабаркодинга по V4-фрагменту гена 18S рРНК получены новые данные о географическом распространении *N. salinicola* в водоемах с различной соленостью. Анализ жирнокислотного состава биомассы нового штамма продемонстрировал высокое содержание полиненасыщенных жирных кислот. Полученные данные расширяют представление об экологических особенностях, фенотипической и физиологической пластичности и возможностях использования как объекта биотехнологии вида *N. salinicola*.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 25-24-20144, <https://rscf.ru/project/25-24-20144/>.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов, требующего раскрытия в данной статье.

Список литературы

1. Барينو́ва С.С., Белоус Е.П., Царенко П.М. Альгоиндикация водных объектов Украины: методы и перспективы. – Хайфа: University of Haifa Publisher, 2019. 367 с.

2. Cohen Z, Norman H., Heimer Y. Potential use of substituted pyridazinones for selecting polyunsaturated fatty acid overproducing cell lines of algae // *Phytochem.* 1993. V.32. P. 259–264. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0031-9422\(00\)94978-1](https://doi.org/10.1016/S0031-9422(00)94978-1).
3. Etesami E., Saba F., Noroozi M., Amoozegar M.A., Khaniki, G.B., Fazeli S.A.S. Caspian Sea's *Navicula salinicola* Hustedt 1939 and effect of the prolonged culture on its fatty acid profile // *International Journal of Aquatic Biology.* 2017. V.5, №4. P. 268–274. DOI: <https://doi.org/10.22034/ijab.v5i4.271>
4. Fayó R., Pan J., Espinosa M.A. Microbial mat and surface sediment communities from a shallow oxbow lake in the Colorado River floodplain, Argentina // *Geomicrobiology Journal.* 2020. V.37(10). P. 937–949. DOI: <https://doi.org/10.1080/01490451.2020.1801908>
5. Guiry M.D., Guiry G.M. *AlgaeBase*. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway. 2022. <https://www.algaebase.org> (дата обращения 28.05.2025)
6. Hustedt F. Die Diatomeenflora des Flußsystems der Weser im Gebiet der Hansestadt Bremen // *Abhandl. Naturw. Ver. Bremen.* 1957. V.34. P. 181–440.
7. Hustedt F. Die Diatomeenflora des Küstengebietes der Nordsee vom Dollart bis zur Elbemündung. I. Die Diatomeenflora in den Sedimenten der unteren Ems sowie auf den Watten in der Leybucht, des Memmert und bei der Insel Juist // *Adhandlungen des Naturwissenschaftlichen Verein zu Bremen.* 1939. V. 31(2/3). P. 571–677.
8. Kolbe R.W. Zur Ökologie, Morphologie und Systematik der Brackwasser-Diatomeen // *Pflanzenforschung.* 1927. V.7. P. 1–146.
9. Peña L.E., Patrick R.M. Results of research in the Antofagasta ranges of Chile and Bolivia // *Postilla.* 1961. V.49. P. 43–55.
10. Stoermer E.F., Smol J.P. *The diatoms: application for the environmental and earth sciences.* – Cambridge: Cambridge Univ. Press, 1999. – 469 p.
11. Wellburn A.R. The spectral determination of chlorophylls a and b, as well as total carotenoids, using various solvents with spectrophotometers of different resolution // *J. Plant. Physiol.* 1994. V.144. P. 307–313. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0176-1617\(11\)81192-2](https://doi.org/10.1016/S0176-1617(11)81192-2)

Статья поступила в редакцию 18.06.2025; поступила после доработки 08.08.2025; принята к публикации 28.08.2025

Сведения об авторах

Игнатенко Марина Евгеньевна – к.б.н., в.н.с., Институт клеточного и внутриклеточного симбиоза УрО РАН, Россия, Оренбург (Institute for Cellular and Intracellular Symbiosis, Ural Branch, RAS, Russia, Orenburg); ignatenko_me@mail.ru; ORCID – <https://orcid.org/0000-0002-4451-7816>; SPIN-код 9133-6969.

Черногорец Ольга Андреевна – Институт клеточного и внутриклеточного симбиоза УрО РАН, Россия, Оренбург (Institute for Cellular and Intracellular Symbiosis, Ural Branch, RAS, Russia, Orenburg); velsh.lilya@mail.ru; ORCID – <https://orcid.org/0000-0002-8569-2450>; SPIN-код 6255-2805.

Тынников Олег Алексеевич – Институт клеточного и внутриклеточного симбиоза УрО РАН, Россия, Оренбург (Institute for Cellular and Intracellular Symbiosis, Ural Branch, RAS, Russia, Orenburg); senior.tynnikov@yandex.ru; ORCID – <https://orcid.org/0009-0009-0824-4126>; SPIN-код 5269-0637.

Чивкунова Ольга Борисовна – к.б.н., с.н.с., Московский Государственный Университет им. М.В. Ломоносова, Россия, Москва (Lomonosov Moscow State University, Russia, Moscow), Биологический факультет; olga.chivkunova@mail.ru; ORCID – <https://orcid.org/0000-0002-1625-4510>; AuthorID 82044.

Соловченко Алексей Евгеньевич – д.б.н., профессор, Московский Государственный Университет им. М.В. Ломоносова, биологический факультет, Россия, Москва (Lomonosov Moscow State University, Russia, Moscow), Биологический факультет; solovchenkoae@my.msu.ru; ORCID – <https://orcid.org/0000-0001-6746-8511>; SPIN-код 4472-5698.

Лобакова Елена Сергеевна – д.б.н., профессор, Московский Государственный Университет им. М.В. Ломоносова, биологический факультет, Россия, Москва (Lomonosov Moscow State University, Russia, Moscow), Биологический факультет; elena.lobakova@rambler.ru; Scopus Author ID: 12778653400; SPIN-код 2459-0486.

Селиванова Елена Александровна – к.в.н., в.н.с., Институт клеточного и внутриклеточного симбиоза УрО РАН, Россия, Оренбург (Institute for Cellular and Intracellular Symbiosis, Ural Branch, RAS, Russia, Orenburg); selivanova-81@mail.ru; ORCID – <https://orcid.org/0000-0002-5155-1801>; SPIN-код 2453-0075.

Корреспондентский адрес: Россия, 460000, Оренбург, ул. Пионерская, д. 11, ИКВС УрО РАН, тел. (3532) 77-54-17.

Comprehensive characteristics of the new strain *Navicula salinicola* Hustedt from the hypersaline lake Dzharylgach

Marina E. Ignatenko¹, Olga A. Chernogorec¹, Oleg A. Tynnikov¹, Olga B. Chivkunova², Alexei E. Solovchenko², Elena S. Lobakova², Elena A. Selivanova¹

¹Institute for Cellular and Intracellular Symbiosis, Ural Branch, RAS (Russia, Orenburg)

²Lomonosov Moscow State University (Russia, Moscow)

A strain of *Navicula salinicola* Hustedt isolated from the hypersaline lake Dzharylgach (salinity – 122 g/l) was studied using a polyphase approach. The differences in the morphometric characteristics of the shell valves of the isolated strain were revealed compared to the protologue as well as morphological variability under conditions of different salinity. The optimal salinity and halotolerance range were established. Analysis of the new strain biomass fatty acid composition demonstrated a high content of polyunsaturated fatty acids. The phylogenetic position was determined using two marker genes (18S rRNA gene and *rbcl*). New data on the distribution of *N. salinicola* in water bodies with different salinity were obtained using metabarcoding (V4 fragment of the 18S rRNA gene).

Key words: Diatoms; *Navicula salinicola*; hypersaline water bodies; halotolerance morphological variability; fatty acids

References

1. Barinova S.S., Belous E.P., Tsarenko P.M. Algoindication of water bodies of Ukraine: methods and prospects. University of Haifa Publisher, Haifa, 2019. 367 p.
2. Cohen Z, Norman H., Heimer Y. Potential use of substituted pyridazinones for selecting polyunsaturated fatty acid overproducing cell lines of algae. *Phytochem.* 1993. V.32. P. 259–264. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0031-9422\(00\)94978-1](https://doi.org/10.1016/S0031-9422(00)94978-1)
3. Etesami E., Saba F., Noroozi M., Amoozegar M.A., Khaniki, G.B., Fazeli S.A.S. Caspian Sea's *Navicula salinicola* Hustedt 1939 and effect of the prolonged culture on its fatty acid profile. *International Journal of Aquatic Biology.* 2017. V.5, №4. P. 268–274. DOI: <https://doi.org/10.22034/ijab.v5i4.271>
4. Fayó R., Pan J., Espinosa M.A. Microbial mat and surface sediment communities from a shallow oxbow lake in the Colorado River floodplain, Argentina. *Geomicrobiology Journal.* 2020. V.37(10). P. 937–949. DOI: <https://doi.org/10.1080/01490451.2020.1801908>
5. Guiry M.D., Guiry G.M. AlgaeBase. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway. 2022. <https://www.algaebase.org> (date: 28.05.2025)
6. Hustedt F. Die Diatomeenflora des Flußsystems der Weser im Gebiet der Hansestadt Bremen. *Abhandl. Naturw. Ver. Bremen.* 1957. V.34. P. 181–440.
7. Hustedt F. Die Diatomeenflora des Küstengebietes der Nordsee vom Dollart bis zur Elbemündung. I. Die Diatomeenflora in den Sedimenten der unteren Ems sowie auf den Watten in der Leybucht, des Memmert und bei der Insel Juist. *Adhandlungen des Naturwissenschaftlichen Verein zu Bremen.* 1939. V.31(2/3). P. 571–677.
8. Kolbe R.W. Zur Ökologie, Morphologie und Systematik der Brackwasser-Diatomeen. *Pflanzenforschung.* 1927. V.7. P. 1–146.
9. Peña L.E., Patrick R.M. Results of research in the Antofagasta ranges of Chile and Bolivia. *Postilla.* 1961. V.49. P. 43–55.
10. Stoermer E.F., Smol J.P. The diatoms: application for the environmental and earth sciences. Cambridge Univ. Press, Cambridge, 1999. 469 p.
11. Wellburn A.R. The spectral determination of chlorophylls a and b, as well as total carotenoids, using various solvents with spectrophotometers of different resolution. *J. Plant. Physiol.* 1994. V.144. P. 307–313. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0176-1617\(11\)81192-2](https://doi.org/10.1016/S0176-1617(11)81192-2)

ССЫЛКА НА СТАТЬЮ:

Игнатенко М.Е., Черногорец О.А., Тынников О.А., Чивкунова О.Б., Соловченко А.Е., Лобакова Е.С., Селиванова Е.А. Комплексная характеристика нового

штамма *Navicula salinicola* Hustedt из гипергалинного озера Джарылгач // Вопросы современной альгологии. 2025. № 1 (37). P. 94–98. URL: <http://algology.ru/2144>

Ignatenko M.E., Chernogorec O.A., Tynnikov O.A., Chivkunova O.B., Solovchenko A.E., Lobakova E.S., Selivanova E.A. Comprehensive characteristics of the new strain *Navicula salinicola* Hustedt from the hypersaline lake Dzharylgach. *Voprosy sovremennoi algologii (Issues of modern algology)*. 2025. № 1 (37). P. 94–98. URL: <http://algology.ru/2144>

DOI – [https://doi.org/10.33624/2311-0147-2025-1\(37\)-94-98](https://doi.org/10.33624/2311-0147-2025-1(37)-94-98); EDN – JWJTBY

Диатомовые водоросли озера Сестрорецкий Разлив

Diatoms of Sestroretsky Razliv Lake

Киселев Г.А., Чернова Е.Н.

Grigorii A. Kiselev, Elena N. Chernova

Санкт-Петербургский государственный университет (Санкт-Петербург, Россия)

Эта работа посвящена изучению сезонной динамики видового состава, численности клеток и биомассы диатомовых водорослей в фитопланктоне озера Сестрорецкий Разлив. С 2011 г. организован Государственный природный заказник регионального значения «Сестрорецкое болото». В границах заказника располагается северная часть водохранилища Сестрорецкий Разлив, созданного в 1721 г. во времена Петра I путём запруды реки Сестры и реки Чёрной. В фитопланктоне 7 станций выявлено 96 видов водорослей из 7 отделов, из них диатомовые – 16 видов, которые составляют 17% от общего числа видов фитопланктона. В сезонной динамике прослеживается три пика обилия. Средняя за сезон биомасса соответствует эвтрофному водоему. Величина индекса Шеннона находится на границе между слабой и средней степенью нарушенности экосистемы. По индексу сапробности водохранилище относится к β -мезосапробной зоне, классу чистоты воды III (легкое загрязнение).

Ключевые слова: диатомеи; озера Сестрорецкий Разлив; биомасса; сапробность; органическое загрязнение

Сестрорецкий Разлив — водохранилище на территории муниципального образования Сестрорецк в составе Курортного района города федерального значения Санкт-Петербурга. Сестрорецкий Разлив является водохранилищем – искусственным водоемом, созданным в 1721 г. во времена Петра I путём запруды реки Сестры и реки Чёрной. Площадь поверхности — 10,6 км², объём воды — 0,015 км³ (Макарова 2018). В 1990 г. Сестрорецкий Разлив внесён в список объектов культурного и природного наследия г. Ленинграда под эгидой ЮНЕСКО. С 2011 г. организован Государственный природный заказник регионального значения «Сестрорецкое болото» – ненарушенная и никогда не подвергавшаяся осушению крупнейшая болотная система Санкт-Петербурга. В границах заказника располагается северная часть водохранилища Сестрорецкий Разлив.

Вода из Сестрорецкого Разлива использовалась в хозяйственных целях. С 2000 г. водоём прекращает быть постоянным источником питьевого водоснабжения и не используется водопроводной станцией даже как резервный. В 2014 г. состоялось заседание профильной комиссии по экологической защите населения Законодательного собрания Санкт-Петербурга, установившее, что озеро обладает способностью к самоочищению. Мониторинг состояния водоёма постоянно проводят многочисленные научные организации.

Последние исследования РГГМУ(Гидромет) на основе проведённого химическими методами объемного анализа в июле 2021 г. показали, что воды

Основными факторами, определяющими гидрохимический режим Сестрорецкого Разлива, являются высокая проточность и мелководность. Коэффициент условного водообмена = 10, что причисляет Сестрорецкий Разлив к группе водоёмов со значительным водообменом (Алябина, 2011). Главной причиной неблагоприятной экологической обстановки является сброс неочищенных сточных вод в реки Сестра и Черная.

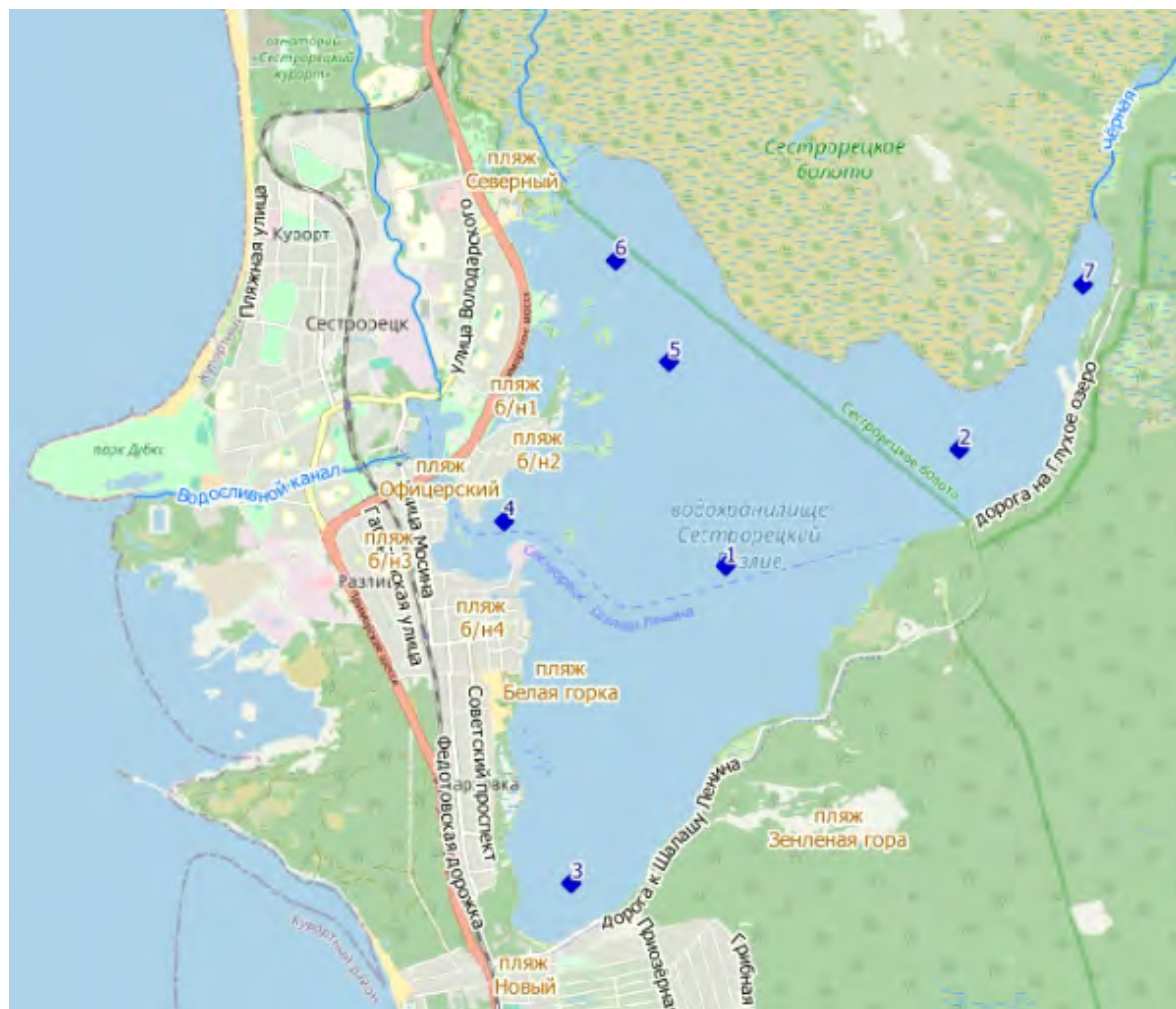


Fig. 1. Phytoplankton sampling stations from April to October 2024.

Общий список видов и формирующих фон численности микропланктона невелик.

В апреле по числу видов доминируют диатомовые водоросли на станциях 6, 7, 2 (от 100 до 67%), расположенных в северной части водоёма, и в точке 3 (59%) на юге Сестрорецкого Разлива.

В мае и июне в планктоне доминируют представители зелёных водорослей, роль диатомовых уменьшается. Далее в июле следует пик разнообразия цианобактерий по всей акватории. В августе начинают увеличиваться доли диатомовых и зелёных водорослей.

Весной основу биомассы фитопланктона всей акватории составляют диатомовые водоросли (до 80–99%) *Aulacoseira italica* (Ehrenberg) Simonsen. И только майский сбор в точке 7 в устье р. Черной нарушает общую тенденцию, здесь доминируют не диатомеи, а эвгленовые водоросли (74% биомассы).

Летом доля диатомовых в биомассе падает до 30–10% в июне и до 10–1% в июле. В августе отмечено увеличение числа клеток диатомей и показатели биомассы на станциях варьируют от 10 до 50% биомассы. Осенью, в сентябре, высокие показатели биомассы отмечены у *Aulacoseira granulata* (Ehrenberg) Simonsen до 35–51%, а в октябре снова доминирует *Aulacoseira italica* (Ehrenberg) Simonse.

Средняя за сезон биомасса фитопланктона в Сестрорецком Разливе в 2024 г. составила 15,1 г/куб.м, что по типологии озёр по Китаеву (1984) соответствует эвтрофному водоему. По сравнению с предыдущими исследованиями, среднесезонная биомасса микроводорослей была на уровне 1990х годов и ниже величин 2002 и 2015–2016 гг. (Трифорова 2015; Поздняков 2017; Макарова 2018).

В сезонной динамике прослеживается три пика обилия: весенний небольшой пик в апреле, обусловленный развитием диатомовых водорослей; летний пик в июле с доминированием цианобактерий и осенний пик в сентябре с доминированием диатомовых с цианобактериями в качестве субдоминантов.

Величина индекса Шеннона для фитопланктона на исследованных станциях около 2, средняя за сезон по всем станциям – 2,11 – находится на границе между слабой и средней степенью нарушенности экосистемы.

По индексу сапробности все станции относятся к β -мезосапробной зоне, классу чистоты воды III (легкое загрязнение). Наилучшая обстановка по степени органической нагрузки, как и в прошлые годы, зафиксирована в южной части водохранилища на станции 3, наиболее удалённой от мест впадения рек Сестра и Черная. Что может свидетельствовать о возможности самоочищения вод от органического загрязнения в пределах водохранилища.

Резюмируя проведенные гидробиологические исследования, можно отметить некоторое улучшение обстановки с эвтрофированием и загрязнением органикой по сравнению с 2002 и 2015–2016 гг., она примерно находится на уровне 1990-х гг.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов, требующего раскрытия в данной статье.

Список литературы

1. Алябина Г.А. Природа Сестрорецкой низины // Волкова, Е.А., Исаченко, Г.А., Храмцов, В.Н. (ред.). Природа Сестрорецкой низины. – СПб: Бостон-спектр, 2011. – 261 с.
2. Макарова С.В. Экологическое состояние водохранилища Сестрорецкий Разлив: прошлое и настоящее // Вода и экология: проблемы и решения. 2018. №4 С. 61–69. DOI: 10.23968/2305-3488.2018.23.4.61-69
3. Поздняков Ш.Р., Трифонова И.С., Игнатьева Н.В., Капустина Л.Л., Павлова О.А., Русанов А.Г. Экологическое состояние водохранилища Сестрорецкий Разлив по результатам многолетних исследований // Региональная экология. 2017. №4 (50). С. 5–19.
4. Трифонова И.С., Павлова О.А., Афанасьева А.Л., Станиславская Е.В. Летний фитопланктон водохранилища Сестрорецкий Разлив по многолетним наблюдениям // Изв. Самар. науч. центра РАН. 2015. Т. 17. №5 (2). С. 522–527.

Статья поступила в редакцию 18.06.2025; поступила после доработки 19.08.2025; принята к публикации 28.08.2025

Сведения об авторах

Киселев Григорий Анатольевич – старш. преподаватель, Санкт-Петербургский государственный университет, Россия, Санкт-Петербург (Saint Petersburg State University, Russia, Saint Petersburg), Биологический факультет, каф. Ботаники; greenkiss@mail.ru; ORCID – <https://orcid.org/0000-0002-8831-8069>; SPIN-код 4879-3805.

Чернова Елена Николаевна – ассистент, Санкт-Петербургский государственный университет, Россия, Санкт-Петербург (Saint Petersburg State University, Russia, Saint Petersburg), Биологический факультет, каф. Прикладной экологии; e.n.chernova@yandex.ru; ORCID – <https://orcid.org/0000-0002-8949-8161>; SPIN-код 3648-0859.

Корреспондентский адрес: Россия, 199034, Санкт-Петербург, Университетская наб., 7/9, СПбГУ, тел. (812) 328-97-03.

Diatoms of Sestroretsky Razliv Lake

Grigorii A. Kiselev, Elena N. Chernova

Saint Petersburg State University (Russia, Saint Petersburg)

This work is devoted to the study of the seasonal dynamics of the species composition, cell abundance, and biomass of diatoms in phytoplankton of Sestroretsky Razliv Lake. Since 2011, State Nature Reserve of regional importance “Sestroretsk swamp” has been organized. The northern part of Sestroretsky Razliv reservoir is located within the boundaries of the reserve. It was established in 1721. The Sister River and the Chernaya River were dammed. 96 species of algae have been identified in phytoplankton at 7 stations. Representatives of 7 phylums were found. Diatoms are 16 species, 17% of the total number of phytoplankton species. There are three abundance peaks in the seasonal dynamics. The average biomass corresponds to a eutrophic reservoir. The value of the Shannon index is on the boundary between a weak and moderate degree of ecosystem disturbance. According to the saprobity index, the reservoir belongs to the β -mesosaprobic zone, water purity class III (light pollution).

Key words: Diatoms; lake Sestroretsky Razliv; biomass; saprobity; organic pollution

References

1. Alyabina G.A. The nature of the Sestroretsk lowland. In: Volkova E.A., Isachenko G.A., Khramtsov V.N. (Eds.). The nature of the Sestroretsk lowland. Boston-spektr, St. Petersburg, 2011. 261 p. (In Russ.)
2. Makarova S.V. Ecological state of the Sestroretsky Razliv reservoir: the past and the present. *Water and ecology*. 2018. №4 С. 61–69. DOI: <https://doi.org/10.23968/2305-3488.2018.23.4.61-69> (In Russ.)
3. Pozdnyakov Sh.R., Trifonova I.S., Ignatyeva N.V., Kapustina L.L., Pavlova O.A., Rusanov A.G. Ecological state of reservoir Sestroretsky Razliv by the data of long-term studies. *Regional ecology*. 2017. №4 (50). P. 5–19. (In Russ.)
4. Trifonova I.S., Pavlova O.A., Afanasyeva A.L., Stanislavskaya E.V. Summer phytoplankton of Sestroretskiy Razliv reservoir on long-term observations. *Proceedings of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*. 2015. V. 17. №5 (2). P. 522–527. (In Russ.)

ССЫЛКА НА СТАТЬЮ:

Киселев Г.А., Чернова Е.Н. Диатомовые водоросли озера Сестрорецкий Разлив // Вопросы современной альгологии. 2025. № 1 (37). P. 99–102. URL: <http://algology.ru/2145>

Kiselev G.A., Chernova E.N. Diatoms of Sestroretsky Razliv Lake. *Voprosy sovremennoi algologii (Issues of modern algology)*. 2025. № 1 (37). P. 99–102. URL: <http://algology.ru/2145>

DOI – [https://doi.org/10.33624/2311-0147-2025-1\(37\)-99-102](https://doi.org/10.33624/2311-0147-2025-1(37)-99-102); EDN – FWUFYO

Диатомовые водоросли арктических водоемов и водотоков нижней Колымы и Восточно-Сибирского моря

Diatoms of Arctic reservoirs and watercourses of the Lower Kolyma and the East Siberian Sea

Копырина Л.И.

Liubov I. Kopyrina

Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН (Якутск, Россия)

Приведены результаты исследований диатомовых водорослей в 12 арктических водоемах и водотоках р. Колымы и Восточно-Сибирского моря с использованием световой, сканирующей электронной микроскопии и современной литературы. Выявлено 335 таксонов диатомей, из них 176 видов новые для бассейна р. Колымы, 68 для Якутии и 40 видов определены до рода. Наиболее разнообразны в планктоне и бентосе (обрастания) диатомовые водоросли родов *Navicula* (38), *Nitzschia* (24); *Gomphonema* (18), *Eunotia* и *Pinnularia* (по 14) видов соответственно. Среди исследованных водоемов и водотоков наибольшее богатство видов было обнаружено в протоке Чукочь – 68 видов, в заливаемом морем луге – 67 (КК), в озере полигона – 59 (КК), в термокарстовом озере пос. Походск и соленом озере по 57 (КК) видов. В эколого-географических спектрах водорослей отмечено преобладание широко распространенных, бентосных, индифферентных по отношению к pH среды. Среди видов-индикаторов сапробности преобладают олиго- и олиго-бета-формы, что указывает на незначительную антропогенную нагрузку на р. Колымы под населенными пунктами.

Ключевые слова: видовой состав; роды; диатомовые водоросли; река; озеро; нижняя Колыма; Восточно-Сибирское море

Территория изученного региона расположена в зоне сплошной мерзлоты, которая начала формироваться в начале четвертичного периода, т.е. около 2 млн лет тому назад. Многолетняя мерзлота имеет сплошное распространение, мощность ее достигает 500–700 м (Мерзлотные ландшафты..., 1989).

Средняя годовая температура воздуха бассейна имеет значительные колебания в широтном направлении, к югу наблюдается ее постепенное повышение (Метеорологический справочник СССР, 1966, 1968). Так, среднегодовая температура воздуха на побережье Северного ледовитого океана (ст. Черский) равна -14,2°C. При этом по побережью океана чувствуется утепляющий эффект обширных водных пространств в зимнее время, и наоборот, охлаждающий – в летнее время. Зима продолжительная и суровая. Она устанавливается в последней декаде сентября и длится 7 и более месяцев. За полярным кругом три зимних месяца (ноябрь–январь) царит полярная ночь (Сивцева и др., 1984). Лето в пределах Нижнеколымского – короткое прохладное, пасмурное, сырое и ветреное. Средняя температура воздуха этого

месяца в Черском – 9,7°C. В конце августа почва начинает промерзать. В первой декаде сентября в районе Черского устанавливается постоянный снежный покров и начинается зима. Меньше всего осадков выпадает по побережью Ледовитого океана (Черский – 210 мм).

Начало альгологических исследований в бассейне р. Колымы положено в 1956 г. Л.Е. Комаренко (1960), где для среднего течения р. Колымы приводилось 155 видов и внутривидовых таксонов диатомовых водорослей, относящихся к 33 родам. С этого времени был выпущен ряд работ, посвященных альгофлоре бассейна реки Колымы, в том числе водоросли озер стационара «Походск» вошли в монографии «Разнообразие растительного мира Якутии» (2005) и «Flora of Yakutia: Composition and Ecological Structure» (2010). Впоследствии вся флора диатомовых водорослей якутской части Колымы и «Водоросли дельты р. Колымы» (Копырина, 2012) стали основой составления систематического списка в обобщающей сводке В.Г. Харитонов «Диатомовые водоросли реки Колымы» (2014), где насчитывается 980 видов и внутривидовых таксонов (ввт) относящихся к 113 родам, из которых ведущими являются *Eunotia* (97), *Pinnularia* (104), *Nitzschia* (63), *Navicula* (55), *Gomphonema* (46).

Отбор альгологических проб проводили на 12 водоемах и водотоках, расположенных в низовьях реки Колымы, на ресурсном резервате Курдигино-Крестовский и Восточно-Сибирского моря в августе-сентябре 2022 г. Пробы отобраны из термокарстовых озер близ поселков Походск и Черский, р. Колыма под пгт Черский, устьевых участков р. Колымы и протоки Чукочь, воды Восточно-Сибирского моря (в 5 км от берега), а также из озер № 1 (термокарстовое), № 2 (соленое), № 3 (пойменное), озера из полигона, луга заливаемой водами моря, устье р. Ватапваам (в 3 км от ее устья) ресурсного резервата Курдигино-Крестовский (далее КК). Водорослевые сообщества планктон, бентосная флора (обрастания) диатомовых водорослей арктического побережья Восточно-Сибирского моря до сего времени никем не изучалась. В настоящей работе впервые приводятся сведения, полученные нами в результате исследования проб из 12 водоемов, на сканирующем микроскопе.

Собрано и обработано более 75 проб фитопланктона, фитоперифитона по общепринятым в альгологии методам исследований (Водоросли, 1989; Руководство ..., 1992). Собранный материал фиксировали 40% раствором формалина в соотношении 1:10. При проведении полевых исследований на всех точках отбора проб измерялась температура воды и прозрачность. Пробы фитопланктона отбирали сетью Апштейна, изготовленной из ткани SEFAR NITEX с ячейей 25 мкм. Фитопрерифитон собирали с водных растений, мхов и камней. Микроскопические работы створок диатомовых проводили с помощью светового микроскопа Zeiss Axioscop 40 FL и сканирующего электронного микроскопа FEI Quanta 200 (Eindhoven, Netherland) в ЦКП «Ультрамикроанализ» Лимнологического института СО РАН (г. Иркутск, ноябрь–декабрь 2021 г.). В ходе работы было получено и проанализировано более 500 микрофотографий, а также исследованы 24 постоянных препарата на световом микроскопе.

Названия таксонов приведены согласно международной базе данных (Guiry and Guiry 2025; <http://www.algaebase.org>). Экологическая и географическая характеристики диатомей приведены по опубликованным данным (Барина и др. 2006; Levkov 2009; Lange-Bertalot et al. 2011; Харитонов и Генкал 2012; Levkov et al. 2013; Харитонов 2014; Куликовский и др., 2016; Чудаев, Гололобова, 2016).

Цель работы – изучение видового состава диатомовых в арктических водоемах и водотоках нижней Колымы с использованием световой, сканирующей электронной микроскопии и современной литературы.

По результатам изучения видового состава диатомовых водорослей фитопланктона и фитоперифитона арктических водоемов и водотоков нижней Колымы и Восточно-Сибирского моря с помощью светового и сканирующего электронного

микроскопа выявлено 335 таксонов, из них 176 видов новые для бассейна р. Колымы, 68 – для Якутии и 40 видов определены до рода. Наиболее разнообразны в планктоне и фитоперифитоне диатомовые водоросли родов: *Navicula* (38), *Nitzschia* (24); *Gomphonema* (18), *Eunotia* и *Pinnularia* (по 14), *Diploneis* и *Planothidium* (по 9), *Stauroneis* (8), *Amphora*, *Cymbella*, *Fragilaria*, *Iconella* и *Neidium* (по 7), *Caloneis*, *Encyonema*, *Surirella* и *Thalassiosira* (по 6), *Cymbopleura*, *Diatoma*, *Placoneis* и *Tryblionella* (по 5). По 4 таксона выявлено в родах *Achnantheidium*, *Aulacoseira*, *Epithemia*, *Hippodonta*, *Sellaphora* и *Stephanodiscus*; по 3 таксона найдено в родах *Chamaepinnularia*, *Cocconeis*, *Cyclotella*, *Psammothidium*, *Skabitschewskia*, *Skeletonema*, *Synedra* и *Ulnaria*; в 14 родах выявлено по два вида; 46 родов являются моновидовыми. Все найденные виды и разновидности отмечены в планктоне и в обрастаниях высших водных растений, мхах.

В целом, во флоре водоемов Якутии различного генезиса среди диатомовых доминируют виды, относящиеся к родам: *Navicula*, *Nitzschia* и *Pinnularia*, где на их долю приходится половина видового списка, что характерно для всех типов водоемов Арктики и Субарктики (Разнообразие... 2005; Городничев 2015; Копырина et al., 2020). В обобщающей работе В.Г. Харитонов «Диатомовые водоросли реки Колымы» (2014) приводится близкий набор следующих родов: *Eunotia* (97), *Pinnularia* (104), *Nitzschia* (63), *Navicula* (55), а также в работах по субарктической тундре низовьев р. Лены: *Eunotia* (33), *Pinnularia* (18), *Navicula* (14), *Achnanthes* (14) (Копырина et al., 2021).

Среди исследованных водоемов и водотоков наибольшее богатство видов было обнаружено в устье протоки Чукочь – 68 видов, в луге заливаемом морем – 67 (КК), в озере полигона – 59 (КК), в термокарстовом озере пос. Походск и соленом озере по 57 (КК), в устье р. Колымы – 56, в пойменном озере – 52 (КК), в водах Восточно-Сибирского моря – 46, в термокарстовом озере пгт Черский – 43, в устье р. Ватапваам – 34 (КК), в термокарстовом озере – 29 (КК), в р. Колыма пгт Черский – 23 вида.

В эколого-географическом спектре по местообитанию доминируют бентосные – 148 видов, затем планктонно-бентосные – 75 и планктонные – 15 видов. По отношению к рН среде основу флоры диатомей составляют индифференты – 101 и алкалифилы – 74, далее идут афцидофилы – 26, алкалибионты – 6. По географической приуроченности преобладают космополиты – 160, арктоальпийские – 29, бореальные – 17, аркто-бореальные – 14 видов.

Выявлено 213 таксонов-индикаторов сапробности, из них: олиго – 71 таксон, бета – 65, бета-альфа – 18, альфа – 17, олиго-бета – 9, олиго-альфа и ксено-олиго по 6, альфа-бета – 5, олиго-бета, олиго-ксено и ксено- по 4, бета-олиго – 3, ксено-бета – 1. Видно, что в диатомовой флоре арктических водоемов и водотоков преобладают олиго- и бета-сапробионты с их вариациями – их 148 таксонов, что составляет 69,5% от видов-индикаторов сапробности (от 213) или 63,6% от всех обнаруженных в водных объектах таксонов (335). Среди видов-индикаторов сапробности преобладают олиго- и олиго-бета-формы.

Полученные данные могут быть основой мониторинговых исследований водных объектов, находящихся в результате климатических и других воздействий в регионе. По таксономическому богатству и разнообразию флора диатомовых водорослей сопоставима с бассейнами рек Анадырь, Енисей и водоемов Аляски и Гренландии (Харитонов, 2014).

Автор выражает благодарность д.б.н. Е.В. Лихошвай, коллегам А.Д. Фирсовой, Е.В. Родионовой отдела ультраструктуры клеток ЛИИ СО РАН, д.б.н. Р.В. Десяткину, вед. инженеру Филиппову Н.В. ИБПК СО РАН и госинспекторам Нижнеколымского района Слепцовым В.С., Р.В. и Н.Р.

Финансирование исследований проведены при поддержке гранта РФФИ проекта 19-29-05151 (2022 г.) «Разрушение ледового комплекса Приморских низменностей Якутии в условиях

глобальных изменений климата, ее влияние на современное состояние почвенного покрова субарктических территорий и разработка мероприятий по минимизации ее негативного влияния на социально-экономическое развитие региона», а также в рамках госзадания Минобрнауки РФ по проектам «Растительный покров криолитозоны таежной Якутии: биоразнообразие, средообразующие функции, охрана и рациональное использование» (№ FWRС-2021-0023; ЕГИСУ НИОКТР № АААА-А21-121012190038-0).

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

Список литературы

1. Барина С.С., Медведева О.В., Анисимова О.В. Биоразнообразие водорослей-индикаторов окружающей среды. – Тель-Авив: Pilies Studio, 2006. – 498 с.
2. Водоросли: Справочник. – Киев: Наукова Думка, 1989. – 608 с.
3. Городничев Р.М. Взаимосвязь состава диатомовых комплексов, морфометрических и гидрохимических характеристик озерных экосистем севера Якутии: дис. ... канд. биол. наук. – Якутск, 2015. – 187 с.
4. Комаренко Л.Е. Диатомовые водоросли р. Колымы // Изв. Сиб. отд. АН СССР. 1960. № 3. С. 81–86.
5. Копырина Л.И. Водоросли дельты реки Колымы // Наука и образование, 2012. 3 (67). С. 49–52.
6. Куликовский М.С., Глуценко А.М., Генкал С.И., Кузнецова И.В. Определитель диатомовых водорослей России. – Ярославль: Филигрань, 2016. – 804 с.
7. Мерзлотные ландшафты Якутии: Пояснительная записка к «Мерзлотно-ландшафтной карте Якутской АССР» м-ба 1: 2 500 000 / Федоров А.Н., Ботулу Т.А., Васильев И.С. и др. – Новосибирск: ГУГК. 1989. – 170 с.
8. Метеорологический справочник СССР. Т. 24. Якутская АССР. Ч. 2. Температура воздуха и почвы. – Гидрометеиздат, Ленинград, 1966. – 398 с.
9. Метеорологический справочник СССР. Т. 24. Якутская АССР. Ч. 4. Влажность воздуха, осадки, снежный покров. – Гидрометеиздат, Ленинград, 1988. – 351 с.
10. Разнообразие растительности Якутии. – Новосибирск, 2005. – С. 150–272.
11. Руководство по гидробиологическому мониторингу поверхностных экосистем. – СПб.: Изд-во Гидрометеиздат, 1992. – 318 с.
12. Сивцева А.И., Мостахов С.Е., Дмитриева З.М. География Якутской АССР. – Якутск: Кн. изд-во, 1984. – 165 с.
13. Харитонов В.Г. Диатомовые водоросли Колымы. – Кордис, Магадан, 2014. – 496 с.
14. Чудаев Д.А., Гололобова М.А. Диатомовые водоросли озера Глубокого (Московская область). – М.: Изд-во «Товарищество научных изданий КМК», 2016. – 447 с.
15. Flora of Yakutia: Composition and Ecological Structure V.3. – Springer Dordrecht Heidelberg London NewYork, 2010. – 390 p.
16. Guiry M.D., Guiry G.M. AlgaeBase. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway. 2024. <http://www.algaebase.org> (дата обращения: 07.09.2024)
17. Lange-Bertalot H., Bak M., Witkowski A. Diatoms of Europe. Eunotia and some related genera. 2011. V.6. – 747 p.
18. Levkov Z. Diatoms of Europe. V. 5. Amphora sensulato. 2009. – 916 p.
19. Kopyrina L.I., Genkal S.I., Remigailo P.A. Diatom Algae of the Waterbodies in the Subarctic Tundra. Inland Water Biology. 2021. V.14, №2. P. 125–132. <https://doi.org/10.1134/S1995082921020085>
20. Kopyrina L., Firsova A., Rodionova E., Zakharova Y., Bashenkhaeva M., Usoltseva M., Likhoshway Y. The insight into diatom diversity, ecology, and biogeography of an extreme cold ultraoligotrophic Lake Labyntyr at the Pole of Cold in the northern hemisphere // Extremophiles. 2020. V.24. P. 603–623. <https://doi.org/10.1007/s00792-020-01181-1>

Статья поступила в редакцию 18.06.2025; поступила после доработки 08.08.2025; принята к публикации 28.08.2025

Сведения об авторе

Копырина Любовь Иннокентьевна – к.б.н., в.н.с., Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН, Россия, Якутск (Institute for Biological Problems of Cryolithozone, Siberian Branch, RAS, Russia, Yakutsk); l.i.kopyrina@mail.ru; ORCID – <https://orcid.org/0000-0002-0374-3323>; SPIN-код 8609-8506.

Корреспондентский адрес: Россия, 677007, Якутск, пр-т Ленина, 41, ИБПК СО РАН, тел. (4112) 33-56-90.

Diatoms of Arctic reservoirs and watercourses of the Lower Kolyma and the East Siberian Sea

Liubov I. Kopyrina

Institute for Biological Problems of Cryolithozone, Siberian Branch, RAS (Russia, Yakutsk)

The article presents the results of studies of diatoms in 12 Arctic water bodies and watercourses of the Kolyma River and the East Siberian Sea using light, scanning electron microscopy and modern literature. A total of 335 taxa of diatoms were identified, including 176 species new to the Kolyma River basin, 68 for Yakutia and 40 species identified to the genus level. The most diverse diatoms in plankton and benthos (fouling) are of the genera *Navicula* (38), *Nitzschia* (24); *Gomphonema* (18), *Eunotia* and *Pinnularia* (14 species each), respectively. Among the studied water bodies and watercourses, the greatest diversity of species was found in the Chukochye Channel – 68 species, in the meadow flooded by the sea – 67 (KK), in the small lake of the testing ground – 59 (KK), in the thermokarst lake of the village. Pokhodsk and Salt Lake have 57 (KK) species. In the eco-geographical spectra of algae, widespread, benthic, indifferent to the pH of the environment predominate. Among the species-indicators of saprobity, oligo- and oligo-beta-forms predominate, indicating an insignificant anthropogenic load on the Kolyma River under populated areas.

Key words: species composition; genera; Diatoms; river; lake; lower Kolyma; East Siberian Sea

References

1. Barinova S.S., Medvedeva O.V., Anisimova O.V. Bioraznoobrazie vodoroslej-indikatorov okruzhayushhej sredy. Pilies Studio, Tel'-Aviv, 2006. 498 p. (In Russ.)
2. Chudaev D.A., Gololobova M.A. Diatomovye vodorosli ozera Glubokogo (Moskovskaya oblast'). Izd-vo «Tovarishchestvo nauchnyh izdanij KMK», Moscow, 2016. 447 p. (In Russ.)
3. Flora of Yakutia: Composition and Ecological Structure. V.3. Springer Dordrecht Heidelberg, London, New York, 2010. 390 p.
4. Gorodnichev R.M. Vzaimosvyaz' sostava diatomovyh kompleksov, morfometricheskikh i gidrohimicheskikh harakteristik ozernyh ekosistem severa Yakutii: PhD Thesis. Yakutsk, 2015. 187 p. (In Russ.)
5. Guiry M.D., Guiry G.M. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway. *AlgaeBase*. 2024. <http://www.algaebase.org> (date: 07.09.2024)
6. Haritonov V.G. Diatomovye vodorosli Kolymy. Magadan, Kordis, 2014. 496 p. (In Russ.)
7. Komarenko L.E. Diatomovye vodorosli r. Kolymy. *Izv. Sib. otd. AN SSSR*. 1960. № 3. P. 81–86. (In Russ.)
8. Kopyrina L.I. Vodorosli del'ty reki Kolymy. *Nauka i obrazovanie*. 2012. 3 (67). P. 49–52. (In Russ.)
9. Kopyrina L., Firsova A., Rodionova E., Zakharova Y., Bashenkhaeva M., Usoltseva M., Likhoshway Y. The insight into diatom diversity, ecology, and biogeography of an extreme cold ultraoligotrophic Lake Labyntyr at the Pole of Cold in the northern hemisphere. *Extremophiles*. 2020. V.24. P. 603–623. <https://doi.org/10.1007/s00792-020-01181-1>
10. Kopyrina L.I., Genkal S.I., Remigailo P.A. Diatom Algae of the Waterbodies in the Subarctic Tundra. *Inland Water Biology*. 2021. V.14, №2. P. 125–132. <https://doi.org/10.1134/S1995082921020085>
11. Kulikovskij M.S., Glushchenko A.M., Genkal S.I., Kuznecova I.V. Opredeletel' diatomovyh vodoroslej Rossii. Filigran', Yaroslavl', 2016. 804 p. (In Russ.)
12. Lange-Bertalot H., Bak M., Witkowski A. Diatoms of Europe. *Eunotia* and some related genera. 2011. V.6. 747 p.
13. Levkov Z. Diatoms of Europe. V. 5. *Amphora sensulato*. 2009. 916 p.
14. Merzlotnye landshafty Yakutii: Poyasnitel'naya zapiska k «Merzlotno-landshaftnoj karte Yakutskoj ASSR». Eds: Fedorov A.N., Botulu T.A., Vasil'ev I.S. GUGK, Novosibirsk, 1989. 170 p. (In Russ.)

15. Meteorologicheskij spravochnik SSSR. T.24. Yakutskaya ASSR. Part 2. Temperatura vozduha i pochvy. Leningrad, Gidrometeoizdat, 1966. 398 p. (In Russ.)
16. Meteorologicheskij spravochnik SSSR. T.24. Yakutskaya ASSR. Part 4. Vlazhnost' vozduha, osadki, snezhnyj pokrov. Leningrad, Gidrometeoizdat, 1988. 351 p. (In Russ.)
17. Raznoobrazie rastitel'nosti Yakutii. Novosibirsk, 2005. P. 150–272. (In Russ.)
18. Rukovodstvo po gidrobiologicheskomu monitoringu poverhnostnyh ekosistem. Izd-vo Gidrometeoizdat, SPb, 1992. 318 p. (In Russ.)
19. Sivceva A.I., Mostahov S.E., Dmitrieva Z.M. Geografiya Yakutskoj ASSR. Kn. izd-vo, Yakutsk, 1984. 165 p. (In Russ.)
20. Vodorosli: Spravochnik. Naukova Dumka, Kiev, 1989. 608 p. (In Russ.)

ССЫЛКА НА СТАТЬЮ:

Копырина Л.И. Диатомовые водоросли арктических водоемов и водотоков нижней Колымы и Восточно-Сибирского моря // Вопросы современной альгологии. 2025. № 1 (37). P. 103–108. URL: <http://algology.ru/2137>

Kopyrina L.I. Diatoms of Arctic reservoirs and watercourses of the Lower Kolyma and the East Siberian Sea. *Voprosy sovremennoi algologii (Issues of modern algology)*. 2025. № 1 (37). P. 103–108. URL: <http://algology.ru/2137>

DOI – [https://doi.org/10.33624/2311-0147-2025-1\(37\)-103-108](https://doi.org/10.33624/2311-0147-2025-1(37)-103-108); EDN – ZPPGSE

Материалы к флоре диатомовых водорослей высокогорных рек Карачаево-Черкесской Республики

Materials on the diatom flora of high-mountain rivers in the Karachay-Cherkess Republic

Кулаков В.С., Кухарук М.Ю.

Vyacheslav S. Kulakov, Maksim J. Kukharuk

Северо-Кавказский федеральный университет – ФГАОУ ВО «СКФУ»
(Ставрополь, Россия)

Проведено исследование образцов планктонных и бентосных диатомовых водорослей, собранных в октябре 2024 года с высокогорных озёр Кара-Кёль и Туманлы-Кёль (КЧР), выделено и обработано 8 чистых культур, выполнено их генотипирование.

Ключевые слова: диатомовые водоросли; высокогорные озера; Кара-Кёль; Туманлы-Кёль

Диатомовые водоросли – довольно разнообразные и экологически важные объекты живой природы, требующие подробного изучения. Целью данной научной работы является изучение представителей диатомовых водорослей из озёр Кара-Кёль и Туманлы-Кёль, являющихся частью бассейна реки Теберда в Карачаево-Черкесской Республике. Сбор проб производился в октябре 2024 года планктонной сетью, илососом и методом соскоба.

Кара-Кёль – небольшое озеро, расположенное в границах г. Теберда, 250 метров в длину и 100 в ширину. Максимальная глубина – 11 метров. Подпитывается подземными источниками и тающими ледниками. считается самым тёплым среди озёр Тебердинского заповедника: летом оно нагревается до +20°C.

Озеро Туманлы-Кёль расположено в ущелье Гоначхир, его длина 275 метров, ширина 120 метров; находится на высоте 1850 метров над уровнем моря; средняя глубина 4 метра, наибольшая 23 метра. Минерализация колеблется по сезонам от 25 до 60 мг/л (Салпагаров, 2003).

Из 96 образцов, отобранных из проб воды, было выделено 8 культур бентосных и перифитонных диатомей, представителей следующих родов: *Fragilaria*, *Amphora*, *Ulnaria*, *Gomphonema*, *Staurosira*, *Navicula*, *Cymatopleura* (рис. 1).

Из них была выделена ДНК набором «МагноПрайм ГМО» с использованием магнитного штатива для последующей постановки полимеразной цепной реакции, в которой были применены праймеры V4 18S rRNA: D512_F и D978_R; и RbcL: rbcL404_F и rbcL1255_R (Keszlya et al. 2023). Данные были проанализированы при помощи электрофореза на агарозном геле. Затем произведена очистка ДНК стандартным набором реакционных смесей «ColGen» с повторным контролем электрофорезом.

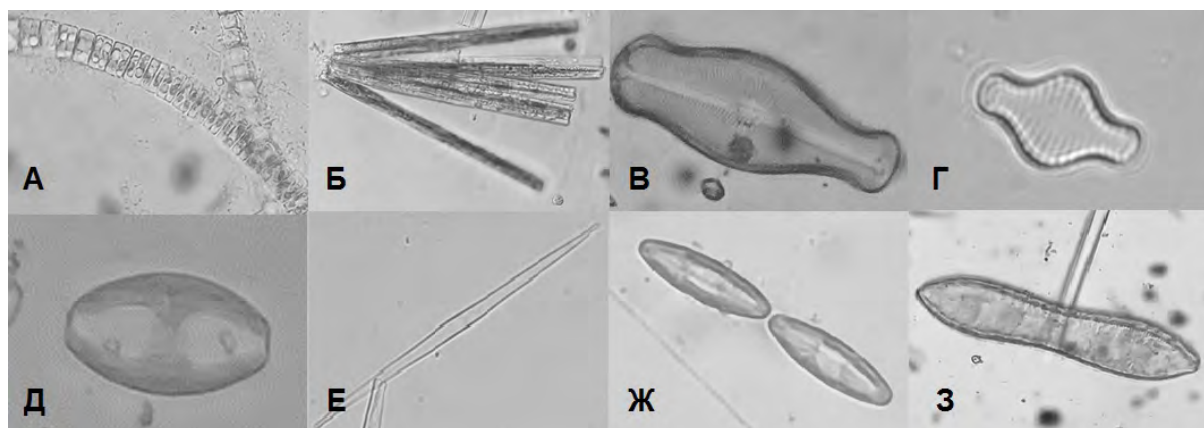


Рис. 1. Фотографии диатомовых водорослей родов: **А** – *Staurosira*, **Б** – *Fragilaria*, **В** – *Didymosphenia*, **Г** – *Staurosira*, **Д** – *Amphora*, **Е** – *Ulnaria*, **Ж** – *Navicula*, **З** – *Cymatopleura*

Fig. 1. Photos of diatoms of genera: **А** – *Staurosira*, **Б** – *Fragilaria*, **В** – *Didymosphenia*, **Г** – *Staurosira*, **Д** – *Amphora*, **Е** – *Ulnaria*, **Ж** – *Navicula*, **З** – *Cymatopleura*

Далее мы проводили секвенирование материала по стандартному протоколу набора GenSeq на приборе Нанофор 05 и чтение результатов сиквенса в программах Ridom TraceEdit и Chromas. При помощи программы Mutation Surveyor были проанализированы отличия образцов от имеющихся в базах данных GenBank и Diat. Barcode и выполнено их выравнивание (Rimet et al. 2019) (рис. 2).

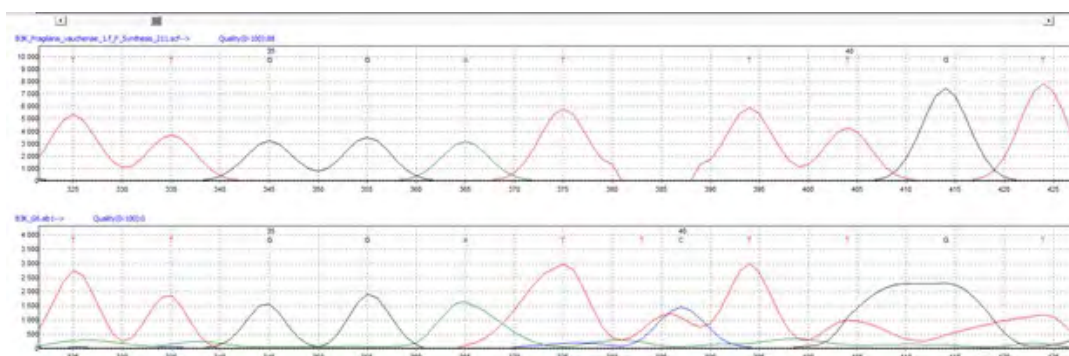


Рис. 2. Выравнивание результатов секвенирования в программе Mutation Surveyor

Fig. 2. Alignment of sequencing results in the Mutation Surveyor program

Также были изготовлены микропрепараты на синтезированной нами смоле Эляшева из образцов и чистых культур. Они были рассмотрены под микроскопом Zeiss Axio Imager A2, захват изображения выполнялся с помощью фотокамеры Axio Cam ERc 5. При помощи программы ZEN 3 Pro были получены снимки диатомей, определение проводили по Определителю диатомовых водорослей России (Куликовский, 2016)

В перспективе планируется дополнить научную работу проведением сравнения полученных результатов с имеющимися базами данных для более подробного изучения и систематизации диатомовых водорослей Северного Кавказа.

Авторы заявляют **об отсутствии конфликта интересов**, требующего раскрытия в данной статье.

Список литературы

1. Куликовский М.С., Глуценко А.М., Генкал С.И., Кузнецова И.В. Определитель диатомовых водорослей России. – Ярославль: Общество с ограниченной ответственностью "Филигрань", 2016. – 804 с. – ISBN 978-5-906682-72-7.
2. Салпагаров Д.С. Некоторые особенности горных озер высокогорий северо-западного Кавказа // Вестник Ставропольского государственного университета. 2003. № 34. С. 137–142.
3. Kezlya E., Tseplik N., Kulikovskiy M. Genetic Markers for Metabarcoding of Freshwater Microalgae: Review // *Biology*. 2023. V.12, №7. ID 1038. DOI: <https://doi.org/10.3390/biology12071038>
4. Rimet F., Gusev E., Kahlert M., Kelly M., Kulikovskiy M., Maltsev Y., Mann D., Pfannkuchen M., Trobajo R., Vasselon V., Zimmermann J., Bouchez A. Diat. barcode, an open-access curated barcode library for diatoms // *Sci. Rep.* 2019. V.9. ID 15116.

Статья поступила в редакцию 18.06.2025; поступила после доработки 29.07.2025; принята к публикации 28.08.2025

Сведения об авторах

Кулаков Вячеслав Сергеевич – Северо-Кавказский федеральный университет, Россия, Ставрополь (North-Caucasus Federal University, Russia, Stavropol); kuth87@mail.ru.

Кухарук Максим Юрьевич – к.б.н., зав. каф. ботаники, физиологии и биохимии растений, Северо-Кавказский федеральный университет, Россия, Ставрополь (North-Caucasus Federal University, Russia, Stavropol); kuth87@mail.ru; ORCID – <https://orcid.org/0000-0003-4093-5807>; SPIN-код 4343-9170.

Корреспондентский адрес: Россия, 355017, Ставрополь, ул. Пушкина, 1, СКФУ, тел. (8652) 33-06-60, доб. 51-05.

Materials on the diatom flora of high-mountain rivers in the Karachay-Cherkess Republic

Vyacheslav S. Kulakov, Maksim J. Kukharuk

North-Caucasus Federal University (Russia, Stavropol)

A study was conducted on samples of planktonic and benthic diatoms collected in October 2024 from the high-mountain lakes Kara-Köl and Tumanly-Köl (Karachay-Cherkess Republic). Eight pure cultures were isolated and processed, and their genotyping was performed.

Key words: Diatoms; sediments; high-mountain lakes; Kara-Köl; Tumanly-Köl

References

1. Kezlya E., Tseplik N., Kulikovskiy M. Genetic Markers for Metabarcoding of Freshwater Microalgae: Review. *Biology*. 2023. V.12, №7. ID 1038. DOI: <https://doi.org/10.3390/biology12071038>
2. Kulikovskiy M.S., Glushchenko A.M., Genkal S.I., Kuznetsova I.V. Determinant of Russian diatoms. Filigree Limited Liability Company, Yaroslavl, 2016. 804 p. (In Russ.)
3. Rimet F., Gusev E., Kahlert M., Kelly M., Kulikovskiy M., Maltsev Y., Mann D., Pfannkuchen M., Trobajo R., Vasselon V., Zimmermann J., Bouchez A. Diat. barcode, an open-access curated barcode library for diatoms. *Sci. Rep.* 2019. V.9. ID 15116.
4. Salpagarov D.S. Some features of mountain lakes in the highlands of the Northwest Caucasus. *Bulletin of Stavropol State University*. 2003. No. 34. pp. 137–142. (In Russ.)

ССЫЛКА НА СТАТЬЮ:

Кулаков В.С., Кухарук М.Ю. Материалы к флоре диатомовых водорослей высокогорных рек Карачаево-Черкесской Республики // Вопросы современной альгологии. 2025. № 1 (37). Р. 109–111. URL: <http://algology.ru/2138>

Kulakov V.S., Kukharuk M.J. Materials on the diatom flora of high-mountain rivers in the Karachay-Cherkess Republic. *Voprosy sovremennoi algologii (Issues of modern algology)*. 2025. № 1 (37). Р. 109–111. URL: <http://algology.ru/2138>

DOI – [https://doi.org/10.33624/2311-0147-2025-1\(37\)-109-111](https://doi.org/10.33624/2311-0147-2025-1(37)-109-111); EDN – YEKPJP

Диатомовые комплексы в отложениях долины р. Камчатки: предварительные результаты изучения

Sedimentary diatom assemblages in the valley of the river Kamchatka: preliminary results of the study

Лудикова А.В.

Anna V. Ludikova

Институт озераедения РАН – СПб ФИЦ РАН (Санкт-Петербург, Россия)

Получены предварительные результаты диатомового анализа поверхностного слоя отложений долины р. Камчатки. В составе диатомовых комплексов отмечены как таксоны, характерные для слабопроточных условий, так и виды, приспособленные к высоким скоростям течения, а также планктонные и аэрофильные диатомеи. Диатомовые комплексы в изученных отложениях, по-видимому, представляют собой интегрированную характеристику обстановок высокой воды, ее спада и перехода к субаэральным условиям.

Ключевые слова: диатомовый анализ; аллювиальные отложения; полуостров Камчатка

Изучение диатомовых комплексов из современных отложений дает ключ к пониманию условий осадконакопления в прошлом. Формирование диатомовых комплексов в аллювиальных отложениях в значительной степени обусловлено скоростями течения и уровнем воды в реке, изменения которых приводят к смене не только состава осадков, но и видового и количественного состава диатомового комплекса (Алешинская, 1968). Актуальность данного исследования обусловлена необходимостью уточнения происхождения мощных толщ рыхлых осадков в долине р. Камчатки.

Пробы отбирали на двух участках в среднем течении р. Камчатки (рис. 1) в 1-й декаде августа 2023 г. Река в среднем течении имеет равнинный характер, ширина русла в межень составляет до 150–200 м, ширина пояса меандрирования достигает 7,7 км (Опасные..., 2014). Половодье на р. Камчатке начинается в конце апреля – начале мая и достигает наибольшей величины в конце июня – начале июля. Спад половодья продолжается до конца августа (Ресурсы..., 1973).

Выполнен диатомовый анализ поверхностного слоя отложений прирусловых отмелей, прирусловых валов, эфемерных водоемов на прирусловых отмелях, низкой поймы, прибрежного мелководья р. Камчатки. Был также отобран образец из толщи «синих глин» (ок. 5 м над урезом воды в реке), которые в разных исследованиях классифицируются как озерные или пойменно-старичные отложения (Певзнер и др., 2019). Их возраст составляет ок. 320–300 тыс. л.н. (Зеленин и др., 2022).



Рис. 1. Местоположение изученных участков (прямоугольники) в среднем течении р. Камчатки.

Fig. 1. The location of the studied areas (rectangles) in the middle reaches of the Kamchatka River.

Отложения в основном представлены алевритовыми песками с различным содержанием органического детрита. Осадки эфемерных водоемов имеют более тонкую размерность.

Видовой состав диатомовых комплексов изученных проб достаточно близок. Практически во всех пробах многочисленны мелкоклоточные обрастатели семейства *Fragilariaceae* (*Staurosira venter*, *Staurosirella pinnata* и др.), как правило, массово развивающиеся в спокойных гидродинамических обстановках. Среди характерных бентосных таксонов следует отметить обрастателей *Encyonema silesiacum*, *Gomphonema* spp., приспособленных к проточным условиям. Облигатные реофилы, предпочитающие высокую аэрацию воды и способные удерживаться на субстрате при высоких скоростях течения, представлены видами *Hannaea arcus* et f. *recta*, *Odontidium mesodon*, *Meridion circulare*, *M. constrictum*. Они встречаются как в отложениях прирусловой отмели, так и в пробах подводного субстрата. Среди подвижных бентосных диатомей наиболее часто отмечаются различные виды *Navicula sensu lato*, *Nitzschia* spp., *Surirella* spp. Планктонные диатомеи представлены видами *Aulacoseira subarctica*, *A. crenulata/italica*,

Cyclotella spp. (sensu lato) и *Stephanodiscus* spp., и в целом немногочисленны. Исключением являются пробы с поверхности низкой поймы и из толщи «синих глин», где эти таксоны отмечаются гораздо чаще. В большинстве образцов в составе диатомовых комплексов в небольшом количестве присутствуют аэрофильные диатомеи (*Hantzschia amphioxys*, *Pinnularia borealis* и др.). Предварительные результаты диатомового анализа отложений в долине р. Камчатки позволяют говорить о том, что формирующиеся в них диатомовые комплексы, по-видимому, представляют собой интегрированную характеристику обстановок высокой воды, ее спада и перехода к субаэральным условиям.

Работа выполнена в рамках темы Госзадания ИНОЗ РАН – СПб ФИЦ РАН № FFZF-2024-0002.

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

Список литературы

1. Алешинская З.В. Диатомеи в аллювиальных отложениях Енисея // Ископаемые диатомовые водоросли СССР. М.: Наука, 1968. С. 88–92.
2. Зеленин Е.А., Пономарева В.В., Портнягин М.В., Певзнер М.М., Дирксен О.В., Федоров Г.Б., Мустафин М.А. Палеозера Центральной Камчатской депрессии в среднем и позднем плейстоцене // Вулканизм и связанные с ним процессы: материалы XXV научн. конф. (Петропавловск-Камчатский, 30–31 марта 2022 г.). – Петропавловск-Камчатский, 2022. – С. 99–102.
3. Опасные русловые процессы и среда обитания лососёвых рыб на Камчатке / Под ред. С. Р. Чалова, В. Н. Лемана, А. С. Чаловой. – М.: Изд-во ВНИРО, 2014. – 240 с.
4. Певзнер М.М., Каримов Т.Д., Нечушкин Р.И. Толща «синих глин» Центральной Камчатки: возраст и проблема происхождения Камчатки // Вулканизм и связанные с ним процессы: материалы XXII научн. конф. (Петропавловск-Камчатский, 28–29 марта 2019 г.). – Петропавловск-Камчатский, 2019. – С. 102–105.
5. Ресурсы поверхностных вод СССР. Т.20. Камчатка. / Под ред. М.Г. Васильковского. – Л.: Гидрометиздат, 1973. – 367 с.

Статья поступила в редакцию 18.06.2025; поступила после доработки 09.07.2025; принята к публикации 28.08.2025

Сведения об авторах

Лудикова Анна Валерьевна – к.г.н., с.н.с., Институт озераведения РАН – СПб ФИЦ РАН, Россия, Санкт-Петербург (Institute of Limnology, RAS, Russia, St. Petersburg), Лаборатория географии и гидрологии; ellerbeckia@yandex.ru; ORCID – <https://orcid.org/0000-0001-6022-2455>; SPIN-код 9657-4285.

Корреспондентский адрес: Россия, 196105, Санкт-Петербург, ул. Севастьянова, 9, Институт озераведения РАН – СПб ФИЦ РАН, тел. (812) 387-02-60.

Sedimentary diatom assemblages in the valley of the river Kamchatka: preliminary results of the study

Anna V. Ludikova

Institute of Limnology, RAS (Russia, St. Petersburg)

Preliminary results of the diatom study of the surface sediments layer in the River Kamchatka Valley are discussed. The diatom assemblages include both taxa characteristic of low-energy environments and species adapted to high flow rates as well as planktonic and aerophilous diatoms.

Diatom assemblages in the studied sediments apparently represent an integrated characteristic of spring flood environments, decline of the flood, and the transition to subaerial conditions.

Key words: diatom analysis; alluvial sediments; Kamchatka Peninsula

References

1. Alyoshinskaya Z.V. Diatoms in the alluvial deposits of the Yenisei. *In: Fossil diatoms of the USSR*. Nauka, Moscow, 1968. P. 88–92. (In Russ.)
2. Dangerous riverbed processes and salmon habitat in Kamchatka. S.R. Chalov, V.N. Leman, A.S. Chalova (Eds). VNIRO Publishing House, Moscow, 2014. 240 p. (In Russ.)
3. Pevzner M.M., Karimov T.D., Nechushkin R.I. The thickness of the “blue clays” of Central Kamchatka: the age and origin of Kamchatka. Volcanism and related processes: Proceedings of the XXII Scientific Conference (Petropavlovsk-Kamchatsky, March 28–29, 2019). Petropavlovsk-Kamchatsky, 2019. P. 102–105. (In Russ.)
4. Surface water resources of the USSR. Vol. 20. Kamchatka. M.G. Vaskovsky (Ed.). Gidrometizdat, Leningrad, 1973. 367 p. (In Russ.)
5. Zelenin E.A., Ponomareva V.V., Portnyagin M.V., Pevzner M.M., Dirksen O.V., Fedorov G.B., Mustafin M.A. Paleoozer of the Central Kamchatka Depression in the Middle and Late Pleistocene. Volcanism and related processes: Proceedings of the XXV Scientific Conference (Petropavlovsk-Kamchatsky, March 30–31, 2022). Petropavlovsk-Kamchatsky, 2022. P. 99–102. (In Russ.)

ССЫЛКА НА СТАТЬЮ:

Лудикова А.В. Диатомовые комплексы в отложениях долины р. Камчатки: предварительные результаты изучения // Вопросы современной альгологии. 2025. № 1 (37). P. 112–115. URL: <http://algology.ru/2146>

Ludikova A.V. Sedimentary diatom assemblages in the valley of the river Kamchatka: preliminary results of the study. *Voprosy sovremennoi algologii (Issues of modern algology)*. 2025. № 1 (37). P. 112–115. URL: <http://algology.ru/2146>

DOI – [https://doi.org/10.33624/2311-0147-2025-1\(37\)-112-115](https://doi.org/10.33624/2311-0147-2025-1(37)-112-115); EDN – UJMHPF

Диатомовые ценозы мелководья Юго-Восточной части Баренцева моря

Diatomaceous communities of shallow waters of the South-Eastern part of the Barents Sea

Макаревич П.Р.

Pavel R. Makarevich

Мурманский морской биологический институт РАН (Мурманск, Россия)

Представлены результаты исследований биотопического разнообразия сообществ диатомовых водорослей в пелагических, донных и ледовых ценозах юго-восточной части Баренцева моря.

Ключевые слова: диатомеи; фитопланктон; микрофитобентос; ледовая флора; Баренцево море

Основная роль в процессах новообразования органического вещества микроводорослями в арктических морях принадлежит сообществам микрофитобентоса, фитопланктона и ледовой флоры (криофлоры) (Макаревич, Дружкова, 2010). Такое биотопическое разнообразие сообществ первичных продуцентов является отличительной чертой арктических акваторий с сезонным наличием льда. В структуре этих сообществ особенно велика роль диатомовых водорослей. В морских экосистемах они, как правило, являются доминирующей группой среди планктонных и бентосных микроводорослей, и являются важнейшим звеном трофических цепей, составляя по биомассе большую часть массы всех водорослей.

На акваториях открытого шельфа глубоководной части Баренцева моря первичная продукция создается двумя компонентами сообщества продуцентов - фитопланктоном и криофлорой. Фитопланктон на незамерзающих акваториях считается фактически единственным продуцентом органического вещества, при этом планктонные диатомеи составляют по биомассе около 90% массы всех водорослей (Стрельникова, Гладенков, 2019). И только в районах прикромочной ледовой зоны существенный вклад в процессы первичного продуцирования вносит криофлора, основным компонентом которой также являются диатомовые водоросли. Период активной вегетации ледовых альгоценозов, как правило, короток, но процессы фотосинтеза в этот период очень активны. Следует отметить, что роль микрофлоры льда в создании первичного органического вещества возрастает в тех частях Баренцева моря, где биотоп для этой группы водорослей существует в течение длительного периода.

Сообщества микроводорослей прибрежных материковых экосистем Баренцева моря представлены двумя экологическими группами – фитопланктоном и

микрофитобентосом. В пелагиали максимального биоразнообразия и значений количественных показателей диатомовые достигают в весенний период вегетации, в этот сезон они являются абсолютными доминантами. Донные микроводорослевые сообщества арктического побережья представлены, в большинстве случаев, исключительно диатомовыми водорослями. При этом доминируют в сообществе пеннатные диатомеи, присутствующие в течение всего года, но в конце периода вегетации пелагических микроводорослей в пробах бентоса встречаются и типичные планктонные виды (Бондарчук, Кузнецов, 1988).

Специфичностью мелководных акваторий замерзающих морей является наличие трех сообществ микроводорослей – фитопланктон, микрофитобентос и ледовая флора. Эта особенность характерна и для мелководных участков юго-восточной части Баренцева моря, здесь присутствуют все вышеперечисленные фитоценозы.

В годовой структуре развития микроводорослевого сообщества Баренцева моря периодом, когда четко прослеживается связь во взаимодействии между пелагическими, бентосными и ледовыми сообществами диатомовых, является весенняя фаза сукцессионного цикла. Для других сезонов этот вопрос остается малоизученным.

Целью настоящей работы является исследование особенностей структуры диатомовых водорослей в пелагических, донных и ледовых ценозах юго-восточной части Баренцева моря. Изучение их взаимного влияния на процесс формирования таксономического состава альгоценозов.

Работы проводились в 2022–2023 гг. в юго-восточной части Баренцева моря. Отбор проб осуществлялся из водной толщи, верхнего слоя грунта и однолетнего молодого льда. Пробы воды отбирались батометром Нискина, пробы грунта (верхний слой ~1 см) отбирались из дночерпателя Ван-Вина, образцы льда (керны льда) были взяты в области ледовой кромки. Учет и таксономическая идентификация организмов проводились путем прямой микроскопии.

В исследованиях, проведенных летом 2023 г., одновременно отбирали пробы диатомовых из бентосного и пелагического биотопов. В сообществе микрофитобентоса доминировали пеннатные диатомовые водоросли. Общая биомасса клеток микроводорослей варьировала в диапазоне от 6,0 до 70,6 мкг/см². В структуре биомассы на отдельных станциях доминировали: *Amphiprora hyperborea* и представители рода *Pleurosigma*. В среднем по станциям доля этих диатомей составила соответственно 50 и 13% от средней общей биомассы. Кроме того, заметную долю средней общей биомассы, около 15%, формировали клетки неидентифицированных Pennales, которые при этом не доминировали ни на одной отдельной станции. Идентифицированные в донном биотопе виды диатомовых широко распространены и обычны в прибрежных морских альгоценозах и считаются представителями микрофитобентоса. И только четыре вида (*Amphiprora hyperborea*, *Chaetoceros diadema*, *Fragilariopsis oceanica* и *Pseudo-nitzschia delicatissima*) – планктонные формы, характерные для весеннего периода, с максимумом развития в пелагиали Баренцева моря в апреле–мае. Для бентосного сообщества эти виды являются аллохтонным компонентом, непосредственно привнесенным из водной толщи; в донных биотопах они проводят часть жизненного цикла, связанную с переживанием неблагоприятных условий зимнего периода.

Таксономический состав и уровни обилия диатомовых водорослей в пелагиали в районе исследований соответствовали показателям, характерным для фитоценозов летнего периода сукцессионного цикла. Основу сообщества диатомовых составили водоросли *Paralia sulcata* и *Chaetoceros* sp. Высокие биомассы в ряде случаев были связаны с присутствием в пелагиали редких крупноклеточных видов (напр. *Rhizosolenia setigera arctica*). В целом относительная численность и биомасса диатомовых в сообществе превышала 90%. Их общая численность изменялась от 0 до 9 тыс. кл./л при биомассе от 0 до 55 мкг/л.

Сравнительный анализ двух ценозов показал, что в поверхностном слое грунта численность клеток и максимальная концентрация общей биомассы выше на 2 и более порядков, чем в пелагиали. Достоверно для пелагиали и бентали отмечены два общих вида – *Paralia sulcata* и *Nitzschia longissima*. Для бентосного и пелагического биотопа коэффициент Жаккара на всех станциях отбора проб не превышал 10%. Таким образом, можно заключить, что окончание весеннего цветения пелагических диатомовых микроводорослей не оказало существенного влияния на таксономический состав сообщества фитобентоса.

Исследования в марте 2022 г. проводились в зоне ледовой кромки в полях молодого сезонного льда. Отбор проб на диатомовый анализ проводился из пелагического и ледового биотопов в одних географических координатах и в одном временном интервале. Ранневесенний сезон был выбран нами, чтобы исключить влияние на структуру фитоценозов механического опускания водорослей из ледового биотопа в пелагиаль во время весеннего таяния льда.

Комплекс ледовой флоры в период исследований характеризовался низким таксономическим разнообразием и был представлен исключительно представителями пеннатных диатомей родов *Navicula*, *Cocconeis*, *Grammatophora*, их численность не превышала 2,5 тыс. кл./л. В пелагиали было зафиксировано сообщество с более высоким таксономическим разнообразием, представленным центрическими (представители родов *Thalassiosira* и *Chaetoceros*) и пеннатными диатомовыми (родов *Navicula*, *Nitzschia Gyrosigma*, *Cyclotella*) с общей численностью 0,5 тыс. кл./л. Споры диатомовых были найдены только в подледной пелагиали. Общая картина состояния пелагического и ледового фитоценозов характеризовалась невысокими уровнями видового разнообразия и количественного развития, несовпадением состава доминирующих комплексов и низким коэффициентом видового сходства диатомей в ледовом биотопе и пелагиали – коэффициент Жаккара составлял 5%. Следовательно, можно заключить, что пелагическое сообщество диатомовых водорослей содержит другой, кардинально отличающийся от сообщества морского льда таксономический состав с доминированием центрических форм.

Таким образом, проведенная синхронная альгологическая съемка ледовых, пелагических и бентосных диатомовых ценозов на акваториях юго-восточной части Баренцева моря показала достоверные различия в таксономическом составе исследуемых сообществ водорослей. Альгоценозы существуют относительно автономно, а основными факторами, формирующими структуру сообществ, являются абиотические условия среды обитания.

Работа выполнена в рамках госзадания ММБИ РАН № 124013000709-9.

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

Список литературы

1. Бондарчук Л.Л., Кузнецов Л.Л. Сезонная динамика диатомовой флоры верхней сублиторали Баренцева моря // Новости систематики низших растений. 1988. Т.25. С. 27–31.
2. Макаревич П.Р., Дружкова Е.И. Сезонные циклические процессы в прибрежных планктонных альгоценозах северных морей. – Ростов н/Д: ЮНЦ РАН, 2010. – 280 с.
3. Стрельникова Н.И., Гладенков А.Ю. Диатомовые водоросли и их использование в стратиграфических и палеогеографических исследованиях // Вопросы современной альгологии. 2019. №2(20). С. 1–38. DOI: [https://doi.org/10.33624/2311-0147-2019-2\(20\)-1-38](https://doi.org/10.33624/2311-0147-2019-2(20)-1-38).

Статья поступила в редакцию 18.06.2025; поступила после доработки 08.08.2025; принята к публикации 28.08.2025

Сведения об авторе

Макаревич Павел Робертович – д.б.н., профессор, г.н.с., Мурманский морской биологический институт РАН, Россия, Мурманск (Murmansk Marine Biological Institute, RAS, Russia, Murmansk); makarevich@mmbi.info; ORCID – <https://orcid.org/0000-0002-7581-862X>; SPIN-код 1870-7320.

Корреспондентский адрес: Россия, 183010, Мурманск, ул. Владимирская, д. 17, ММБИ РАН, тел. (8152) 25-06-96.

Diatomaceous communities of shallow waters of the South-Eastern part of the Barents Sea

Pavel R. Makarevich

Murmansk Marine Biological Institute, RAS (Russia, Murmansk)

The results of studies of the biotopic diversity of diatom communities in pelagic, bottom and ice communities of the southeastern part of the Barents Sea are presented.

Key words: Diatoms; phytoplankton; microphytobenthos; ice flora; Barents Sea

References

1. Bondarchuk L.L., Kuznetsov L.L. Seasonal dynamics of the diatom flora of the upper sublittoral of the Barents Sea. *Lower plant taxonomy news*. 1988. V.25. P. 27–31.
2. Makarevich P.R., Druzhkova E.I. Seasonal cyclic processes in coastal planktonic algocenoses of the Northern seas. SSC RAS, Rostov on the Don, 2010. 280 p.
3. Strelnikova N.I., Gladenkov A.Yu. Diatoms and their application in stratigraphic and paleogeographic studies. *Voprosy sovremennoi algologii (Issues of modern algology)*. 2019. №2(20). P. 1–38. URL: <http://algology.ru/1486>. DOI – [https://doi.org/10.33624/2311-0147-2019-2\(20\)-1-38](https://doi.org/10.33624/2311-0147-2019-2(20)-1-38)

ССЫЛКА НА СТАТЬЮ:

Макаревич П.Р. Диатомовые ценозы мелководья Юго-Восточной части Баренцева моря // Вопросы современной альгологии. 2025. № 1 (37). P. 116–119. URL: <http://algology.ru/2147>

Makarevich P.R. Diatomaceous communities of shallow waters of the South-Eastern part of the Barents Sea. *Voprosy sovremennoi algologii (Issues of modern algology)*. 2025. № 1 (37). P. 116–119. URL: <http://algology.ru/2147>

DOI – [https://doi.org/10.33624/2311-0147-2025-1\(37\)-116-119](https://doi.org/10.33624/2311-0147-2025-1(37)-116-119); EDN – UYOLQL

Диатомовые водоросли планктона озера Воже (Вологодская область)

Diatoms of lake Vozhe plankton (Vologda region)

Макарёноква Н.Н.

Nadezhda N. Makarenkova

Вологодский филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» – ВологодНИРО (Вологда, Россия)

Озеро Воже (Вологодская область) является крупным мелководным зарастающим водоемом, промерзающим на значительной площади в зимний период. Альгологические исследования озера начались во второй половине XX в., с 2000-х гг. – носят систематический характер. Всего диатомовая флора планктона насчитывает 214 таксонов рангом ниже рода. По насыщенности видами выделяются роды *Nitzschia* Hassall, *Navicula* Bory, *Fragilaria* Lyngbye, *Pinnularia* Ehrenberg, *Ulnaria* (Kützinger) Compère и *Gomphonema* Ehrenberg. Вклад диатомовых в общее видовое богатство фитопланктона составляет 38–39%, постоянен за период наблюдений. На современном этапе биомасса диатомовых водорослей в планктоне озера в среднем равняется $1,3 \pm 0,23$ г/м³ (66% от общей). Основные доминанты из диатомовых в сообществе *Aulacoseira ambigua* (Grunow) Simonsen, *A. islandica* (O.Müller) Simonsen, *Tabellaria fenestrata* (Lyngbye) Kützinger.

Ключевые слова: диатомеи; планктон; озеро Воже, Вологодская область

На севере Вологодской области находится оз. Воже – крупный (площадь 418 км²) рыбохозяйственный водоем, который относится к бассейну р. Онеги, впадающей в Белое море. Котловина озера плоская, сильно заболоченная, с низкими берегами, имеет ледниковое происхождение. Озеро мелководно (средняя глубина 1,4 м) со значительными внутригодовыми и межгодовыми колебаниями уровня воды (Веселова, 1979). Зимой озеро на большей части своей акватории промерзает до дна. В безледный период наблюдаются интенсивное ветровое перемешивание водных масс и равномерный прогрев водной толщи. В озере интенсивно развиваются сообщества макрофитов. Воды озера относятся к гидрокарбонатному классу кальциевой группы, реакция среды нейтральная или слабощелочная. Освоенность территории водосбора, антропогенная нагрузка слабые.

Анализ диатомовой флоры проведен на основе литературных данных (Петрова, Рычкова, 1978), фондовых (2001–2010 гг.) и собственных материалов (2011–2023 гг.). Материалом для современных исследований послужили пробы фитопланктона, собранные из фотического слоя воды батометром Паталаса (1 л). Пробы фиксировались раствором Люголя с добавлением формалина, в последующем через отстаивание осуществлялась их концентрация до 25 мл. Количественная обработка и идентификация водорослей проводились с использованием камеры Нажотта (0,01 мл), микроскопа ЛОМО Микмед 6. Биомасса определялась объемно-расчетным методом, удельный вес водорослей принимался равным 1 г/м³. К категории «доминирующих»

относили виды, составляющие $\geq 10\%$ от суммарной численности и биомассы фитопланктона. Названия таксонов водорослей приведены в соответствии с системой AlgaeBase (Guiry, Guiry, 2025). Частота встречаемости / доминирования (DF) была установлена как отношение количества проб, в которых таксон встречался/доминировал, к общему количеству обработанных проб. Порядок доминирования (Dt) был рассчитан через отношение частоты доминирования к частоте встречаемости таксона.

Диатомеи, наряду с цианобактериями и хлорококковыми зелеными водорослями, являются основным компонентом альгоценоза оз. Воже (Петрова, Рычкова, 1978; Макарёнкова, 2012; Корнева и др., 2021; Лобуничева и др., 2023; Макарёнкова, 2024). За всё время наблюдений в фитопланктоне оз. Воже было зарегистрировано 214 видов и внутривидовых таксонов (ввт) диатомовых водорослей из 4 классов, 17 порядков, 31 семейства, 65 родов. Среди них наиболее разнообразно были представлены порядки Naviculales (20% от общего количества видов), Fragilariales (14%), Cymbellales (11%), и семейства Naviculaceae и Fragilariaceae (по 9%), Bacillariaceae и Surirellaceae (по 8%), Stephanodiscaceae и Achnanthidiaceae (по 6%). По насыщенности видами выделялись роды *Nitzschia* Hassall (15 ввт), *Navicula* Bory (14 ввт), *Fragilaria* Lyngbye (12 ввт), *Pinnularia* Ehrenberg, *Ulnaria* (Kützinger) Compère и *Gomphonema* Ehrenberg (по 9).

В конце прошлого столетия вклад диатомей в общее флористическое богатство фитопланктона составлял около 39% (107 ввт). К массовым формам из диатомовых водорослей относилась *Melosira ambigua* (Grunow) O.Müller (= *Aulacoseira ambigua* (Grunow) Simonsen), кроме того обильно были представлены *Asterionella formosa* Hassall, *Fragilaria capucina* Desmazières, *F. crotonensis* Kitton, *Melosira granulata* (Ehrenberg) Ralfs (= *Aulacoseira granulata* (Ehrenberg) Simonsen), *Opephora martyi* Héribaudo (= *Staurosirella martyi* (Héribaudo) Morales & Manoylov), *Tabellaria fenestrata* (Lyngbye) Kützinger. Величина биомассы диатомовых ($1,4 \text{ г/м}^3$) определяла уровень общей биомассы фитопланктона (60%). Численность диатомей в среднем равнялась $0,5 \text{ млн кл./л}$ (14%). Наименьший вклад диатомовых в структуре альгоценоза наблюдался в июле.

В 2000-х гг. по биомассе и численности из диатомовых выделялись виды родов *Aulacoseira* Thwaites (преимущественно *Aulacoseira ambigua*), *Diatoma* De Candolle, *Tabellaria* Ehrenberg, *Fragilaria*, *Asterionella* Hassall и многочисленные одиночные представители класса Pennatophyceae малой фракции (до 50 мкм). Существенных сезонных различий по биомассе диатомей не было установлено. Наибольшее влияние на количественные показатели фитопланктона диатомовые имели в мае (более 70 % биомассы), которое снижалось в июне–июле. Поздней осенью биомасса диатомовых водорослей планктона была сходна с весенней.

В 2011–2023 гг. таксономический вклад диатомей в фитопланктон оз. Воже составил 38% (142 ввт). По частоте встречаемости выделялись *Aulacoseira ambigua* (65% проб), *Aulacoseira* sp. (39%), *Aulacoseira islandica* (O.Müller) Simonsen и *Tabellaria fenestrata* (Lyngbye) Kützinger (по 35%), *Fragilaria* sp. (32%), *Ulnaria ulna* (Nitzsch) Compère, *Surirella librile* (Ehrenberg) Ehrenberg, *Nitzschia acicularis* (Kützinger) W.Smith, *Tabellaria flocculosa* (Roth) Kützinger (по 29%), *Navicula cryptocephala* Kützinger и *Nitzschia vermicularis* (Kützinger) Hantzsch (по 26%). Средняя биомасса планктонных диатомей в этот период составила $1,3 \pm 0,23 \text{ г/м}^3$, что представляет собой 66% от общей биомассы, при этом численность их клеток была равна $1,7 \pm 0,38 \text{ млн кл./л}$ (6%). Наибольшая доля диатомовых наблюдалась во время ледостава (76%) и поздней осенью (73%). К числу основных доминантов относились *Aulacoseira islandica* (DF = 53%, Dt = 100%), *Aulacoseira ambigua* (DF = 24%, Dt = 50%). Весной и летом доля диатомовой биомассы в общей снижалась до 69% и 58% соответственно. В это время увеличивалось значение зеленых водорослей (15% и 10%) и цианобактерий (5% и 17%). Среди диатомовых

доминировали преимущественно *Aulacoseira ambigua* (DF = 41%, Dt = 45%), *Tabellaria fenestrata* (DF = 27%, Dt = 38%), *Surirella librile* (DF = 14%, Dt = 50%).

Комплекс диатомовых в планктоне оз. Воже за весь период наблюдений демонстрирует постоянство своих основных параметров. Доля диатомей в общей структуре альгоценоза, их количество, сезонные вариации находятся приблизительно на одном уровне. В целом, для озера ввиду особенностей его зимне-весеннего гидрологического режима (короткий период весеннего прогревания) характерен быстрый переход к летнему комплексу видов, который сохраняется на протяжении всего вегетационного периода. Одним из его основных представителей является *Aulacoseira ambigua*. В настоящее время летний состав доминантов дополнился *Surirella librile*. За счет охвата подледного периода в последних исследованиях в сообществе была выявлена существенная роль *Aulacoseira islandica*.

Работа выполнена в рамках государственного задания № 076-00001-24-01.

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

Список литературы

1. Веселова М.Ф. Природные условия бассейна озер // Малинина Т.И. (ред.). Гидрология озер Воже и Лача. – Л.: Наука, 1979. – С. 3–18.
2. Корнева Л.Г., Митропольская И.В., Макарёнкова Н.Н., Цветков А.И. Структура и динамика фитопланктона больших мелководных зарастающих озер (Воже и Лача, Вологодская и Архангельская области, Россия) // Труды Института биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН. 2021. Вып. 94 (97). С. 17–29. DOI: <https://doi.org/10.47021/0320-3557-2021-17-29>
3. Лобуничева Е.В., Макарёнкова Н.Н., Филоненко И.В., Ивичева К.Н., Литвин А.И., Думнич Н.В. Современное состояние планктона и бентоса крупных рыбохозяйственных водоемов Вологодской области // Трансформация экосистем. 2023. Т.6, №4. Р. 33–63. DOI: <https://doi.org/10.23859/estr-230410>
4. Макарёнкова Н.Н. Изменение фитопланктона озера Воже как показатель его эвтрофирования // Актуальные проблемы биологии и экологии: материалы докл. XIX Всерос. мол. конф. (Сыктывкар, 2–6 апр. 2012 г.). – Сыктывкар, 2012. – С. 153–155.
5. Макарёнкова Н.Н. Сезонная изменчивость фитопланктона крупного мелководного озера Воже (Вологодская область) в 2016–2023 гг. // Водоросли: проблемы таксономии и экологии, использование в мониторинге и биотехнологии: материалы докл. VII Всерос. конф. (Владивосток, 16–20 сент. 2024 г.). – Владивосток, 2024. – С. 76.
6. Петрова Н.А., Рычкова М.А. Состав альгофлоры озер Воже и Лача // Распопов И.М. (ред.). Гидробиология озер Воже и Лача. – Л.: Наука, 1978. С. 64–86.
7. Guiry M.D., Guiry G.M. AlgaeBase. World-wide electronic publication, University of Galway. 2025. <http://www.algaebase.org> (дата обращения: 01.06.2025).

Статья поступила в редакцию 18.06.2025; поступила после доработки 21.07.2025; принята к публикации 28.08.2025

Сведения об авторах

Макарёнкова Надежда Николаевна – ст. специалист, Вологодский филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии» – ВологодНИРО, Россия, Вологда (Vologda Branch of Russian Federal Research Institute Of Fisheries and Oceanography, Russia, Vologda); mackarenckowa@yandex.ru; ORCID – <https://orcid.org/0000-0001-8917-0150>; SPIN-код 2266-7870.

Корреспондентский адрес: Россия, 160012, Вологда, ул. Левичева, д. 5, Вологодский филиал ВНИРО, тел. (8172) 75-39-47.

Diatoms of lake Vozhe plankton (Vologda region)

Nadezhda N. Makarenkova

Vologda Branch of Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography (Russia, Vologda)

Lake Vozhe (Vologda region) is a large shallow overgrown reservoir that freezes over a large area in winter. Algological studies of the lake began in the second half of the 20th century and have been systematic since the 2000s. In total, the diatom flora of plankton includes 214 taxa of rank below genus. The genera *Nitzschia* Hassall, *Navicula* Bory, *Fragilaria* Lyngbye, *Pinnularia* Ehrenberg, *Ulnaria* (Kützinger) Compère и *Gomphonema* Ehrenberg are distinguished by their abundance of species. The contribution of diatoms to the total species richness of phytoplankton is 38–39%, constant over the observation period. At the present stage, the biomass of diatoms in the lake's plankton averages $1.3 \pm 0.23 \text{ g/m}^3$ (66% of the total). The main diatom dominants in the community are *Aulacoseira ambigua* (Grunow) Simonsen, *A. islandica* (O.Müller) Simonsen, *Tabellaria fenestrata* (Lyngbye) Kützinger.

Key words: Diatoms; plankton; Lake Vozhe, Vologda region

References

1. Guiry M.D., Guiry G.M. 2025. AlgaeBase. World-wide electronic publication, University of Galway. <http://www.algaebase.org> (date: 01.06.2025).
2. Korneva L.G., Mitropolskaya I.V., Makarenkova N.N., Tsvetkov A.I. Structure and dynamics of phytoplankton of large shallow-water overground lakes (Vozhe and Lacha, Vologda and Arkhangelsk Regions, Russia). *Trudy Instituta biologii vnutrennih vod im. I.D. Papanina RAN [Proceedings of the Papanin Institute of Biology of Inland Waters of the Russian Academy of Sciences]*. 2021. Is. 94. DOI: <https://doi.org/10.47021/0320-3557-2021-17-29> (In Russ.)
3. Lobunicheva E.V. Makarenkova N.N., Filonenko I.V., Ivicheva K.N., Litvin A.I., Dumnich N.V. Modern state of plankton and benthos of large fishery water bodies in Vologda region. *Ecosystem Transformation*. 2023. V.6. № 4. P. 33–63. DOI: <https://doi.org/10.23859/estr2304106> (In Russ.)
4. Makarenkova N.N. Phytoplankton change in Lake Vozhe as an indicator of its eutrophication. Actual problems of biology and ecology of the year: towards a material: Proceedings of XIX CENTURY has grown. other stuff. conf. (Syktyvkar, April 2–6, 2012). Syktyvkar, 2012. P. 153–155. (In Russ.)
5. Makarenkova N.N. Seasonal variability of phytoplankton of the large shallow lake Vozhe (Vologda region) in 2016–2023. Algae: problems of taxonomy and ecology, use in monitoring and biotechnology: Proceedings of the VII All-Russian Conference (Vladivostok, September 16–20, 2024). Vladivostok, 2024. P. 76. (In Russ.)
6. Petrova N.A., Rychkova M.A. Composition of algoflora of lakes Vozha and Lacha. In: Raspopov I.M. (ed.). Hydrobiology of lakes Vozhe and Lacha. Nauka, Leningrad, 1978. P. 64–86. (In Russ.)
7. Veselova M.F. Natural conditions of the lake basin. In: Malinina T.I. (Ed.). Hydrology of lakes Vozhe and Lacha. Nauka, Leningrad, 1979. P. 3–18. (In Russ.)

ССЫЛКА НА СТАТЬЮ:

Макарёноква Н.Н. Диатомовые водоросли планктона озера Воже (Вологодская область) // Вопросы современной альгологии. 2025. № 1 (37). P. 120–123. URL: <http://algology.ru/2148>

Makarenkova N.N. Diatoms of lake Vozhe plankton (Vologda region). *Voprosy sovremennoi algologii (Issues of modern algology)*. 2025. № 1 (37). P. 120–123. URL: <http://algology.ru/2148>

DOI – [https://doi.org/10.33624/2311-0147-2025-1\(37\)-120-123](https://doi.org/10.33624/2311-0147-2025-1(37)-120-123); EDN – QSRRJM

Диатомовые водоросли эпилитона оз. Иткуль (Республика Хакасия)

Epilithic diatom algae of lake Itkul (Republic of Khakassia)

Макеева Е.Г.^{1,2}, Михайлина Н.Р.²

Evgeniia G. Makeeva, Nelli R. Mikhajlina

¹Государственный природный биосферный заповедник «Хакасский» (Абакан, Россия)

²Хакасский государственный университет им. Н.Ф. Катанова (Абакан, Россия)

Таксономическое разнообразие эпилитных диатомовых в оз. Иткуль составляет 119 видов (123 видовых и внутривидовых таксона). Ведущие семейства и роды: Cymbellaceae, Naviculaceae, Bacillariaceae, Gomphonemataceae, Achnanthidiaceae, Mastogloiaceae, Rhopalodiaceae, Ulnariaceae; *Navicula*, *Nitzschia*, *Cymbella*, *Gomphonema*, *Mastogloia*, *Epithemia*. В период 2023–2024 гг. доминировали *Mastogloia lacustris*, *Achnanthidium minutissimum*, *Gomphonema acuminatum* var. *longiceps*, *Meridion circulare*, *Cymbella helvetica*.

Ключевые слова: диатомеи; эпилитон; озеро Иткуль; Хакасия

Оз. Иткуль – пресный водоем, площадь акватории 23,25 км². Озерная котловина имеет тектоническое происхождение. Суммарное содержание растворенных солей – 0,6–0,7 г/л. Воды озера слабощелочные, гидрокарбонатные натриево-магниевые. Основными притоками являются р. Карыш, ручьи Карасук (Харасуг) и Шел-Сух, вытекает руч. Тушинский (Тушининский), периодически пересыхающий. Ранее считалось, что в сухие годы озеро становится бессточным (Природный комплекс..., 2010), однако в результате последних исследований водного баланса озера его нельзя признать бессточным водоемом вследствие значительного оттока воды и растворенных в ней солей по русловой сети в р. Туим и фильтрационного потока в оз. Шира (Гусева, Савичев, 2016). Западный и юго-западный берега озера заболочены.

Первые исследования эпилитона оз. Иткуль проведены Т.Г. Поповой (1946) в летний период 1934 г. во время рекогносцировочного гидробиологического обследования водоемов Хакасии. Автор отмечала, что камни имеют своеобразную флору, состоящую главным образом из диатомовых – *Achnanthidium minutissimum* (Kützing) Czarnecki, *A. biasolettianum* (Grunow) Lange-Bertalot, *Encyonopsis microcephala* (Grunow) Krammer, *Cymbella parva* (W. Smith) Kirchner, *Epithemia argus* (Ehrenberg) Kützing, *E. sorex* Kützing, *Gomphonella olivacea* (Hornemann) Rabenhorst, *Nitzschia frustulum* (Kützing) Grunow, *N. pusilla* Grunow и др., количество видов в обрастаниях камней не указано. В период 2006–2009 гг. во время флористического исследования озера в эпилитоне зарегистрировано 66 видовых и внутривидовых таксонов диатомовых водорослей (Природный комплекс..., 2010). В основной комплекс ведущих форм на каменистых субстратах входили: *Gomphonella olivacea*, *Mastogloia lacustris*

(Grunow) Grunow, *Gomphonema acuminatum* var. *longiceps* (Ehrenberg) N. Abarca & R. Jahn, содоминировали *Diatoma tenuis* C. Agardh, *Cymbella affinis* Kützing, *C. helvetica* Kützing.

Пробы эпилимниона для настоящего исследования собирали с июня по сентябрь 2023 г., с мая по сентябрь в 2024 г. на станциях отбора проб, расположенных вдоль северного, восточного и южного берегов озера. Для изготовления постоянных препаратов в 2023 г. использовали метод сжигания проб смесью концентрированной серной кислоты и бихромата калия, в 2024 г. – перекисью водорода (Баринаева, 2018), препараты готовили на среде Эльяшева. Определение проводили при помощи светового микроскопа «Olympus CX41», учитывая относительное обилие по шкале Стармаха. Названия таксонов приведены согласно базе данных AlgaeBase (Guiry, Guiry, 2025).

В 2023–2024 гг. в эпилимнионе оз. Иткуль нами выявлено 119 видов (123 видовых и внутривидовых таксона) диатомовых водорослей, относящихся к 2 классам, 13 порядкам, 25 семействам, 48 родам. По разнообразию выделялись семейства Cymbellaceae (15 видовых и внутривидовых таксонов), Naviculaceae (14), Bacillariaceae (12), Gomphonemataceae (10), Achnanthidiaceae (8), Mastogloiaceae (8), Rhopalodiaceae (8), Ulnariaceae (7). В спектр ведущих родов входили *Navicula* (12), *Nitzschia* (9), *Cymbella* (7), *Gomphonema* (7), *Mastogloia* (6), *Epithemia* (6). В этот период доминировали *Mastogloia lacustris* и *Achnanthidium minutissimum*, в 2023 г. в число доминантов также входил *Meridion circulare* (Greville) C. Agardh (содоминировали *Cymbella affinis*, *C. helvetica*, *Fragilaria amphicephaloides* Lange-Bertalot, *Odontidium hyemale* (Roth) Kützing), в 2024 г. – *Cymbella helvetica* и *Gomphonema acuminatum* var. *longiceps* (содоминанты – *Navicula capitatoradiata* H. Germain ex Gasse и *N. radiosa* Kützing). С 2006 г. *Mastogloia lacustris* сохраняла доминирующие позиции и высокую активность. Диатомея *Gomphonella olivacea*, напротив, стала встречаться реже и вышла из состава доминантов, в то время как в 2006–2009 гг. мы отмечали данный вид в виде слизистого налета на камнях до 2 см. Смена части видов доминирующего комплекса могла произойти в результате колебания уровня воды озера (Макеева, Михайлина, 2024).

К 2024 г. выявлен 31 вид, разновидность и форма диатомовых водорослей, новых для оз. Иткуль, среди них: *Cymbella stuxbergii* (Cleve) Cleve, *Encyonema leibleinii* (C. Agardh) W.J. Silva, R. Jahn, T.A.V. Ludwig & M. Menezes, *Fragilariforma virescens* (Ralfs) D.M. Williams & Round, *Eucocconeis quadratarea* (Østrup) Lange-Bertalot, *Eunotia exigua* (Brébisson ex Kützing) Rabenhorst, *E. tenella* (Grunow) Hustedt, *Frustulia crassinervia* (Brébisson ex W. Smith) Lange-Bertalot & Krammer, *Gomphonema subclavatum* (Grunow) Grunow, *G. truncatum* Ehrenberg, *Hannaea arcus* (Ehrenberg) R.M. Patrick, *H. inaequidentata* (Lagerstedt) Genkal & Kharitonov, *Lindavia antiqua* (W. Smith) Nakov, Guillory, M.L. Julius, E.C. Theriot & A.J. Alverson, *Pinnularia decrescens* (Grunow) Krammer, *Psammothidium kryophilum* (J.B. Petersen) E. Reichardt, *Psammothidium marginulatum* (Grunow) Bukhtiyarova & Round, *Gyrosigma attenuatum* (Kützing) Rabenhorst и др., все они относились к неактивным таксонам (с частотой встречаемости менее 5%).

В группу особо активных видов (с показателем встречаемости 81–100%) вошли *Mastogloia lacustris*, *Achnanthidium minutissimum*, *Encyonopsis microcephala*, *Navicula capitatoradiata*, *N. radiosa*; высокоактивных (61–80%): *Epithemia gibba* (Ehrenberg) Kützing, *Pantocsekiella ocellata* (Pantocsek) K.T. Kiss & Ács, *Cymbella helvetica*, *Reimeria sinuata* (W. Gregory) Kociolek & Stoermer, *Navicula cryptocephala* Kützing, *N. veneta* Kützing, *Nitzschia sublinearis* Hustedt.

Данные по соотношению экологических групп диатомовых водорослей, обнаруженных в озере, соответствуют гидрофизическим и гидрохимическим параметрам водоема (проточность, повышенная минерализация относительно других пресных озер Хакасии, значительное ветровое перемешивание, высокая прозрачность вод). В эпилимнионе оз. Иткуль преобладают бентосные виды (53–57%, диапазон здесь и далее указан для двух лет исследования – 2023–2024 гг.) и планктонно-бентосные виды

(37–38%). Для озера характерны виды, предпочитающие воды умеренной текучести 55–57%. Среди индикаторов температурных условий преобладают виды умеренного температурного режима (46,9–52%). Подавляющее большинство эпилитных диатомовых водорослей индифферентно в отношении минерализации воды (65–73%). Количество галофильных видов изменялось от 9,4% в 2023 г. до 21,5% в 2024 г. Особенностью озера является присутствие в обрастаниях мезогалобных видов (6,3%). Так как воды оз. Иткуль являются слабощелочными, в эпилите преобладают алкалофильные виды (56–62%), индифференты составляют 25–31% от общего числа таксонов. Спектр групп водорослей оз. Иткуль по отношению к органическому загрязнению достаточно широк (от ксеносапробионтов до альфамезосапробионтов), с преобладанием олигосапробионтов (19–25%) и бетамезосапробионтов (20–21%).

Таксономическая структура и основной состав доминирующего комплекса диатомовых эпилитона в 2023–2024 гг. в целом сходны с предыдущими наблюдениями. Однако изменение гидрологического режима водоема, связанное с резким поднятием уровня воды в 2021 г. привело к появлению в озере новых строго пресноводных видов, предпочитающих воды, со значением рН ниже 7. По данным гидропоста оз. Иткуль с 2022 г. по 2024 г. наблюдалось снижение уровня воды (величина достоверности аппроксимации 0,63). Водоросли реагируют даже на незначительные изменения гидрологических параметров. По сравнению с 2023 г. в летние месяцы 2024 г. было отмечено снижение уровня воды на 2 см и повышение среднего значения температуры поверхностного слоя воды на 2,28°C, что привело к уменьшению числа видов, предпочитающих текучие воды – на 7,7%, холодолюбивых видов – на 5%. Количество галофобных видов сократилось на 8%, а галофильных возросло на 12%. В 2024 г. увеличилось число алкалофильных видов на 6%, уменьшилось ацидофильных на 5% и совсем исчезли ацидобионты. Появление в 2023 г. ацидобионтных и развитие ацидофильных видов возможно связано с миграцией с заболоченного западного берега дерновин *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud. с которыми могли быть занесены эти виды. В 2024 г. такого явления не отмечали.

Авторы заявляют **об отсутствии конфликта интересов**, требующего раскрытия в данной статье.

Список литературы

1. Баранова С.С. Простой метод подготовки постоянных препаратов диатомовых и оценка обилия микроводорослей в целях биоиндикации // Водные биоресурсы и среда обитания. 2018. Т. 1. № 3–4. С. 56–62. DOI: https://doi.org/10.47921/2619-1024_2018_1_3-4_56
2. Гусева Н.В., Савичев О.Г. Гидрохимический баланс системы озер Иткуль – Шира (Хакасия, Российская Федерация) // Сибирский экологический журнал. 2016. Т. 23, № 5. С. 718–728. DOI: <https://doi.org/10.15372/SEJ20160509>
3. Макеева Е.Г., Михайлина Н.Р. Таксономическое разнообразие диатомовых водорослей эпилитона оз. Иткуль (Республика Хакасия) // Проблемы ботаники Южной Сибири и Монголии. 2024. Т. 23, №2. С. 227–230. DOI: <https://doi.org/10.14258/pbssm.2024095>. URL: <https://journal.asu.ru/bpssm/article/view/pbssm.2024095> (дата обращения: 26.03.2025).
4. Попова Т.Г. К познанию альгофлоры водоемов северной Хакасии. Ч. I. Альгофлора водоемов Ширинской (Качинской) степи // Изв. Зап.-Сиб. филиала АН СССР. Сер. биол. 1946. №1. С. 41–72.
5. Природный комплекс и биоразнообразие участка «Озеро Иткуль» заповедника «Хакасский» / Под ред. В.В. Непомнящего. – Абакан: Хакасское книжное изд-во, 2010. – 418 с.
6. Guiry M.D., Guiry G.M. AlgaeBase. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway. 2025. <http://www.algaebase.org> (дата обращения: 26.03.2025).

Статья поступила в редакцию 18.06.2025; поступила после доработки 08.08.2025; принята к публикации 28.08.2025

Сведения об авторах

Макеева Евгения Геннадьевна – к.б.н., с.н.с., Государственный природный биосферный заповедник «Хакасский», Россия, Абакан (Khakassky State Nature Reserve, Russia, Abakan); доцент,

Хакасский государственный университет им. Н.Ф. Катанова, Россия, Абакан (Katanov Khakassky State University, Russia, Abakan), каф. биологии Института естественных наук и математики; meg77@yandex.ru; ORCID – <https://orcid.org/0000-0002-2445-2429>; SPIN-код 1058-0103.

Михайлина Нелли Романовна – Хакасский государственный университет им. Н.Ф. Катанова, Россия, Абакан (Katanov Khakassky State University, Russia, Abakan); monro_0404@mail.ru; ORCID – <https://orcid.org/0009-0001-1593-3554>; SPIN-код 1334-9782.

Корреспондентский адрес: Россия, 655017, Абакан, ул. Цукановой, д. 164, Государственный природный биосферный заповедник «Хакасский», тел. (3902) 35-22-04.

Epilithic diatom algae of lake Itkul (Republic of Khakassia)

Evgeniia G. Makeeva^{1,2}, Nelli R. Mikhajlina²

¹Khakassky State Nature Reserve (Russia, Abakan)

²Katanov Khakassky State University (Russia, Abakan)

Taxonomic diversity of epilithic diatoms in Lake Itkul was 119 species (123 species and intraspecific taxa). The leading families and genera were Cymbellaceae, Naviculaceae, Bacillariaceae, Gomphonemataceae, Achnanthidiaceae, Mastogloiaceae, Rhopalodiaceae, Ulnariaceae; *Navicula*, *Nitzschia*, *Cymbella*, *Gomphonema*, *Mastogloia*, *Epithemia*. The dominant species were determined in 2023–2024 (*Mastogloia lacustris*, *Achnanthidium minutissimum*, *Gomphonema acuminatum* var. *longiceps*, *Meridion circulare*, *Cymbella helvetica*).

Key words: Diatoms; epilithon; Lake Itkul; Khakassia

References

1. Barinova S.S. A simple method for preparing permanent diatom slides and assessing the abundance of microalgae for bioindication. *Aquatic Bioresources & Environment*. 2018. V.1, №3–4. P. 56–62. DOI: https://doi.org/10.47921/2619-1024_2018_1_3-4_56 (In Russ.)
2. Guseva N.V., Savichev O. G. Hydrochemical Balance of Itkul – Shira Lake System (Khakassia, Russian Federation). *Contemporary Problems of Ecology*. 2016. V.23, №5. P. 718–728. DOI: <https://doi.org/10.15372/SEJ20160509> (In Russ.)
3. Makeeva E.G., Mikhajlina N.R. Taxonomic diversity of diatoms of the epilithon of Lake Itkul (Republic of Khakassia). *Problems of Botany of South Siberia and Mongolia*. 2024. V.23, №2. P. 227–230. DOI: 10.14258/pbssm.2024095. URL: <https://journal.asu.ru/pbssm/article/view/pbssm.2024095> (In Russ.)
4. Popova T.G. Towards the knowledge of algoflora of reservoirs of northern Khakassia. Ch. I. Algoflora of reservoirs of the Shirinskaya (Kachinskaya) steppe. *Izv. Zapad.-Sib. branch of the USSR Academy of Sciences. Ser. biol.* 1946. №1. P. 41–72. (In Russ.)
5. The natural complex and biodiversity of the Lake Itkul site of the Khakassky Nature Reserve In: V.V. Nepomnyashchy (Ed.). *Khakass Book Publishing House*, Abakan, 2010. 418 p. (In Russ.)
6. Guiry M.D., Guiry G. M. *AlgaeBase*. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway. 2025. <http://www.algaebase.org> (date: 26.03.2025).

ССЫЛКА НА СТАТЬЮ:

Макеева Е.Г., Михайлина Н.Р. Диатомовые водоросли эпилитона оз. Иткуль (Республика Хакасия) // Вопросы современной альгологии. 2025. № 1 (37). P. 124–127. URL: <http://algology.ru/2149>

Makeeva E.G., Mikhajlina N.R. Epilithic diatom algae of lake Itkul (Republic of Khakassia). *Voprosy sovremennoi algologii (Issues of modern algology)*. 2025. № 1 (37). P. 124–127. URL: <http://algology.ru/2149>

DOI – [https://doi.org/10.33624/2311-0147-2025-1\(37\)-124-127](https://doi.org/10.33624/2311-0147-2025-1(37)-124-127); EDN – PEOKTO

Оценка разнообразия диатомовых водорослей внутренних водоёмов Республики Джибути с помощью высокопроизводительного секвенирования

Investigation of diatom species richness in inland waters of Djibouti via next-generation sequencing techniques

Мартыненко Н.А.¹, Подунай Ю.А.², Шкурина Н.А.³, Гусев Е.С.¹

Nikita A. Martynenko, Yuliia A. Podunay, Natalia A. Shkurina,
Evgeniy S. Gusev

¹Институт проблем экологии и эволюции имени А.Н. Северцова РАН – ИПЭЭ РАН
(Москва, Россия)

²Карадагская научная станция имени Т.И. Вяземского – природный заповедник РАН –
филиал ФИЦ ИНБЮМ имени А.О. Ковалевского (Феодосия, Россия)

³Институт биологии внутренних вод имени И.Д. Папанина РАН – ИБВВ РАН
(Борок, Россия)

С помощью метабаркодинга были изучены диатомовые водоросли некоторых водоемов Джибути с различными значениями солености (от 0.1 до 41‰), температуры (от 32 до 50°C) и pH (от 7,6 и до 10,1). В результате были обнаружены представители 18 родов диатомовых водорослей.

Ключевые слова: диатомовые водоросли; Джибути; метабаркодинг; экстремальные местообитания

Диатомовые водоросли (Bacillariophyta) – это одноклеточные фотоавтотрофные эукариоты. Особенности строения и ультраструктура створок у диатомей на протяжении более 300 лет используются для изучения их разнообразия (Round et al., 1990). По некоторым оценкам, насчитывается около 100000 существующих видов диатомовых водорослей (Mann, Vanormelingen, 2013). За последние несколько десятилетий молекулярно-генетические методы внесли существенный вклад в систематику этой группы. В частности, с помощью данного метода описано много криптических видов и комплексов близких видов в различных филогенетических линиях диатомей (Pinseel et al., 2020). Появление высокопроизводительного секвенирования оказало большое влияние на темпы изучения разнообразия из-за возросших скорости и количества доступных данных. Также этот подход интенсифицировал изучение биогеографии водорослей. Изучение разнообразия с помощью метода метабаркодинга является довольно перспективным подходом благодаря его скорости и эффективности по сравнению с методом изучения культур или изучения створок диатомей под световым или электронным микроскопом.

Джибути – государство на северо-востоке Африки в районе Африканского Рога. Территория страны расположена в зоне разделения тектонических плит, а ландшафт в основном состоит из вулканических образований. В стране пустынный тропический, жаркий и сухой климат: средняя январская температура +26°C, средняя июльская температура +36°C. Преобладают два сезона: относительно прохладный сезон (зима) с октября по апрель и жаркий сезон (лето) с мая по сентябрь. Зимой климат характеризуется северо-восточными пассатами, приходящим с Аравийского моря и Аденского залива, и средней температурой от 20°C до 30°C. В летние месяцы преобладают западные ветры, которые являются частью индо-африканской муссонной системы, а средние температуры повышаются до 30–45°C. Количество осадков сильно варьируется, нерегулярно во времени, а экстремальные осадки могут наблюдаться в течение ряда лет. Среднегодовое количество осадков в стране низкое и колеблется от 60 до 300 мм. Однако изменчивость количества осадков тесно связана с изменением топографии. Наименьшее количество осадков выпадает вдоль побережья Аденского залива и в северо-западных внутренних бассейнах, в то время как немного большее количество (180–300 мм) наблюдается вдоль прерывистого хребта с севера на юг, который включает горы Мабла (Dabar et al., 2020). Треугольник Афар, в пределах которого находится Джибути, является наиболее геологически активной областью в Восточной Африке, о чем свидетельствуют его вулканические породы, активные вулканы и гидротермальные проявления, такие как горячие источники (Varet, 2018). В Джибути, в соответствии с расположением поверхностных проявлений, было выявлено не менее 13 геотермических участков (Boschetti et al., 2018). В стране существуют три отдельных геотермальных региона, представленных несколькими термальными источниками – озером Ассаль, регионом Ханле и озером Абхе (Houssein et al., 2013). Постоянных рек нет (Razak et al., 2025).

С помощью метода метабаркодинга нами были изучены водоёмы с экстремальными условиями обитания, а именно солёные термальные водоёмы вокруг озера Ассаль. Изучены маты с водорослями в скалах с солёностью 36‰, температурой 37°C и pH 7,6; небольшая река рядом, имеющая солёность 38‰, температуру 36°C и pH 7,9; более крупная река с солёностью 41‰, температурой 43°C и pH 7,6, а также горячий источник с солёностью 40‰, температурой 50°C и pH 7,6. Также изучено озеро Аббе (Абхе) – солёное озеро с величинами минерализации 27‰ и pH 10,1, с преобладанием хлоридов, сульфатов и гидрокарбонатов. Исследованы также 2 термальных источника в окрестностях озера Аббе с солёностью 3‰, температурой более 50°C и pH 8,0 и 8,8, соответственно. Изучен солёный водоём в бассейне озера Аббе с величинами солёности 17‰, pH 8,3 и температурой 32°C. Для изучения использовали секвенирование тотальной ДНК (Illumina Nova Seq, 2×250 п.н.), в качестве генетического маркера был выбран регион *rbcL* хпДНК. Биоинформатический анализ проводили в QIIME2 инструментами DADA2. Для классификации использовалась базы данных Diat.barcode и GenBank. Операционные таксономические единицы (OTE) группировались при уровне сходства 97%.

Всего в водных объектах Джибути были обнаружены представители 18 родов: *Anomoeoneis* Pfitzer, *Bacillaria* Ehrenberg, *Chaetoceros* Ehrenberg, *Craticula* Grunow, *Cymbella* C. Agardh, *Gomphonema* Kützinger, *Halimnophora* Cleve, *Hantzschia* Grunow, *Luticola* Kützinger, *Mayamaea* Round, *Navicula* Bory, *Nitzschia* Hassall, *Pinnularia* Ehrenberg, *Seminavis* Kützinger, *Stauroneis* Ehrenberg, *Stauropora* Grunow, *Surirella* Kützinger, *Tryblionella* Kützinger. В докладе будут обсуждены сделанные находки, особенности флоры диатомей и их пропорция среди других классов водорослей, обнаруженных в экстремальных местообитаниях Джибути.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках Соглашения 075-15-2024-649.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов, требующего раскрытия в данной статье.

Список литературы

1. Boschetti T., Awaleh M. O., Barbieri M. Waters from the Djiboutian Afar: a review of strontium isotopic composition and a comparison with Ethiopian waters and red sea brines // *Water*. 2018. V.10, №11. ID 1700. DOI: <https://doi.org/10.3390/w10111700>
2. Dabar O., Camberlin P., Pohl B., Waberi M.M., Awaleh M.O., Silah-Eddine S. Spatial and temporal variability of rainfall over the Republic of Djibouti from 1946 to 2017 // *International Journal of Climatology*. 2021. V.41, №4. P. 2729–2748. DOI: <https://doi.org/10.1002/joc.6986>
3. Houssein B., Chandrasekharam D., Chandrasekhar V., Jalludin M. Geochemistry of thermal springs around Lake Abhe, Western Djibouti // *International Journal of Sustainable Energy*. 2014. V.33, №6. P. 1090–1102. DOI: <https://doi.org/10.1080/14786451.2013.813027>
4. Mann D.G., Vanormelingen P. An inordinate fondness? The number, distributions, and origins of diatom species // *Journal of eukaryotic microbiology*. 2013. V.60, №4. P. 414–420. DOI: <https://doi.org/10.1111/jeu.12047>
5. Pinseel E., Janssens S.B., Verleyen E., Vanormelingen P., Kohler T.J., Biersma E.M., Sabbe K., de Vijver B.V., Vyverman W. Global radiation in a rare biosphere soil diatom // *Nature communication*. 2020. V.11, №1. ID 2382. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41467-020-16181-0>
6. Razack M., Jalludin M., Birhanu B. Water Resource Assessment and Management in Dalha Basalts Aquifer (SW Djibouti) Using Numerical Modeling // *Hydrology*. 2025. V.12, №4. P. 73. DOI: <https://doi.org/10.3390/hydrology12040073>
7. Round F.E., Crawford R.M., Mann D.G. The diatoms – biology and morphology of the genera. – Cambridge: Cambridge University Press, 1990. – 747 p.
8. Varet J. Geology of Afar (East Africa). – Berlin: Springer International Publishing, 2018. – 336 p. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-319-60865-5>

Статья поступила в редакцию 18.06.2025; поступила после доработки 08.08.2025; принята к публикации 28.08.2025

Сведения об авторах

Мартыненко Никита Александрович – м.н.с., Институт проблем экологии и эволюции им. Н.А. Северцова РАН. Россия, Москва (Severtsov Institute of Ecology and Evolution, RAS, Russia, Moscow); nikita-martynenko@yandex.ru; ORCID – <https://orcid.org/0000-0002-7286-003X>; SPIN-код 3617-7004.

Подунай Юлия Александровна – к.б.н., с.н.с., Карадагская научная станция им. Т.И. Вяземского – природный заповедник РАН – филиал ФИЦ ИНБЮМ им. А.О. Ковалевского, Россия, Феодосия (Vyazemsky Karadag Scientific Station of Kovalevskii Institute of Biology of the Southern Seas, RAS, Russia, Feodosia); grab-ua@yandex.ru; ORCID – <https://orcid.org/0000-0002-0519-2908>; SPIN-код 6730-1070.

Шкурина Наталия Александровна – н.с., Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН, Россия, пос. Борок (Papanin Institute for Biology of Inland Waters, RAS, Russia, Borok); shkurrr@yandex.ru; ORCID – <https://orcid.org/0000-0001-8044-2017>.

Гусев Евгений Сергеевич – к.б.н., с.н.с., Институт проблем экологии и эволюции им. Н.А. Северцова РАН. Россия, Москва (Severtsov Institute of Ecology and Evolution, RAS, Russia, Moscow); algogus@yandex.ru; ORCID – <https://orcid.org/0000-0002-7397-5808>; SPIN-код 1473-0676.

Корреспондентский адрес: Россия, 119071, Москва, Ленинский пр., д. 33, ИПЭЭ РАН, тел. (495) 633-09-22.

Investigation of diatom species richness in inland waters of Djibouti via next-generation sequencing techniques

Nikita A. Martynenko¹, Yuliia A. Podunay², Natalia A. Shkurina³, Evgeniy S. Gusev¹

¹Severtsov Institute of Ecology and Evolution, RAS (Russia, Moscow)

²Vyazemsky Karadag Scientific Station of Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas, RAS (Russia, Feodosia)

³Papanin Institute for Biology of Inland Waters, RAS (Russia, Borok)

Diatoms from different water objects in Djibouti with extreme salinity (0,1–41‰), temperature (32–50°C) and pH (7,6–10,1) were studied using metabarcoding. As a result, 41 operational taxonomic units (OTUs) belonging to 18 genera of diatoms were identified.

Key words: Diatoms; Djibouti; metabarcoding; extreme habitats

References

1. Boschetti T., Awaleh M. O., Barbieri M. Waters from the Djiboutian Afar: a review of strontium isotopic composition and a comparison with Ethiopian waters and red sea brines. *Water*. 2018. V.10, №11. ID 1700. DOI: <https://doi.org/10.3390/w10111700>
2. Dabar O., Camberlin P., Pohl B., Waberi M.M., Awaleh M.O., Silah-Eddine S. Spatial and temporal variability of rainfall over the Republic of Djibouti from 1946 to 2017. *International Journal of Climatology*. 2021. V.41, №4. P. 2729–2748. DOI: <https://doi.org/10.1002/joc.6986>
3. Houssein B., Chandrasekharam D., Chandrasekhar V., Jalludin M. Geochemistry of thermal springs around Lake Abhe, Western Djibouti. *International Journal of Sustainable Energy*. 2014. V.33, №6. P. 1090–1102. DOI: <https://doi.org/10.1080/14786451.2013.813027>
4. Mann D.G., Vanormelingen P. An inordinate fondness? The number, distributions, and origins of diatom species. *Journal of eukaryotic microbiology*. 2013. V.60, №4. P. 414–420. DOI: <https://doi.org/10.1111/jeu.12047>
5. Pinseel E., Janssens S.B., Verleyen E., Vanormelingen P., Kohler T.J., Biersma E.M., Sabbe K., de Vijver B.V., Vyverman W. Global radiation in a rare biosphere soil diatom. *Nature communication*. 2020. V.11, №1. ID 2382. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41467-020-16181-0>
6. Razack M., Jalludin M., Birhanu B. Water Resource Assessment and Management in Dalha Basalts Aquifer (SW Djibouti) Using Numerical Modeling. *Hydrology*. 2025. V.12, №4. P. 73. DOI: <https://doi.org/10.3390/hydrology12040073>
7. Round F.E., Crawford R.M., Mann D.G. The diatoms – biology and morphology of the genera. Cambridge University Press, Cambridge, 1990. 747 p.
8. Varet J. Geology of Afar (East Africa). Springer International Publishing, Berlin, 2018. 336 p. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-319-60865-5>

ССЫЛКА НА СТАТЬЮ:

Мартыненко Н.А., Подунай Ю.А., Шкурина Н.А., Гусев Е.С. Оценка разнообразия диатомовых водорослей внутренних водоёмов Республики Джибути с помощью высокопроизводительного секвенирования // Вопросы современной альгологии. 2025. № 1 (37). P. 128–131. URL: <http://algology.ru/2150>

Martynenko N.A., Podunay Yu.A., Shkurina N.A., Gusev E.S. Investigation of diatom species richness in inland waters of Djibouti via next-generation sequencing techniques. *Voprosy sovremennoi algologii (Issues of modern algology)*. 2025. № 1 (37). P. 128–131. URL: <http://algology.ru/2150>

DOI – [https://doi.org/10.33624/2311-0147-2025-1\(37\)-128-131](https://doi.org/10.33624/2311-0147-2025-1(37)-128-131); EDN – PYBTCE

Состав Bacillariophyta в ранее неизученном биотопе Юго-Восточного Прибрежья Крыма: предварительные данные

Structure of Bacillariophyta in a previously unexplored biotope of the Southeastern Coast of Crimea: provisional data

Неврова Е.Л.

Elena L. Nevrova

ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А.О. Ковалевского РАН»
(Севастополь, Россия)

В неисследованной ранее акватории бухты Провато (юго-восточное побережье Крыма, Чёрное море) обнаружено высокое видовое разнообразие, предварительно насчитывающее более 100 видов и внутривидовых таксонов донных диатомовых водорослей. Отмечен ряд видов, новых и редких для Черноморской флоры. Рекомендовано продолжение изучения микрофитобентоса в данном ненарушенном биотопе.

Ключевые слова: Bacillariophyta; Крым; Чёрное море; бентосные диатомовые; видовое разнообразие

Юго-восточное побережье Крыма, в отличие от юго-западного и южного, значительно менее исследовано, и получение новых сведений может существенно расширить знания о флоре диатомовых водорослей бентоса Чёрного моря. Проведен предварительный анализ состава донных диатомовых в ранее неизученном биотопе юго-восточного побережья Крыма – бухте Провато, характеризующейся значительной удаленностью от населенных пунктов. Значительное видовое богатство диатомовых в малонарушенных акваториях способно быстро редуцироваться, а структура таксоценов – трансформироваться вследствие исчезновения слаборезистентных к загрязняющим веществам видов и замены их высокотолерантными эврибионтными таксонами. В связи с этим, исследования диатомовых бентоса в подобных условно чистых биотопах важны для оценки разнообразия и сбережения биоресурсов Чёрного моря.

Пробы биоматериала отобраны на различных типах субстратов (песок, камни, макрофиты) на глубине 2–3 м летом 2024 г. Выявлено высокое таксономическое богатство, предварительно оцененное более чем 100 видов и внутривидовых таксонов Bacillariophyta. Основу таксоценоза диатомовых б. Провато составляют наиболее массовые виды: *Navicula parapontica* Witkowski, Kulikovskiy, Nevrova et Lange-Bert., *Navicula perminuta* Grunow ex Van Heurck, *Berkeleya rutilans* (Trentep. ex Roth) Grunow,

Planothidium delicatulum (Kütz.) Round et Bukht., *Pteroncola inane* (Giffen) Round, *Cocconeis* sp., *Diploneis* sp., *Amphora* sp., *Lyrella* sp., *Petroneis humerosa* (Bréb. ex W. Sm.) Stickle et Mann, *Plagiotropis lepidoptera* (W. Greg.) Kuntze, *Caloneis liber* (W. Sm.) Cleve, *Mastogloia* sp., *Nitzschia* sp.

Отмечен ряд флористических находок. Обнаружены виды, новые для черноморской флоры Bacillariophyta: *Anorthoneis pulex* Sterrenburg, *Toxonidea gregoriana* Donkin, *Petroneis latissima* (W.Gregory) Stickle & D.G.Mann, *Hippodonta* sp.3, *Nitzschia* sp.P1, *Anorthoneis* sp.P (Гусляков и др., 1992, Прошкина-Лавренко, 1963, Witkowski et al., 2000). Зафиксирован очень редкий вид для черноморского побережья Крыма – *Catenula adhaerens* Mereschk. (описан К.С. Мережковским в 1902 г., обнаружен нами ранее единично на песчаном грунте в районах открытого побережья Балаклавы и б. Омега). Из числа видов, новых для науки и новых для черноморской флоры, отмеченных нами в предыдущих исследованиях в биотопах вдоль побережья Крыма (Неврова, 2022), в б. Провато задокументированы *Amphora decussata* Grunow, *Chamaepinnularia alexandrowiczii* Witkowski, Lange-Bert. et Metzeltin., *Toxonidea insignis* Donkin, *Lyrella abruptapontica* Nevrova, Witkowski, Kulikovskiy et Lange-Bertalot, *Lyrella pseudolyra* Nevrova, Witkowski, Kulikovskiy et Lange-Bertalot, *Navicula petrovii* Nevrova, Witkowski, Kocielek & Lange-Bert., *Cocconeis pelta* A. Schmidt, *Cocconeis peltoides* Hust., *Cocconeis guttata* Husted et Aleem, *Nitzschia inconspicua* Grunow, *Psammodictyon panduriforme* var. *continua* (Grunow) P.J.M. Snoeijis ex P.J.M. Snoeijis et Balashova 1998.

Изучение таксоцена бентосных Bacillariophyta и анализ его таксономического разнообразия будет продолжено.

Работа выполнена в отделе экологии бентоса в рамках финансирования Госзадания ФИЦ ИнБЮМ им. А.О. Ковалевского РАН (госрегистрация № 124022400148-4).

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

Список литературы

1. Гусляков Н.Е., Загордонец О.А., Герасимюк В.П. Атлас диатомовых водорослей бентоса северо-западной части Чёрного моря и прилегающих водоемов. – Киев: Наукова думка, 1992. – 115 с.
2. Неврова Е.Л. Разнообразие и структура таксоценов бентосных диатомовых водорослей (Bacillariophyta) Чёрного моря / Ред. А. В. Гаевская. – Севастополь: ФИЦ ИнБЮМ, 2022. – 329 с.
3. Прошкина-Лавренко А.И. Диатомовые водоросли бентоса Чёрного моря. – М.–Л.: Изд-во АН СССР, 1963. – 243 с.
4. Witkowski A., Lange-Bertalot H., Metzeltin D. Diatom flora of marine coast 1. Koenigstein: Koeltz Scientific Books, 2000. 926 p. (Iconographia Diatomologica: Annotated Diatom Monographs; vol. 7).

Статья поступила в редакцию 18.06.2025; поступила после доработки 08.08.2025; принята к публикации 28.08.2025

Сведения об авторе

Неврова Елена Леонидовна – д.б.н., г.н.с., ФИЦ «Институт Биологии южных морей им. А.О. Ковалевского РАН», Россия, Севастополь (Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas RAS, Russia, Sevastopol), Отдел экологии бентоса; el_nevrova@mail.ru; ORCID – <https://orcid.org/0000-0001-9963-4967>; SPIN-код 2421-8146.

Корреспондентский адрес: Россия, 299011, Севастополь, пр. Нахимова, д. 2, ИнБЮМ РАН, тел. (8152) 54-41-10.

Structure of Bacillariophyta in a previously unexplored biotope of the Southeastern Coast of Crimea: provisional data

Elena L. Nevrova

Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas RAS (Russia, Sevastopol)

In the unexplored before intact waterbody Provato Bay (southeastern coast of Crimea, the Black Sea) a high species diversity, that pre-evaluated more than 100 species and intraspecific taxa of benthic diatoms, was discovered. A number of new and rare for the Black Sea flora species were noted. It is recommended to continue studying the microphytobenthos in this undisturbed biotope.

Key words: Bacillariophyta; Crimea; Black Sea; benthic diatoms; species diversity

References

1. Guslyakov N.E., Zakordonets O.A., Gerasimyuk V.P. Atlas of benthic diatoms in the northwestern part of the Black Sea and adjacent reservoirs. Naukova dumka, Kiev, 1992. 115 p.
2. Nevrova E.L. Diversity and structure of benthic diatom taxocenes (Bacillariophyta) of the Black Sea. IBSS, Sevastopol, 2022. 329 p.
3. Proshkina-Lavrenko A.I. Diatoms of benthos of the Black Sea. Publishing House of the USSR Academy of Sciences, Moscow-Leningrad, 1963. 243 p.
4. Witkowski A., Lange-Bertalot H., Metzeltin D. Diatom flora of marine coast 1. Koeltz Scientific Books, Koenigstein, 2000. 926 p. (Iconographia Diatomologica : Annotated Diatom Monographs).

ССЫЛКА НА СТАТЬЮ:

Неврова Е.Л. Состав Bacillariophyta в ранее неизученном биотопе Юго-Восточного Прибрежья Крыма: предварительные данные // Вопросы современной альгологии. 2025. № 1 (37). P. 132–134. URL: <http://algology.ru/2151>

Nevrova E.L. Structure of Bacillariophyta in a previously unexplored biotope of the Southeastern Coast of Crimea: provisional data. *Voprosy sovremennoi algologii (Issues of modern algology)*. 2025. № 1 (37). P. 132–134. URL: <http://algology.ru/2151>

DOI – [https://doi.org/10.33624/2311-0147-2025-1\(37\)-132-134](https://doi.org/10.33624/2311-0147-2025-1(37)-132-134); EDN – JHSAJA

Находка *Cocconeis coreana* Jahn et Suh (Bacillariophyta) в лагунном озере (Приморский край, Россия)

Record of *Cocconeis coreana* Jahn et Suh (Bacillariophyta) from lagoon lake (Primorsky Territory, Russia)

Никулина Т.В.

Tatyana V. Nikulina

ФНЦ Биоразнообразие наземной биоты Восточной Азии ДВО РАН (Владивосток, Россия)

Впервые для российского Дальнего Востока зарегистрирован вид *Cocconeis coreana* Jahn and Suh, описанный в 2020 г. как новый для науки из пресноводных водоемов п-ва Корея.

Ключевые слова: Bacillariophyta; *Cocconeis*; диатомовые водоросли; российский Дальний Восток; Владивосток

Один из естественных водоемов Владивостока – оз. Торфянка (Торфяное, Безымянное). Озеро расположено на южной оконечности полуострова Муравьев-Амурский и относится к категории лагунных (баровых) озёр. Лагунный мелководный водоем, как отчленённый от моря береговыми барами или косами морской залив, является важным элементом прибрежных ландшафтов со сложной геосистемой, в которой происходят процессы, характерные для контактной зоны «суша – море». Защищённость лагуны от моря приводит к опреснению и, в связи с этим, формированию уникального природного биотопа со специфической фауной и флорой (Бровко и др., 2020). Реликтовое оз. Торфянка имеет длину до 278 м, ширину около 150 м, площадь около 3 га, глубина водоема достигает 3,5 м. На севере в озеро впадает ручей длиной около 1,4 км, с площадью водосбора свыше 130 га, из юго-восточной части вытекает ручей, впадающий в бух. Соболев (Раков, Шарова, 2008).

Изучение альгофлоры оз. Торфянка начато в летне-осенний период 2023 г. Идентификация видового состава продолжается и к настоящему времени выявлен 151 вид цианобактерий и водорослей из 5 отделов: Cyanobacteria, Bacillariophyta, Chlorophyta, Charophyta, Euglenozoa (Никулина, 2024). В систематической структуре флоры наибольшее количество таксонов включает отдел Bacillariophyta (135 видов). В сообществах фитопланктона и перифитона отмечено массовое развитие цианобактерий, диатомовых и зеленых водорослей, имевших статус доминантов и субдоминантов: *Phormidium uncinatum* (C. Agardh) Gomont, *Gomphonema parvulum* (Kützinger) Kützinger, *Achnanthes minutissimum* (Kützinger) Czarnecki, *Cocconeis coreana*, *Lemnicola hungarica* (Grunow) Round et Basson, *Melosira varians* Agardh, *Nitzschia frustulum* (Kützinger) Grunow, *Ulnaria ulna* (Nitzsch) Compère, *Fragilariforma mesolepta* (Rabenhorst) Kharitonov, *Tabularia fasciculata* (Agardh) Williams et Round, *Nitzschia palea* (Kützinger) W. Smith, *Stephanocyclus meneghinianus* (Kützinger) Kulikovskiy, Genkal et Kociolek,

Pseudopediastrum subgranulatum (Raciborski) Lenarczyk. Состояние вод (наличие органического загрязнения) в оз. Торфянка было оценено по методу Пантле-Бук в модификации Сладечека (1967). Анализ полученных данных показал, что согласно рассчитанным индексам сапробности, воды озера имели степень сапробности β , соответствовали бетамезосапробной зоне, III классу чистоты и классифицированы как слабо загрязненные воды.

К числу наиболее интересных находок в альгофлоре оз. Торфянка следует отнести вид *Cocconeis coreana* Jahn et Suh (рис. 1), указанный нами ранее как *Cocconeis placentula* Ehrenberg (Никулина, 2024). Использование электронной микроскопии позволило более детально проанализировать морфологические особенности створок *Cocconeis* и уточнить их видовую принадлежность. *C. coreana* описан как новый для науки на основе микроморфологических и молекулярных данных из четырех различных пресноводных водоемов п-ва Корея – из Северной и Южной Кореи (Jahn et al., 2020). Морфологически вид *C. coreana* с его двумя различными эллиптическими створками принадлежат к группе *Cocconeis placentula*. Как верно отмечают многие авторы, *C. placentula* Ehrenberg sensu lato является наиболее распространенной пресноводной диатомовой водорослью, этот таксон и его разновидности (*C. placentula* var. *euglypta* (Ehrenberg) Grunow, *C. placentula* var. *lineata* (Ehrenberg) Van Heurck и *C. placentula* var. *klinoraphis* Geitler) по всему миру упоминаются почти в каждом исследовании, посвященном описанию альгофлоры пресных и эстуарных вод или оценке качества воды, часто приводятся и как доминирующие и как первопоселенцы на различных субстратах (Joh, 2012; Jahn et al., 2020).

Описание *Cocconeis coreana*, зарегистрированного в альгофлоре оз. Торфянка (Приморский край, Россия). Створки *C. coreana* имеют форму удлинненно-эллиптическую, эллиптическую или округло-эллиптическую. Длина 15,8–28,5 μm , ширина 11,0–20,5 μm .

Створка со швом (RV) имеет узкую осевую область, выраженную центральную область округлой формы, шов прямой и нитевидный. Точечные штрихи параллельны в центре, ближе к концам расходятся радиально. Штрихов 16–24 в 10 μm , ареол 15–23 в 10 μm . Штрихи прерываются гиалиновым кольцом, отделяющим 2–4 ареолы.

Штрихи бесшовной створки (SV) параллельны в центре, расходятся радиально и слегка изогнуты к концам створки. SV имеет штрихи в виде черточек, 16–25 в 10 μm , образуют 8–14 продольных линий, ареол 10–15 в 10 μm .

Cocconeis coreana указывается нами впервые для российского Дальнего Востока, но высока вероятность того, что в дальнейшем использование электронной микроскопии позволит выявить более широкое распространение этого вида в водоемах на территории Дальневосточного экорегиона.

Фото створок *Cocconeis coreana* выполнено с использованием электронного микроскопа EVO 40 (Carl Zeiss Jena) в Центре коллективного пользования «Биология и генетическая инженерия» ФНЦ Биоразнообразия ДВО РАН.

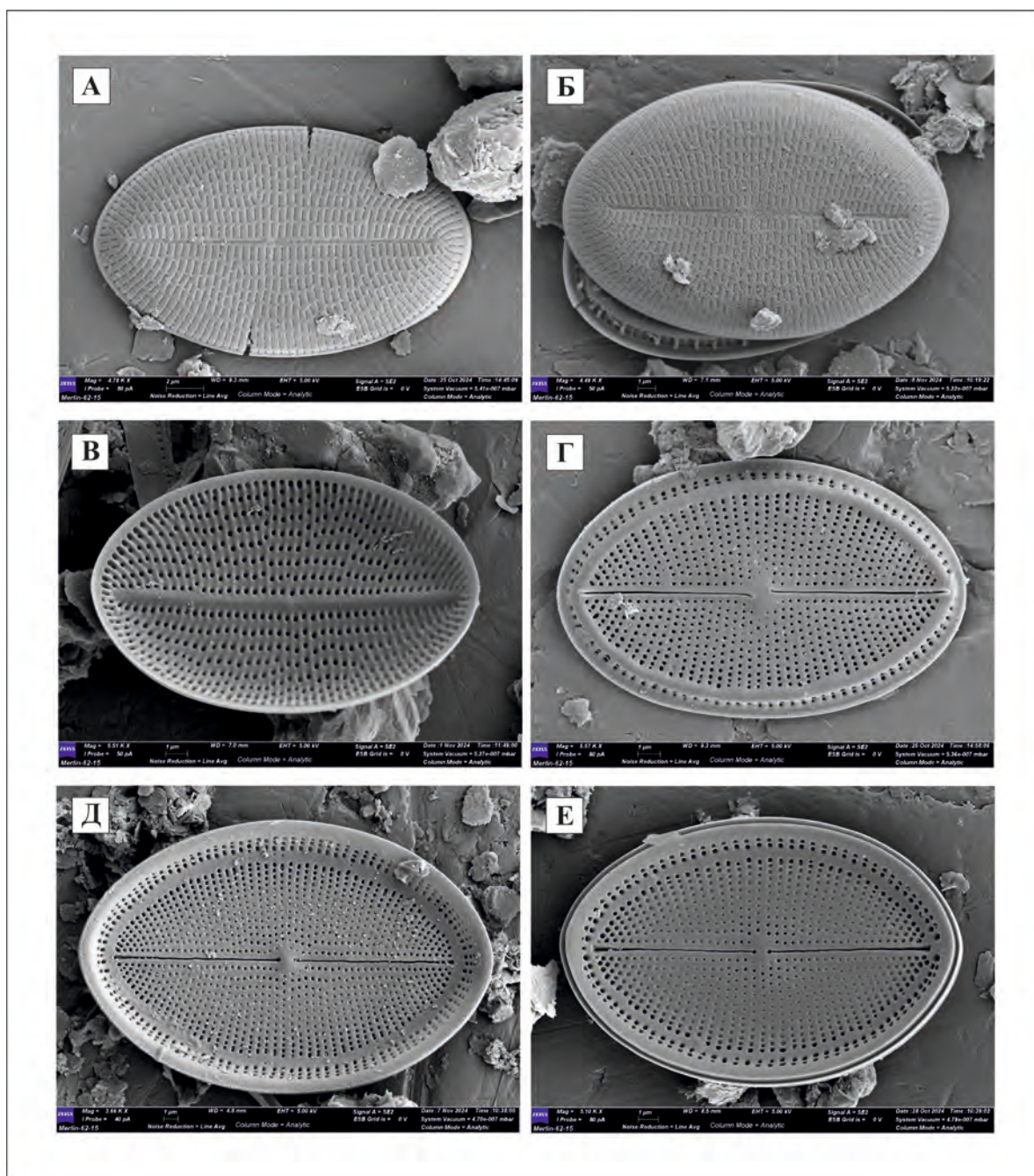


Рис. 1. *Cocconeis coreana*, сканирующий электронный микроскоп (А, Б, В, Г, Д, Е). Масштабные линейки: 2 μm (А); 1 μm (Б, В, Г, Д, Е). А, Б – Внешний вид бесшовной створки (SV) с ареолами в виде черточек. В – внутренний вид бесшовной створки (SV), без вальвокопулы. Г – внутренний вид створки со швом (RV), без вальвокопулы, проксимальные концы шва изогнуты в противоположных направлениях. Д, Е – внешний вид створок со швом (RV). Центральная область створок увеличенная и округлая, осевая область тонкая.

Fig. 1. *Cocconeis coreana*, scanning electron microscope (A, B, B, G, D, E). Scale bars represent: 2 μm (A); 1 μm (B, B, G, D, E). A, B – Sternum valve (SV) external views with dash-like areolae. B – Sternum valve (SV) internal views with no valvocopula. Г – Raphe valve (RV) internal view with no valvocopula, the proximal raphe ends bent to opposite directions. Д, Е – Raphe valve (RV) external views. The central area of the valves is enlarged and round and the axial area is slim. The central region is enlarged and rounded, the axial region is thin.

Работа выполнена при поддержке государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, темы № 121031000147-6, № 124012400285-7.

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

Список литературы

1. Бровко П.Ф., Дзен Г.Н., Жуковина М.Г., Малюгин А.В. Лагунные берега Тихоокеанской России: факторы эволюции и природопользование // Тихоокеанская география. 2020. № 1. С. 40–47. DOI: 10.35735/7102875.2020.1.1.005
2. Никулина Т.В. Видовое богатство водорослей и оценка экологического состояния оз.Торфянка (г. Владивосток, Россия) // Материалы VII Всероссийской научной конференции с международным участием «Водоросли: проблемы таксономии и экологии, использование в мониторинге и биотехнологии» (Владивосток, сентябрь 2024 г.). Владивосток, 2024. – С. 91.
3. Раков В.А., Шарова О.А. Современное состояние и проблемы сохранения экосистемы реликтового озера во Владивостоке // Чтения памяти Владимира Яковлевича Леванидова. – Владивосток: Дальнаука, 2008. Вып. 4. – С. 76–81.
4. Сладечек В. Общая биологическая схема качества воды // Санитарная и техническая гидробиология. – М.: Наука, 1967. – С. 26–31.
5. Jahn R., Abarca N., Kusber W.-H., Skibbe O., Zimmermann J., Mora D. Integrative taxonomic description of two new species of the *Cocconeis placentula* group (Bacillariophyceae) from Korea based on unialgal strains // Algae. 2020. V.35(4). P. 303–324. DOI: <https://doi.org/10.4490/algae.2020.35.8.1>
6. Joh G. Algal flora of Korea. Freshwater diatoms. 2012. V.3, №7. <http://webbook.me.go.kr/DLi-File/099/008/5527836.pdf>

Статья поступила в редакцию 18.06.2025; поступила после доработки 08.08.2025; принята к публикации 28.08.2025

Сведения об авторе

Никулина Татьяна Владимировна – к.б.н., с.н.с., ФНЦ Биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии ДВО РАН, Россия, Владивосток (Federal Scientific Center of the East Asia Terrestrial Biodiversity, Far Eastern Branch, RAS, Russia, Vladivostok); nikulinatv@mail.ru; ORCID – <https://orcid.org/0000-0003-4520-5731>; SPIN-код 5027-2419.

Корреспондентский адрес: Россия, 690022, Владивосток, пр-т 100-летия Владивостока, д. 159, ФНЦ Биоразнообразия ДВО РАН, тел. (423) 2-310-410.

Record of *Cocconeis coreana* Jahn et Suh (Bacillariophyta) from lagoon lake (Primorsky Territory, Russia)

Tatyana V. Nikulina

FSC of the East Asia Terrestrial Biodiversity, Far Eastern Branch, RAS (Russia, Vladivostok)

The species *Cocconeis coreana* Jahn and Suh is first recorded for the Russian Far East territory; this species was described in 2020 as new to science from freshwater bodies of the Korean Peninsula.

Key words: Bacillariophyta; Cocconeis; diatoms; Russian Far East; Vladivostok City

References

1. Brovko P.F., Dzen G.N., Zhukovina M. G., Malyugin A.V. The lagoon shores of the Pacific Russia: factors of sea coast evolution and nature management. *Pacific Geography*. 2020. №1. P. 40–47. DOI: 10.35735/7102875.2020.1.1.005 (In Russ.)
2. Nikulina T.V. Species richness of algae and assessment of the ecological status of the Torfyanka Lake (Vladivostok, Russia). Proceedings of the VII All-Russian Scientific Conference with international

participation “Algae: problems of taxonomy and ecology, use in monitoring and biotechnology” (Vladivostok, September 2024). Vladivostok, 2024. P. 91. (In Russ.)

3. Rakov V.A., Sharova O.A. Modern state and problems of preservation of relict lake ecosystem in Vladivostok. Vladimir Ya. Levanidov's Biennial Memorial Meetings. Dalnauka Publ., Vladivostok, 2008. V.4. P. 76–81. (In Russ.)

4. Sladeczek V. General biological scheme of water quality. *In*: Sanitary and technical hydrobiology, Nauka Publ., Moscow, 1967. P. 26–31. (In Russ.)

5. Jahn R., Abarca N., Kusber W.-H., Skibbe O., Zimmermann J., Mora D. Integrative taxonomic description of two new species of the *Cocconeis placentula* group (Bacillariophyceae) from Korea based on unialgal strains. *Algae*. 2020. V.35(4). P. 303–324. DOI: <https://doi.org/10.4490/algae.2020.35.8.1>

6. Joh G. Algal flora of Korea. Freshwater diatoms. 2012. V.3, №7. <http://webbook.me.go.kr/DLi-File/099/008/5527836.pdf>

ССЫЛКА НА СТАТЬЮ:

Никулина Т.В. Находка *Cocconeis coreana* Jahn et Suh (Bacillariophyta) в лагунном озере (Приморский край, Россия) // Вопросы современной альгологии. 2025. № 1 (37). P. 135–139. URL: <http://algology.ru/2152>

Nikulina T.V. Record of *Cocconeis coreana* Jahn et Suh (Bacillariophyta) from lagoon lake (Primorsky Territory, Russia). *Voprosy sovremennoi algologii (Issues of modern algology)*. 2025. № 1 (37). P. 135–139. URL: <http://algology.ru/2152>

DOI – [https://doi.org/10.33624/2311-0147-2025-1\(37\)-135-139](https://doi.org/10.33624/2311-0147-2025-1(37)-135-139); EDN – NBQUGC

Разнообразие диатомовых водорослей в почвенных биологических корках горно-тундровых сообществ Урала

Diversity of diatom algae in soil biological crusts of mountain-tundra communities of the Urals

Патова Е.Н.¹, Новаковская И.В.¹, Гусев Е.С.², Шабалина Ю.Н.³

Elena N. Patova, Irina V. Novakovskaya, Evgeniy S. Gusev,
Julia N. Shabalina

¹Институт биологии Коми научного центра УрО РАН (Сыктывкар, Россия)

²Институт проблем экологии и эволюции имени А.Н. Северцова РАН – ИПЭЭ РАН
(Москва, Россия)

³Сыктывкарский государственный университет им. Питирима Сорокина
(Сыктывкар, Россия)

В материалах приведены результаты исследований по разнообразию диатомовых водорослей в почвах горно-тундровых сообществ Полярного, Приполярного и Северного Урала. Видовое разнообразие диатомей определяли в постоянных препаратах на среде Эльяшева и с использованием ДНК-метабаркодинга. Всего в ходе исследования по морфологическим и метабаркодным данным выявлено 72 таксона. По разнообразию видов преобладают водоросли из родов *Pinnularia*, *Eunotia* и *Nitzschia*. Наибольшее число прочтений SSU V9 и ITS1 рДНК маркеров для диатомовых водорослей обнаружено в почвах с высокой влажностью.

Ключевые слова: Bacillariophyceae; полифазный подход; почва; Полярный, Приполярный и Северный Урал

Диатомовые водоросли являются структурным компонентом биологических почвенных корочек разных природно-климатических зон. Разнообразие и обилие в таких местообитаниях зависит от комплекса экологических факторов, ведущим из которых является влажность почвы. Наиболее разнообразны среди почвенных диатомей представители порядков Naviculales и Bacillariales. Цель исследования – обобщение сведений по таксономическому разнообразию Bacillariophyceae, обитающих в почвах горно-тундровых сообществ Урала с применением традиционных морфологических подходов и ДНК-метабаркодинга. Видовое разнообразие диатомей определяли в постоянных препаратах на среде Эльяшева (постоянные препараты готовили только для тех почвенно-альгологических образцов, в которых при прямом микроскопировании наблюдали массовое развитие диатомей) и методами анализа тотальной ДНК с использованием ДНК-метабаркодинга (проанализировано 26 почвенно-альгологических проб из различных типов горно-тундровых сообществ).

Использованы ПЦР-амплификации, нацеленные на регион SSU V9 и ITS1. Была выбрана пара праймеров V918S BoenF 5'-GTACACACCGCCCGTC-3' и ITS2 5'-GCTGCGTTCTTCATCGWTR-3' (Boenigk et al., 2018; Bock et al., 2020). Эти праймеры охватывают изменчивый регион V9 18S рДНК и полностью ITS1, что позволяет использовать их как для филогенетического анализа по участку 18S рДНК и для видовой идентификации эукариотных водорослей. Анализ ДНК выполнен в компании «Евроген» (Москва) на Illumina MiSeq.

Всего в почвах разных типов горно-тундровых сообществ северных регионов Урала выявлено 72 таксона диатомовых водорослей (рангом ниже рода). Применение полифазного подхода позволило получить и дополнить сведения о таксономическом разнообразии почвенных диатомей на Полярном, Приполярном и Северном Урале. С помощью морфологического подхода выявлено 52 вида. На основе высокопроизводительного секвенирования идентифицирована 41 операционная таксономическая единица (OTUs) относящаяся к Bacillariophyceae, из которых идентифицировано 35 таксонов. К ведущим по числу видов относятся роды *Pinnularia*, *Eunotia* и *Nitzschia*. Вышеназванные рода являются политипными, они содержат большое число широко распространённых в наземных и водных экосистемах видов. По метабаркодингу больше всего OTU было обнаружено из рода *Sellaphora* (8). Число OTU различалось для разных типов сообществ и составляло от 0 до 14. Выявлено, что чем выше влажность почвы (влажность от 40% до 51%), тем больше число прочтений (364-8281) SSU V9 и ITS1 рДНК маркеров. Наибольшее число прочтений было обнаружено для образца голого грунта из полигональной кустарничково-травяно-моховой тундры на Полярном Урале, для данного местообитания отмечены высокие показатели влажности и относительно высокие концентрации основных биогенных элементов в почве.

Таким образом, применение полифазного подхода расширило представление о разнообразии почвенных Bacillariophyceae в горно-тундровых сообществах северных регионов Урала. Использование ДНК-метабаркодирования с выделением тотальной ДНК из почвы с последующим ее анализом позволило эффективно оценить общее разнообразие и определить относительное обилие видов диатомовых водорослей в исследованных сообществах.

Работа выполнена в рамках Госзадания №125021902460-2.

Авторы заявляют **об отсутствии конфликта интересов**, требующего раскрытия в данной статье.

Список литературы

1. Bock C., Jensen M., Forster D., Marks S., Nuy J., Psenner R., Beisser D., Boenigk J. Factors shaping community patterns of protists and bacteria on a European scale // Environmental Microbiology. 2020. T.22, №6. P. 2243–2260. DOI: <https://doi.org/10.1111/1462-2920.14992>
2. Boenigk J., Wodniok S., Bock C., Beisser D., Hempel C., Grossmann L., Lange A., Jensen M. Geographic distance and mountain ranges structure freshwater protist communities on a European scale // Metabarcoding and Metagenomics. 2018. T.2. ID e21519. DOI: <https://doi.org/10.3897/mbmg.2.21519>

Статья поступила в редакцию 18.06.2025; поступила после доработки 08.08.2025; принята к публикации 28.08.2025

Сведения об авторах

Патова Елена Николаевна – к.б.н., в.н.с., Институт биологии Коми научного центра УрО РАН, Россия, Сыктывкар (Institute of Biology, Komi Scientific Center, Ural Branch, RAS, Russia, Syktyvkar); patova@ib.komisc.ru; ORCID – <https://orcid.org/0000-0002-9418-1601>; SPIN-код 5134-0835.

Новаковская Ирина Владимировна – к.б.н., в.н.с., Институт биологии Коми научного центра УрО РАН, Россия, Сыктывкар (Institute of Biology, Komi Scientific Center, Ural Branch, RAS, Russia, Syktyvkar); novakovskaya@ib.komisc.ru; ORCID – <https://orcid.org/0000-0001-5056-9965>; SPIN-код 4632-4249.

Гусев Евгений Сергеевич – к.б.н., с.н.с., Институт проблем экологии и эволюции им. Н.А. Северцова РАН, Россия, Москва (Severtsov Institute of Ecology and Evolution, RAS, Russia, Moscow); algogus@yandex.ru; ORCID – <https://orcid.org/0000-0002-7397-5808>; SPIN-код 1473-0676.

Шабалина Юлия Николаевна – к.б.н., доцент, Сыктывкарский государственный университет им. Питирима Сорокина, Россия, Сыктывкар (Pitirim Sorokin Syktyvkar State University, Russia, Syktyvkar); ulik321@rambler.ru; ORCID – <https://orcid.org/0000-0002-9728-8199>; SPIN-код 3107-7736.

Корреспондентский адрес: Россия, 167982, Сыктывкар, ул. Коммунистическая, д. 28, ИБ ФИЦ КОМИ НЦ УрО РАН, тел. (8212) 24-52-02.

Diversity of diatom algae in soil biological crusts of mountain-tundra communities of the Urals

Elena N. Patova¹, Irina V. Novakovskaya¹, Evgeniy S. Gusev², Julia N. Shabalina³

¹*Institute of Biology, Komi Scientific Center, Ural Branch RAS (Russia, Syktyvkar)*

²*Severtsov Institute of Ecology and Evolution, RAS (Russia, Moscow)*

³*Pitirim Sorokin Syktyvkar State University (Russia, Syktyvkar)*

We studied the diversity of diatoms in the soil of mountain-tundra communities of the Polar, Subpolar and Northern Urals. We used the permanent Elyashev's medium and DNA metabarcoding for diatom species diversity. In total, 72 diatoms taxa identified based on morphological and metagenomic data analysis. The most diverse genera are *Pinnularia*, *Eunotia* and *Nitzschia*. The highest number of reads of SSU V9 and ITS1 rDNA marker for diatoms was found in soils with the highest moisture content.

Key words: Bacillariophyceae; polyphasic approach; soil; Polar; Subpolar and Northern Urals

References

1. Bock C., Jensen M., Forster D., Marks S., Nuy J., Psenner R., Beisser D., Boenigk J. Factors shaping community patterns of protists and bacteria on a European scale // *Environmental Microbiology*. 2020. Т. 22, №6. P. 2243–2260. DOI: <https://doi.org/10.1111/1462-2920.14992>
2. Boenigk J., Wodniok S., Bock C., Beisser D., Hempel C., Grossmann L., Lange A., Jensen M. Geographic distance and mountain ranges structure freshwater protist communities on a European scale // *Metabarcoding and Metagenomics*. 2018. Т.2. ID e21519. DOI: <https://doi.org/10.3897/mbmg.2.21519>

ССЫЛКА НА СТАТЬЮ:

Патова Е.Н., Новаковская И.В., Гусев Е.С., Шабалина Ю.Н. Разнообразие диатомовых водорослей в почвенных биологических корках горно-тундровых сообществ Урала // *Вопросы современной альгологии*. 2025. № 1 (37). P. 140–142. URL: <http://algology.ru/2153>

Patova E.N., Novakovskaya I.V., Gusev E.S., Shabalina J.N. Diversity of diatom algae in soil biological crusts of mountain-tundra communities of the Urals. *Voprosy sovremennoi algologii (Issues of modern algology)*. 2025. № 1 (37). P. 140–142. URL: <http://algology.ru/2153>

DOI – [https://doi.org/10.33624/2311-0147-2025-1\(37\)-140-142](https://doi.org/10.33624/2311-0147-2025-1(37)-140-142); EDN – IPQSAM

Разнообразие диатомовых водорослей речных систем о. Минданао (Филиппины)

Diversity of diatoms in river systems of Mindanao Island

Подунай Ю.А.¹, Мартыненко Н.А.², Шкурина Н.А.³, Гумапак К.Р.С.⁴,
Гусев Е.С.²

Yuliia A. Podunay, Nikita A. Martynenko, Natalia A. Shkurina,
Kyla Rose S. Gumapac, Evgeniy S. Gusev

¹Карадагская научная станция имени Т.И. Вяземского – природный заповедник РАН – филиал ФИЦ ИНБЮМ имени А.О. Ковалевского (Феодосия, Россия)

²Институт проблем экологии и эволюции имени А.Н. Северцова РАН – ИПЭЭ РАН (Москва, Россия)

³Институт биологии внутренних вод имени И.Д. Папанина РАН – ИБВВ РАН (Борок, Россия)

⁴Центральный университет Минданао (Мусуан, Марамас, Филиппины)

Изучены бентосные и планктонные диатомовые водоросли водоемов о. Миндао (Филиппины). Обнаружено более 400 ОТЕ диатомовых водорослей с преобладанием шовных пеннатных диатомей. До уровня вида идентифицировано более 100 операциональных таксономических единиц. Проведено сравнение состава водотоков острова, а также таксономической структуры диатомовых водорослей различных субстратов.

Ключевые слова: диатомовые водоросли; биоразнообразие; метабаркодинг, Филиппины

Диатомовые водоросли считаются важными биоиндикаторами для мониторинга экологического состояния водоемов из-за их чувствительности к физико-химическим стрессорам и широкого распространения (Vasselon et al., 2017). Их способность адаптироваться к различным условиям существования, включая достаточно экстремальные, делает диатомовые пригодными для разнообразных применений. Традиционный мониторинг качества окружающей среды, оценка биоразнообразия диатомей часто опираются на морфологическую идентификацию, которая отнимает много времени и требует высокого уровня таксономической экспертизы (Mauvisseau et al., 2019). Однако молекулярная таксономия, поддерживаемая ДНК-метабаркодированием, предлагает новый подход к мониторингу окружающей среды и может улучшить оценку биоразнообразия и изменений в структуре сообществ. ДНК-метабаркодирование доказало свою эффективность в оценке экологического состояния, раннем обнаружении инвазивных видов и точной оценке морского бентоса и планктона (Perez-Burillo et al., 2022). Цель данного исследования – оценка разнообразия диатомовых водорослей водотоков и водоёмов острова Минданао, Филиппины. Для этого были изучены водные объекты 3-х охраняемых природных территорий острова и несколько рек в районах с интенсивной антропогенной нагрузкой.

В провинции Букиднон, в пределах территории национального парка Китанглад изучены две реки, а также исследованы две реки, берущие начало в этом лесном массиве. В ходе работ отобраны пробы в водотоках хребта Panimahawa (CEDAR). Для исследований были выбраны 3 реки, 10 источников (ключей), берущих начало в горном массиве, а также 1 болотный массив и несколько небольших водоёмов среди камней. Также были изучены ручьи в районе распространения карста в пределах района Марилог, Давао. Всего в ходе работ собрано для анализа методом метабаркодинга 42 бентосных и 9 планктонных проб. Для изучения использовали секвенирование тотальной ДНК (IlluminaMiSeq, 2×300 п.н.), в качестве генетического маркера был выбран регион *rbcL* cpDNA. Биоинформатический анализ проводили в QIIME2 инструментами DADA2. Для классификации использовали базы данных Diat.barcode и GenBank. Операциональные таксономические единицы (ОТЕ) группировали при уровне сходства 97%. ОТЕ с числом чтений менее 5 удалялись.

В изученных водоемах о. Миндао было обнаружено более 400 ОТЕ диатомовых водорослей с преобладанием шовных пеннатных диатомей – представителей 9 порядков и более 40 родов Bacillariophyceae. Наиболее богатыми по числу видов были роды *Nitzschia*, *Pinnularia*, *Cymbella*, *Navicula*, *Diadisma*, *Sellaphora*, *Encyonema*, *Gomphonema*, *Achnanthes* и др. Среди бесшовных пеннатных наиболее встречаемыми в пробах были представители рода *Ulnaria*. Центрические диатомей представлены родами *Melosira*, *Thalassiosira* и *Hyalodiscus*. Использование классификатора Diat.barcode и базы данных нуклеотидных последовательностей GenBank позволило идентифицировать больше 100 организмов до уровня вида и большинство оставшихся до рода. Проведено сравнение состава водотоков острова, а также таксономической структуры диатомовых водорослей различных субстратов.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках Соглашения № 075-15-2023-600.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов, требующего раскрытия в данной статье.

Список литературы

1. Mauvisseau Q., Burian A., Gibson C., Brys R., Ramsey A., Sweet M. Influence of accuracy, repeatability and detection probability in the reliability of species-specific eDNA based approaches // Scientific Reports. 2019. V.9 (1). ID 580. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-018-37001-y>
2. Pérez-Burillo J., Valoti G., Witkowski A., Prado P., Mann D.G., Trobajo R. Assessment of marine benthic diatom communities: Insights from a combined morphological–metabarcoding approach in Mediterranean shallow coastal waters // Marine Pollution Bulletin. 2022. V.174. ID 113183. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.113183>
3. Vasselon V., Rimet F., Tapolczai K., Bouchez A. Assessing ecological status with diatoms DNA metabarcoding: Scaling-up on a WFD monitoring network (Mayotte Island, France) // Ecological Indicators. 2017. V.82. P. 1–12. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.06.024>

Статья поступила в редакцию 18.06.2025; поступила после доработки 08.08.2025; принята к публикации 28.08.2025

Сведения об авторах

Подунай Юлия Александровна – к.б.н., с.н.с., Карадагская научная станция им. Т.И. Вяземского – природный заповедник РАН – филиал ФИЦ ИНБИОМ им. А.О. Ковалевского, Россия, Феодосия (Vyazemsky Karadag Scientific Station of Kovalevskii Institute of Biology of the Southern Seas, RAS, Russia, Feodosia); grab-ua@yandex.ru; ORCID – <https://orcid.org/0000-0002-0519-2908>; SPIN-код 6730-1070.

Мартыненко Никита Александрович – м.н.с., Институт проблем экологии и эволюции им. Н.А. Северцова РАН. Россия, Москва (Severtsov Institute of Ecology and Evolution, RAS, Russia, Moscow); nikita-martynenko@yandex.ru; ORCID – <https://orcid.org/0000-0002-7286-003X>; SPIN-код 3617-7004.

Шкурина Наталья Александровна – н.с., Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН, Россия, пос. Борок (Papanin Institute for Biology of Inland Waters, RAS, Russia, Borok); shkurrr@yandex.ru; ORCID – <https://orcid.org/0000-0001-8044-2017>.

Гумапак Кайла Роза (Gumapac Kyla Rose S) – Центральный университет Минданао, Филиппины, Мусуан (Central Mindanao University, Philippines, Musuan); kylarosesalguerogumapac@gmail.com; ORCID – <https://orcid.org/0009-0008-8147-5820>.

Гусев Евгений Сергеевич – к.б.н., с.н.с., Институт проблем экологии и эволюции им. Н.А. Северцова РАН. Россия, Москва (Severtsov Institute of Ecology and Evolution, RAS, Russia, Moscow); algogus@yandex.ru; ORCID – <https://orcid.org/0000-0002-7397-5808>; SPIN-код 1473-0676.

Корреспондентский адрес: Россия, 298188, Феодосия, пос. Курортное, ул. Науки, д. 24, КНС-ПЗ РАН – филиал ФИЦ ИнБЮМ, тел. (36562) 26-212.

Diversity of diatoms in river systems of Mindanao Island

Yuliia A. Podunay¹, Nikita A. Martynenko², Natalia A. Shkurina³,
Kyla Rose S. Gumapac⁴, Evgeniy S. Gusev²

¹Vyazemsky Karadag Scientific Station of Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas, RAS (Russia, Feodosia)

²Severtsov Institute of Ecology and Evolution, RAS (Russia, Moscow)

³Papanin Institute for Biology of Inland Waters, RAS (Russia, Borok)

⁴Central Mindanao University (Philippines, Musuan)

Benthic and planktonic diatoms of the water bodies of Mindao Island (Philippines) were studied. More than 400 OTUs of diatoms were found, with raphe pennate diatoms predominating. More than 100 operational taxonomic units were identified to the species level. A comparison was made of the composition of the island's watercourses, as well as the taxonomic structure of diatoms of various substrates.

Key words: Diatoms; biodiversity; metabarcoding; Philippines

References

1. Mauvisseau Q., Burian A., Gibson C., Brys R., Ramsey A., Sweet M. Influence of accuracy, repeatability and detection probability in the reliability of species-specific eDNA based approaches. *Scientific Reports*. 2019. V.9 (1). ID 580. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-018-37001-y>
2. Pérez-Burillo J., Valoti G., Witkowski A., Prado P., Mann D.G., Trobajo R. Assessment of marine benthic diatom communities: Insights from a combined morphological–metabarcoding approach in Mediterranean shallow coastal waters. *Marine Pollution Bulletin*. 2022. V.174. ID 113183. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.113183>
3. Vasselon V., Rimet F., Tapolczai K., Bouchez A. Assessing ecological status with diatoms DNA metabarcoding: Scaling-up on a WFD monitoring network (Mayotte Island, France). *Ecological Indicators*. 2017. V.82. P. 1–12. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.06.024>

ССЫЛКА НА СТАТЬЮ:

Подунай Ю.А., Мартыненко Н.А., Шкурина Н.А., Гумапак К.Р.С., Гусев Е.С. Разнообразие диатомовых водорослей речных систем о. Минданао (Филиппины) // Вопросы современной альгологии. 2025. № 1 (37). P. 143–145. URL: <http://algology.ru/2154>

Podunay Yu.A., Martynenko N.A., Shkurina N.A., Gumapac K.R.S., Gusev E.S. Diversity of diatoms in river systems of Mindanao Island. *Voprosy sovremennoi algologii (Issues of modern algology)*. 2025. № 1 (37). P. 143–145. URL: <http://algology.ru/2154>

DOI – [https://doi.org/10.33624/2311-0147-2025-1\(37\)-143-145](https://doi.org/10.33624/2311-0147-2025-1(37)-143-145); EDN – GPIGGY

**Диатомовые водоросли эпифитона
Ceratophyllum demersum L. реки Припять и
левобережных старичных озер (НП «Припятский»)**

**Diatoms of *Ceratophyllum demersum* L. epiphyton in the
Pripyat River and left-bank of the oxbow lakes
(The National park “Pripyatsky”)**

**Свирид А.А.¹, Михеева Т.М.², Петров В.Н.³, Кавцевич В.Н.¹,
Богданович М.С.¹**

**Anna A. Svirid, Tamara M. Mikheyeva, Vladimir N. Petrov,
Valentina N. Kavtsevich, Marina S. Bogdanovich**

¹Белорусский государственный педагогический университет имени Максима Танка
(Минск, Беларусь)

²Белорусский государственный университет (Минск, Беларусь)

³Институт экспериментальной ботаники НАН Беларуси (Минск, Беларусь)

Проведено сравнение видового состава и экологической структуры комплексов диатомовых водорослей эпифитона *Ceratophyllum demersum* р. Припять (июль 2010 г.), сточно-проточного старичного озера низкой поймы Старуха (июль 2015 г.) и непроточной старицы высокой поймы Теремшино (июль 2015 г.). Наблюдается средний уровень флористического сходства для реки и озера Старуха (коэффициент Жаккара равен 55,7 %) и низкий (35,3 и 33,3%) – при попарном сравнении остальных водоемов.

Ключевые слова: диатомовые водоросли; река Припять; старичное озеро; *Ceratophyllum demersum* L.; эпифитон; экологическая структура

Работа выполнялась по проблеме инвентаризации флор заповедных территорий и дополняет имеющиеся литературные данные по фитопланктону (Михеева..., 2016). В обрастаниях роголистника (*Ceratophyllum demersum* L.) выявлен богатый состав диатомовых водорослей с различной долей их участия в ценотической структуре (Свирид и др., 2019; Голова и др., 2021; Свирид и др., 2023).

В настоящем сообщении изложены результаты сравнения таксономического состава и экологической структуры комплексов диатомовых водорослей эпифитона *Ceratophyllum demersum* р. Припять (июль 2010 г.), сточно-проточной старицы низкой поймы Старуха (июль 2015 г.) и непроточной старицы высокой поймы, давно потерявшей гидрологическую связь с рекой Теремшино (июль 2015 г.). В ряду анализируемых водоемов снижается проточность и гидрокарбонатно-кальциевая минерализация водной массы (от высоко- к средне- и низкой). Сумма ионов в реке 386,7 мг/дм³, в оз. Старуха – 281,8 и Теремшино – до 100 мг/дм³ (Власов и др., 2011).

Активная реакция воды в реке близкая к нейтральной (водородный показатель pH летом 6,89), в старице Старуха – слабощелочная (pH в среднем 7,9), в Теремшино – слабокислая (pH 5,95). Наибольшее своеобразие физико-химических характеристик имеет непроточная старица.

В составе эпилитона *Ceratophyllum demersum* обнаружен богатый видовой состав: в р. Припять – 58 видов и внутривидовых таксонов диатомовых водорослей, оз. Старуха – 68, оз. Теремшино – 66. Систематический список составлен по системе, принятой в научном издании «Определитель диатомовых водорослей России» (Куликовский и др., 2016). Для выявления экологических характеристик видов использовали литературные источники (Давыдова, 1985; Трифонова, 1994; Баринова и др., 2006 и др.). В списке 113 видов диатомовых водорослей, принадлежащих к 3 классам, 13 порядкам, 18 семействам, 37 родам. Доминирующим по видовому богатству является класс *Bacillariophyceae*, который включает 8 порядков, 13 семейств, 24 рода и 79 видов водорослей. Класс *Fragilariophyceae* содержит 20 видов диатомей, 8 родов, 2 семейства, относящиеся к 2 порядкам *Fragilariales* и *Tabellariales*. Класс *Coscinodiscophyceae* представлен тремя порядками (*Stephanodiscales*, *Melosirales*, *Aulacoseirales*), тремя семействами и пятью родами, включающими 9 видов.

Наблюдается средний уровень флористического сходства для реки и озера Старуха (коэффициент Жаккара равен 55,7%) и низкий – при попарном сравнении остальных водоемов. Коэффициент Жаккара для реки и озера Теремшино 35,3%, для озер Старуха и Теремшино – 33,3%.

В диатомовых комплексах эпилитона реки Припять, стариц Старуха и Теремшино по числу видов получены сходные показатели: преобладают обрастатели (37%, 41 % и 38%, соответственно), донные формы составляют 24, 31 и 35%, соответственно, планктонные – по 20%, что отражает их мелководность и зарастаемость. По численности доли донных видов в структуре комплексов уменьшились до 3-х раз и показали в целом сходные для трех водоемов величины (16,5%, 9,3 и 11,7%, соответственно). Доля обрастателей выросла в 1,4 раза в р. Припять (52,3% численности), и снизилась почти в 3 и в 2 раза в старицах низкой и высокой поймы (13,9% и 16,2% численности, соответственно). Доля участия планктонных видов в формировании численности выросла в 1,4 раза, 3,7 и 3,6 раз по сравнению с их долей по видовому богатству в ряду р. Припять, старицы Старуха и Теремшино и составила, соответственно, 27%, 74% и 71%, на что повлияло, по-видимому, снижение проточности.

По отношению к галобности преобладают в ряду р. Припять, старицы Старуха и Теремшино олигогалобы-индифференты как по числу видов (78%, 71% и 74%, соответственно), так и по численности (89%, 94% и 93%, соответственно). Галофилы по числу видов имеют близкие величины в структуре сообществ сравниваемых водоемов (12%, 12% и 11%, соответственно), а по численности их доля более высокая в диатомовом комплексе р. Припять (около 9%) и снижается до 4 и 3% в старицах Старуха и Теремшино. Галофобы по числу видов более разнообразны, как и следовало ожидать, в низкоминерализованном оз. Теремшино (около 8% видов и 1,2% численности). В р. Припять и оз. Старуха их доли по числу видов составляют 1,7 и 1,5%, а создают они по 0,14% численности сообщества. Доля галофобов в оз. Теремшино выше в 5 раз по числу видов и 9 раз по численности в сравнении с рекой и оз. Старуха.

По отношению к pH в сравниваемых водоемах (река, старицы низкой и высокой поймы) разнообразно представлены алкалофильные виды (67%, 59% и 60%), создающие соответственно, 77%, 78% и 32% численности диатомовых комплексов. Доли индифферентов также значительны (19%, 15% и 22% числа видов и 7,6%, 5,4% и 4,5% численности диатомовых комплексов, соответственно), что обусловлено химическим составом вод и соответствуют пресноводным диатомовым флорам

умеренных широт. Ацидофилы представлены менее разнообразно (5,1, 5,8 и 6,1% числа видов, создающих 1,6, 1,0 и 0,9% численности, соответственно). Алкалибионты объединяют в составе диатомовых комплексов эпифитона 5,1%, 8,8% и 6,1% числа видов и создают, соответственно, 11,5%, 12,5% и 61,8% численности в указанном ряду водоемов. Большая доля численности алкалибионтов в структуре диатомового комплекса слабокислотного оз. Теремшино обусловлена массовым развитием (60,3% численности) вида *Cyclotella dubius* (Fricke) Round. Он является показателем высокой трофности водоема и, возможно, обитание бобров у берега, с которого проходил отбор проб в оз. Теремшино, создало для него благоприятные условия.

Таким образом, результаты исследования показали, что в изученных диатомовых комплексах эпифитона по градиенту снижения проточности, общей минерализации и в некоторой степени щелочности от реки к разновозрастным озерам старичного генезиса снижаются доли обрастателей и донных видов, доля галофилов в формировании численности сообщества и повышается роль планктонных, галофобов. Таксономический состав, структура диатомовых комплексов изменяются в соответствии с изменением химического состава вод водоемов и наиболее своеобразны в старице высокой поймы.

В докладе обсуждены также дифференциальные виды, присутствующие в составе одного из диатомовых сообществ, наличие которых подтверждают уникальность альгологических комплексов фитопланктона (Михеева, 2016).

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов, требующего раскрытия в данной статье.

Список литературы

1. Барина С.С., Медведева О.В., Анисимова О.В. Биоразнообразие водорослей-индикаторов окружающей среды. – Тель-Авив: Pilies Studio, 2006. – 498 с.
2. Власов Б.П., Архипенко Т.В., Рудаковский И.А., Зарубов А.И. Водные ресурсы Национального парка «Припятский». – Минск: БГПУ, 2011. – 96 с.
3. Голова Е.А., Свирид А.А., Самойленко В.М., Семеняк А.Н., Вороняев И.В. Видовой состав и экологическая характеристика летнего комплекса диатомовых водорослей эпифитона старичного озера Старуха (НП «Припятский») // Диатомовые водоросли: морфология, биология, систематика, флористика, экология, палеогеография, биостратиграфия: материалы XVII Междунар. науч. конф. (Минск, 23–28 авг. 2021 г.). – Минск, 2021. – С. 43.
4. Давыдова Н.Н. Диатомовые водоросли – индикаторы природных условий в голоцене. – Л.: Наука. Ленингр. отд-ние, 1985. – 244 с.
5. Куликовский М.С., Глуценко А.М., Генкал С.И., Кузнецова И.В. Определитель диатомовых водорослей России. – Ярославль: Филигрань, 2016. – 804 с.
6. Михеева Т.М., Свирид А.А., Хурсевич Г.К., Лукьянова Е.В. Водоросли планктона водоемов и водотоков Национального парка «Припятский». – Минск: Право и экономика, 2016. – 325 с.
7. Свирид А.А., Михеева Т.М., Голова Е.А. Видовой состав диатомовых водорослей перифитона старичного озера Теремшино (Национальный парк «Припятский») // Вопросы современной альгологии. 2019. № 2 (20). С. 150–153. URL: <http://algology.ru/1517>
8. Свирид А.А., Михеева Т.М., Петров В.Н. Видовой состав летнего комплекса диатомовых водорослей эпифитона *Ceratophyllum demersum* L. в реке Припять (Национальный парк «Припятский») // Вопросы современной альгологии. 2023. №2 (32). С. 62–64. URL: <http://algology.ru/2051>. DOI: [https://doi.org/10.33624/2311-0147-2023-2\(32\)-62-64](https://doi.org/10.33624/2311-0147-2023-2(32)-62-64)
9. Трифонова И.С. Закономерности изменения фитопланктонных сообществ при эвтрофировании озер: дис... докт. биол. наук в форме науч. докл. 03.00.05. – С.-Петербург, 1994. – 77 с.

Статья поступила в редакцию 18.06.2025; поступила после доработки 19.08.2025; принята к публикации 28.08.2025

Сведения об авторах

Свирид Анна Анатольевна – к.б.н., доцент, Белорусский государственный педагогический университет им. Максима Танка, Беларусь, Минск (Maxim Tank Belarusian State Pedagogical University,

Belarus, Minsk), факультет естествознания, каф. биологии и методики преподавания биологии; sviridanna.61@mail.ru; ORCID – <https://orcid.org/0000-0001-7388-938X>; SPIN-код 2859-2694.

Михеева Тамара Михайловна – д.б.н., доцент, г.н.с., Белорусский государственный университет, Беларусь, Минск (Belarusian State University, Belarus, Minsk), биологический факультет, научно-исследовательская лаборатория гидроэкологии; mikheyevatamara@mail.ru; ORCID – <https://orcid.org/0009-0003-1868-1246>.

Петров Владимир Николаевич – н.с., Институт экспериментальной ботаники НАН Беларуси, Беларусь, Минск (Institute of Experimental Botany, NAS of Belarus, Belarus, Minsk), лаборатория геоботаники и картографии растительности; petrov.vl@tut.by; ORCID – <https://orcid.org/0000-0002-0713-8710>.

Кавцевич Валентина Николаевна – к.б.н., доцент, Белорусский государственный педагогический университет им. Максима Танка, Беларусь, Минск (Maxim Tank Belarusian State Pedagogical University, Belarus, Minsk), факультет естествознания, каф. биологии и методики преподавания биологии; kavtsevich1958@gmail.com; ORCID – <https://orcid.org/0009-0009-8974-8296>; SPIN-код 7538-2694.

Богданович Марина Сергеевна – ст. преподаватель, Белорусский государственный педагогический университет им. Максима Танка, Беларусь, Минск (Maxim Tank Belarusian State Pedagogical University, Belarus, Minsk), факультет естествознания, каф. биологии и методики преподавания биологии; mari-95sport@mail.ru; ORCID – <https://orcid.org/0009-0003-7334-1199>.

Корреспондентский адрес: Беларусь, 220030, Минск, ул. Советская, 18, БГПУ, тел. (017) 311-23-52.

Diatoms of *Ceratophyllum demersum* L. epiphyton in the Pripyat river and left-bank of the oxbow lakes (The National park “Pripyatsky”)

Anna A. Svirid¹, Tamara M. Mikheyeva², Vladimir N. Petrov³,
Valentina N. Kavtsevich¹, Marina S. Bogdanovich¹

¹Maxim Tank Belarusian State Pedagogical University (Belarus, Minsk)

²Belarusian State University (Belarus, Minsk)

³Institute of Experimental Botany, NAS of Belarus (Belarus, Minsk)

A comparison was made of the species composition and ecological structure of the diatom algae complexes of the epiphyton *Ceratophyllum demersum* of the Pripyat River (July 2010), the waste-flowing oxbow lake of the low floodplain Starukha (July 2015) and the stagnant oxbow lake of the high floodplain Teremshino (July 2015). An average level of floristic similarity is observed for the River and Starukha Lake (the Jaccard coefficient is 55.7%) and a low level (35.3 and 33.3%) for the other water bodies when pairwise comparing them.

Key words: Diatoms; Pripyat River; oxbow lake; *Ceratophyllum demersum* L.; epiphyton; ecological structure

References

1. Barinova S.S., Medvedeva O.V., Anisimova O.V. Biodiversity of algae-environmental indicators. Pilies Studio, Tel'-Aviv, 2006. 498 p. (In Russ.)
2. Vlasov B.P., Arkhipenko T.V., Rudakovskiy I.A., Zarubov A.I. Water resources of the Pripyatsky National Park. BSPU, Minsk, 2011. 96 p.
3. Golova E.A., Svirid A.A., Samoylenko V.M., Semenyak A.N., Voronyaev I.V. Species composition and ecological characteristics of the summer complex of diatoms of the epiphyton of the old lake Starukha (NP "Pripyatsky"). Diatoms: morphology, biology, systematics, floristics, ecology, paleogeography, biostratigraphy: Proceedings of the XVII International Scientific Conference (Minsk, Aug 23-28, 2021). Minsk, 2021. P. 43.
4. Davydova N.N. Diatoms – indicators of natural conditions in the Holocene. Nauka, Leningrad, 1985. 244 p.
5. Kulikovskiy M.S., Glushchenko A.M., Genkal S.I., Kuznetsova I.V. Determinant of Russian diatoms. Filigree, Yaroslavl, 2016. 804 p.

6. Mikheeva T.M., Svirid A.A., Khursevich G.K., Lukyanova E.V. Algae of plankton of reservoirs and watercourses of the Pripyat National Park. Law and Economics, Minsk, 2016. 325 p.

7. Svirid A.A., Mikheyeva T.M., Holova E.A. Species composition of diatom algae of the periphyton in the oxbow lake Teremshino (National park “Pripyatsky”). *Voprosy sovremennoi algologii (Issues of modern algology)*. 2019. №2(20). P. 150–153. URL: <http://algology.ru/1517>. DOI: [https://doi.org/10.33624/2311-0147-2019-2\(20\)-150-153](https://doi.org/10.33624/2311-0147-2019-2(20)-150-153)

8. Svirid A.A., Mikheyeva T.M., Petrov V.N. Species composition of summer diatoms complex of *Ceratophyllum demersum* L. epiphyton in the Pripyat river (The national park «Pripyatsky»). *Voprosy sovremennoi algologii (Issues of modern algology)*. 2023. № 2(32). P. 62–64. URL: <http://algology.ru/2051>. DOI – [https://doi.org/10.33624/2311-0147-2023-2\(32\)-62-64](https://doi.org/10.33624/2311-0147-2023-2(32)-62-64)

9. Trifonova I.S. Patterns of changes in phytoplankton communities during lake eutrophication: DPhil Thesis. St. Petersburg, 1994. 77 p.

ССЫЛКА НА СТАТЬЮ:

Свирид А.А., Михеева Т.М., Петров В.Н., Кавцевич В.Н., Богданович М.С.
Диатомовые водоросли эпифитона *Ceratophyllum demersum* L. реки Припять и
левобережных старичных озер (НП «Припятский») // Вопросы современной альгологии.
2025. № 1 (37). P. 146–150. URL: <http://algology.ru/2155>

Svirid A.A., Mikheyeva T.M., Petrov V.N., Kavtsevich V.N., Bogdanovich M.S.
Diatoms of *Ceratophyllum demersum* L. epiphyton in the Pripyat River and left-bank of the
oxbow lakes (The National park “Pripyatsky”). *Voprosy sovremennoi algologii (Issues of*
***modern algology)*. 2025. № 1 (37). P. 146–150. URL: <http://algology.ru/2155>**

DOI – [https://doi.org/10.33624/2311-0147-2025-1\(37\)-146-150](https://doi.org/10.33624/2311-0147-2025-1(37)-146-150); EDN – CGNVOQ

**Диатомовые водоросли рода *Pseudo-nitzschia*
H. Peragallo in H. Peragallo & M. Peragallo из
Дальневосточных морей России:
некоторые итоги исследований**

**The diatom genus *Pseudo-nitzschia* H. Peragallo &
H. Peragallo from the Far Eastern seas of Russia:
some results of the studies**

Стоник И.В., Орлова Т.Ю.

Inna V. Stonik, Tatiana Yu. Orlova

*Национальный научный центр морской биологии имени А.В. Жирмунского ДВО РАН –
ННЦМБ ДВО РАН (Владивосток, Россия)*

Обобщены результаты изучения видового и генетического разнообразия, распространения и распределения плотности диатомовых водорослей рода *Pseudo-nitzschia*, вызывающих токсичные «цветения» в дальневосточных морях РФ. Приведены сведения о содержании опасного амнезического токсина (домоевой кислоты) в лабораторных культурах *Pseudo-nitzschia*, выявлены виды-источники его накопления в двустворчатых моллюсках из российских вод Японского моря. Результаты важны для прогнозирования и контроля содержания фикотоксинов в продуктах морского происхождения на территории РФ.

Ключевые слова: *Pseudo-nitzschia*; распространение; домоевая кислота; дальневосточные моря России

Род *Pseudo-nitzschia* H. Peragallo in H. & M. Peragallo – морской планктонный, к настоящему времени объединяет около 50 видов диатомей, 26 из которых известны как продуценты домоевой кислоты (ДК) – нейротоксина, вызывающего амнезическое отравление моллюсками (Amnesic Shellfish Poisoning или ASP) у человека, и отравление домоевой кислотой (Domoic Acid Poisoning или DAP) морских млекопитающих и птиц (Bates et al., 2018). Угроза возникновения ASP и DAP, существующая на прибрежных морских акваториях, определила необходимость комплексных исследований видового и генетического разнообразия, распространения видов, распределения их плотности и токсичности представителей рода *Pseudo-nitzschia* из дальневосточных морей России.

Цель настоящей работы – суммировать основные результаты оригинальных исследований видового и генетического разнообразия, распространения и плотности представителей рода *Pseudo-nitzschia* и содержания ДК в диатомовых водорослях этого рода, найденных в Японском и Охотском морях и в прибрежных водах Камчатки и на сопредельных акваториях.

Материалом послужили свыше 600 батометрических проб фитопланктона из залива Петра Великого Японского моря и прибрежных вод о. Сахалин, собранных

в период с 1991 г. по 2015 г., и свыше 1000 батометрических и сетных проб, собранных в разные сезоны с 1982 г. по 2023 г. у берегов Камчатки. В российских водах Японского и Охотского морей содержание ДК изучено в материалах лабораторных культур 4 видов *Pseudo-nitzschia* (9 клонов), а в прибрежных водах Камчатки – в лабораторных культурах 2 видов (2 клона).

Составлен таксономический обзор, обобщающий оригинальные сведения об 11 видах *Pseudo-nitzschia* из Японского и Охотского морей, их морфологии, экологии и распространении (Stonik et al., 2011). Вследствие нахождения *P. hasleana* Lundholm (Стоник и др., 2018) в Японском море и у берегов Камчатки общее число видов рода, найденных в дальневосточных морях РФ достигло 12. Вид *P. seriata* (P.T. Cleve) H. Peragallo впервые найден в Тихом океане. Вид *P. cf. cacciantha* Lundholm, Moestrup & Hasle впервые найден в северо-западной Пацифике. Виды *P. cf. heimii* Manguin и *P. multistriata* Takano впервые отмечены в Охотском море.

Установлено, что виды *P. americana* (Hasle) Fryxell, *P. calliantha* Lundholm, Moestrup & Hasle, *P. delicatissima* (Cleve) Heiden, *P. multistriata*, *P. multiseriata* (Hasle) Hasle и *P. pungens* (Grunow ex Cleve) Hasle широко распространены в районе исследования и вызывают «цветение» воды в прибрежных районах Японского и Охотского морей. Наиболее высокие значения плотности *Pseudo-nitzschia* (свыше 10^5 кл · л⁻¹) отмечены в заливе Петра Великого, в заливе Анива, у северо-восточного побережья о. Сахалин, а также в Амурском лимане и в прилегающих водах (Stonik et al., 2011; Стоник, Орлова, 2013).

Впервые выполнена молекулярно-генетическая идентификация 15 клонов массовых видов *Pseudo-nitzschia*, изолированных из российских вод Японского моря. Филогенетический анализ нуклеотидных последовательностей LSU и ITS1-5,8S rDNA-ITS2 выявил принадлежность изученных клонов к 5 видам (*P. calliantha*, *P. hasleana*, *P. multistriata*, *P. pungens* var. *pungens* и *P. delicatissima*). В пределах клады вида *P. delicatissima* отмечено криптическое генетическое разнообразие. Впервые установлены внутривидовые вариации у *P. multistriata*, включая наличие возможно рекомбинантного ITS-субтипа, что предполагает гибридизацию локальных популяций вида в районе исследования (Стоник и др., 2018).

Дополнены имеющиеся в научной литературе данные о глобальном распространении *P. seriata* (Hasle, 2002). Ранее предполагали, что распространение этого вида ограничено исключительно водами Северной Атлантики (Hasle, 2002). Нами установлено, что вид широко распространен в Северной Пацифике, а на основе анализа литературных данных и оригинальных наблюдений сделан вывод, что *P. seriata* отмечен в северной части Атлантического и Тихого океанов и, по-видимому, имеет аркто-бореальное распространение. Получены новые данные о глобальном распространении видов *P. cf. cacciantha* и *P. multistriata*, которые найдены в северо-западной Пацифике гораздо севернее, чем предполагалось ранее. В ходе предыдущих исследований было установлено, что распространение этих видов на север в Тихом океане ограничивалось заливом Анива Охотского моря (Stonik et al., 2011) для *P. cf. cacciantha* и Токийским заливом (Hasle, 2002) и Сахалинским заливом Охотского моря (Stonik et al., 2011) для *P. multistriata*. Согласно данным наших недавних исследований, северные точки нахождения *P. cf. cacciantha* и *P. multistriata* – прибрежные районы юго-западной части Берингова моря и центральная часть Берингова моря соответственно (Орлова и др., 2024). Таким образом, эти виды широко распространены в тропических и умеренных водах Северной Пацифики и, по-видимому, могут быть охарактеризованы как тропическо-бореальные.

Показано наличие ДК в лабораторных культурах *P. multistriata*, *P. calliantha*, *P. delicatissima* и *P. pungens* var. *pungens* из залива Петра Великого Японского моря. Наиболее высокое внутриклеточное содержание амнезиотоксина установлено в культурах *P. multistriata* и *P. calliantha* (до 0,57 и 0,44 пг · кл⁻¹ соответственно) (Stonik et

al., 2019). Эти два вида установлены в качестве источников накопления ДК в моллюсках из Японского моря (Stonik et al., 2019; Стоник и др., 2023).

У берегов Камчатки отмечено 10 видов *Pseudo-nitzschia*, среди которых находки 5 видов (*P. americana*, *P. cacciantha*, *P. hasleana*, *P. cf. heimii* и *P. multistriata*) впервые задокументированы в этом районе (Орлова и др., 2024). Впервые было подтверждено присутствие ДК в культурах двух видов *Pseudo-nitzschia* (*P. delicatissima* и *P. pungens* при суммарных концентрациях 159 и 2663 пг · мл⁻¹ соответственно), изолированных из тихоокеанских вод Камчатки (Стоник и др., 2023). Полученные данные могут быть использованы в качестве основы для продолжения мониторинга токсичных диатомей в дальневосточных морях России.

Работа выполнена в рамках госзадания ННЦМБ ДВО РАН (№121082600038-3).

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов, требующего раскрытия в данной статье.

Список литературы

1. Орлова Т.Ю., Селина М.С., Стоник И.В., Морозова Т.В., Бегун А.А., Лепская Е.В. Фитопланктон прибрежных вод Камчатки и сопредельных вод // А.В. Адрианов (ред.) – Владивосток.: Изд-во «ЛИТ», 2024. – 184 с.
2. Стоник И.В., Исаева М.П., Айздайчер Н.А., Балакирев Е.С., Айала Ф.Д. Морфологическая и генетическая идентификация – *Pseudo-nitzschia* H. Peragallo, 1900 (Bacillariophyta) из Японского моря // Биология моря. 2018. Т.44, №3. С. 162–171. DOI: <https://doi.org/10.1134/S1063074018030100>
3. Стоник И.В., Орлова Т.Ю. Видовой состав и количественное распределение диатомовых водорослей рода *Pseudo-nitzschia* H. Peragallo, 1900 в российских водах Японского и Охотского морей // Биология моря. 2013. Т.39, №4. С. 246–253. DOI: <https://doi.org/10.1134/S106307401304010X>
4. Стоник И.В., Попов Р.С., Цурпало А.П., Дмитренко П.С., Щелканов М.Ю., Орлова Т.Ю. Домоевая кислота в лабораторных культурах диатомовых водорослей рода *Pseudo-nitzschia* H. Peragallo in H. Peragallo & M. Peragallo и пробах моллюсков из российских вод Японского моря и тихоокеанских вод Камчатки // Биология моря. 2023. Т.49, №5. С. 313–318. DOI: <https://doi.org/10.1134/S1063074023050115>
5. Bates S.S., Hubbard K.A., Lundholm N., Montresor M., Leaw C.P. *Pseudo-nitzschia*, *Nitzschia*, and domoic acid: new research since 2011 // Harmful Algae. 2018. V.79. P. 3–43. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.hal.2018.06.001>
6. Hasle G.R. Are most of the domoic acid-producing species of the diatom genus *Pseudo-nitzschia* cosmopolites? // Harmful algae. 2002. V.1, №2. P. 137–146. [https://doi.org/10.1016/S1568-9883\(02\)00014-8](https://doi.org/10.1016/S1568-9883(02)00014-8)
7. Stonik I.V., Orlova T.Y., Aizdaicher N.A., Morozova T.V., Chikalovets I.V., Aleksanin A.I., Kachur V.A. *Pseudo-nitzschia* species (Bacillariophyceae) and the domoic acid concentration in *Pseudo-nitzschia* cultures and bivalves from the northwestern Sea of Japan, Russia // Nova Hedwigia. 2019. V.108, №1–2. P. 73–93. DOI: https://doi.org/10.1127/nova_hedwigia/2018/0502
8. Stonik I.V., Orlova T.Yu., Lundholm N. Diversity of *Pseudo-nitzschia* H. Peragallo from the western North Pacific // Diatom Res. 2011. V.26. P. 121–134. DOI: <https://doi.org/10.1080/0269249X.2011.573706>

Статья поступила в редакцию 18.06.2025; поступила после доработки 08.08.2025; принята к публикации 28.08.2025

Сведения об авторах

Стоник Инна Валентиновна – к.б.н., с.н.с., Национальный научный центр морской биологии им. А.В. Жирмунского ДВО РАН (ННЦМБ ДВО РАН), Россия, Владивосток (Zhirmunsky National Scientific Center of Marine Biology, Far Eastern Branch, RAS, Russia, Vladivostok); innast2004@mail.ru; ORCID – <https://orcid.org/0000-0003-1467-0374>; SPIN-код 9055-1244.

Орлова Татьяна Юрьевна – к.б.н., зам. директора, зав. лаб., Национальный научный центр морской биологии им. А.В. Жирмунского ДВО РАН (ННЦМБ ДВО РАН), Россия, Владивосток (Zhirmunsky National Scientific Center of Marine Biology, Far Eastern Branch, RAS, Russia, Vladivostok), Лаборатория морской микробиоты; torlova06@mail.ru; ORCID – <https://orcid.org/0000-0002-5246-6967>; SPIN-код 1604-9058.

Корреспондентский адрес: Россия, 690041, Владивосток, ул. Пальчевского, 17, ННЦМБ ДВО РАН, тел. (423) 231-09-05.

The diatom genus *Pseudo-nitzschia* H. Peragallo & H. Peragallo from the Far Eastern seas of Russia: some results of the studies

Inna V. Stonik, Tatiana Yu. Orlova

Zhirmunsky National Scientific Center of Marine Biology, Far Eastern Branch, RAS (Russia, Vladivostok)

The results of the studies of species and genetic diversity, distribution, and density of diatoms belonging to the genus *Pseudo-nitzschia* causing toxic bloom events in the Far Eastern seas of the Russian Federation are summarized. Information on the content of dangerous amnesic toxin (domoic acid) in laboratory cultures of *Pseudo-nitzschia* is given, and the causative species of domoic acid accumulation in bivalves from Russian waters of the Sea of Japan are identified. The results are important for prediction and control of phycotoxin content in products of marine origin in the Russian Federation.

Key words: *Pseudo-nitzschia*; distribution; domoic acid; Far Eastern seas of Russia

References

1. Bates S.S., Hubbard K.A., Lundholm N., Montresor M., Leaw C.P. *Pseudo-nitzschia*, *Nitzschia*, and domoic acid: new research since 2011 // *Harmful Algae*. 2018. V.79. P. 3–43. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.hal.2018.06.001>
2. Hasle G.R. Are most of the domoic acid-producing species of the diatom genus *Pseudo-nitzschia* cosmopolites? // *Harmful algae*. 2002. V.1, №2. P. 137–146. [https://doi.org/10.1016/S1568-9883\(02\)00014-8](https://doi.org/10.1016/S1568-9883(02)00014-8)
3. Orlova T.Yu., Selina M.S., Stonik I.V., Morozova T.V., Begun A.A., Lepskaya E.V. Phytoplankton of coastal waters of Kamchatka and adjacent waters. LIT, Vladivostok, 2024. 184 p.
4. Stonik I.V., Isaeva M.P., Aizdaicher N.A., Balakirev E.S., Ayala F.J. Morphological and Genetic Identification of *Pseudo-nitzschia* H. Peragallo, 1900 (Bacillariophyta) from the Sea of Japan. *Russ J Mar Biol*. 2018. V.44. P. 192–201. DOI: <https://doi.org/10.1134/S1063074018030100>
5. Stonik I.V., Orlova T.Y. The species composition and quantitative distribution of the diatom genus *Pseudo-nitzschia* H. Peragallo, 1990 in Russian waters of the Sea of Japan and the Sea of Okhotsk. *Russ J Mar Biol*. 2013. V.39. P. 238–245. <https://doi.org/10.1134/S106307401304010X>
6. Stonik I.V., Orlova T.Y., Aizdaicher N.A., Morozova T.V., Chikalovets I.V., Aleksanin A.I., Kachur V.A. *Pseudo-nitzschia* species (Bacillariophyceae) and the domoic acid concentration in *Pseudo-nitzschia* cultures and bivalves from the northwestern Sea of Japan, Russia. *Nova Hedwigia*. 2019. V.108, №1–2. P. 73–93. DOI: https://doi.org/10.1127/nova_hedwigia/2018/0502
7. Stonik I.V., Orlova T.Yu., Lundholm N. Diversity of *Pseudo-nitzschia* H. Peragallo from the western North Pacific. *Diatom Res*. 2011. V.26. P. 121–134. DOI: <https://doi.org/10.1080/0269249X.2011.573706>
8. Stonik I.V., Popov R.S., Tsurpalo A.P., Dmitrenok P.S., Shchelkanov M.Yu., Orlova T.Yu. Domoic Acid in Cultures of the Diatom Genus *Pseudo-nitzschia* H. Peragallo in H. Peragallo & M. Peragallo, 1900 and in Bivalve Samples from the Russian Waters of the Sea of Japan and the Pacific Waters of Kamchatka. *Russ J Mar Biol*. 2023. V.49. P. 355–360. DOI: <https://doi.org/10.1134/S1063074023050115>

ССЫЛКА НА СТАТЬЮ:

Стоник И.В., Орлова Т.Ю. Диатомовые водоросли рода *Pseudo-nitzschia* H. Peragallo in H. Peragallo & M. Peragallo из Дальневосточных морей России: некоторые итоги исследований // *Вопросы современной альгологии*. 2025. № 1 (37). P. 151–154. URL: <http://algology.ru/2156>

Stonik I.V., Orlova T.Yu. The diatom genus *Pseudo-nitzschia* H. Peragallo & H. Peragallo from the Far Eastern seas of Russia: some results of the studies. *Voprosy sovremennoi algologii (Issues of modern algology)*. 2025. № 1 (37). P. 151–154. URL: <http://algology.ru/2156>

DOI – [https://doi.org/10.33624/2311-0147-2025-1\(37\)-151-154](https://doi.org/10.33624/2311-0147-2025-1(37)-151-154); EDN – CRKLIU

Материалы к флоре диатомовых водорослей высокогорных рек Карачаево-Черкесской Республики

Materials on the diatom flora of high-mountain rivers in the Karachay-Cherkess Republic

Хубаева Ф.А., Кухарук М.Ю.

Fatima A. Khubaeva, Maksim J. Kukharuk

*Северо-Кавказский федеральный университет – ФГАОУ ВО «СКФУ»
(Ставрополь, Россия)*

В ходе исследования проведен анализ проб планктонных и бентосных диатомовых водорослей, отобранных в октябре 2024 года в высокогорной реке Адыл-Су (Кабардино-Балкарская Республика). Из полученного материала выделено 10 чистых культур, которые подверглись дальнейшей обработке и генотипированию.

Ключевые слова: диатомовые водоросли; Адыл-Су; высокогорные экосистемы; секвенирование; 18S рРНК

Диатомовые водоросли (Bacillariophyta) представляют собой высокоразнообразную таксономическую группу, играющую существенную роль в водных экосистемах. Их изучение имеет важное научное значение в связи с выраженными биоиндикационными свойствами, особенно в отношении горных речных систем. В рамках данного исследования проведен анализ диатомовых водорослей реки Адыл-Су (Карачаево-Черкесская Республика). Отбор пробного материала осуществлен в октябре 2024 года с применением планктонной сети, илососа и соскоба налета с камней.

Река Адыл-Су представляет собой типичный водоток альпийского типа, расположенный в Карачаево-Черкесской Республике. Имея протяженность 14 км и среднюю ширину русла 8–12 метров, река берет начало на высоте 2800 метров над уровнем моря у ледников южного склона Эльбруса.

Важной гидрохимической особенностью Адыл-Су является повышенная минерализация воды (до 350 мг/л) и постоянная мутность, о чем свидетельствует низкая прозрачность по диску Секки (0,4 м), что обусловлено преобладанием ледникового питания. Эти параметры позволяют классифицировать Адыл-Су как холодноводный водоем альпийского типа с характерными гидрологическими и гидрохимическими показателями, типичными для высокогорных рек Кавказского региона.

Из 4 образцов, отобранных из проб воды, было выделено 10 культур бентосных и перифитонных диатомей, представителей следующих родов: *Gomphonema*, *Hantzschia*, *Encyonema*, *Diatoma* (рис. 1).

Экстракцию ДНК проводили с использованием набора «МагноПрайм ГМО» на магнитном штативе. Для последующей ПЦР-амплификации использовали специфический праймер для участка V4 гена 18S рРНК: D512_F и D978_R (по методике Kezlya et al., 2023).

Первичный контроль результатов амплификации осуществляли методом электрофореза в агарозном геле. Полученные ПЦР-продукты подвергали очистке с применением набора «ColGen» с последующим повторным электрофоретическим контролем качества.

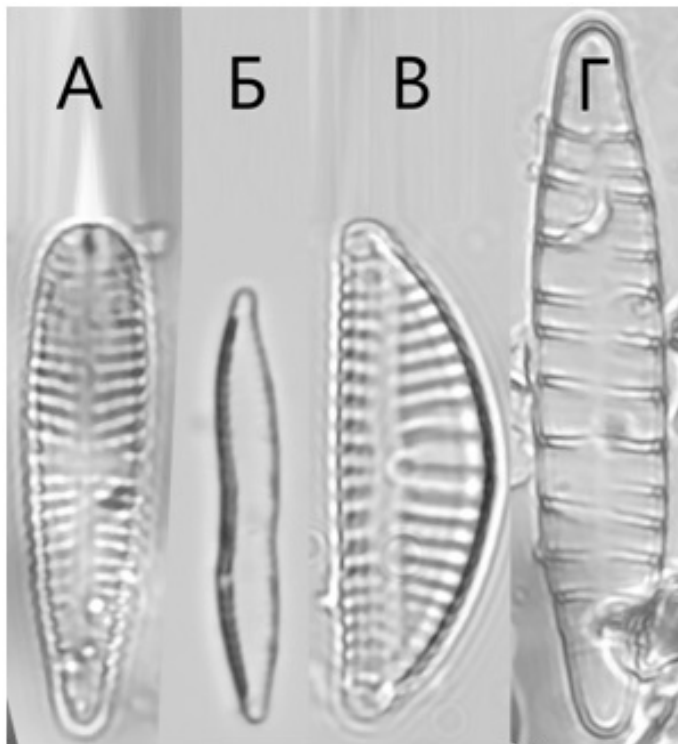


Рис. 1. Фотографии диатомовых водорослей родов: **А** – *Gomphonema*, **Б** – *Hantzschia*, **В** – *Encionema*, **Г** – *Diatoma*

Fig. 1. Photos of diatoms of genera: **A** – *Gomphonema*, **B** – *Hantzschia*, **V** – *Encionema*, **Г** – *Diatoma*

Для микроскопического анализа были подготовлены постоянные препараты с использованием смолы Эляшева. Исследование образцов проводили с применением микроскопа Zeiss Axio Imager A2, оснащенного цифровой камерой Axio Cam ERc 5s. Полученные микрофотографии обрабатывали в программе ZEN 3 Pro, а таксономическую идентификацию осуществляли согласно "Определителю диатомовых водорослей России" (Куликовский, 2016).

Генетический анализ включал секвенирование ДНК с использованием набора GenSeq на платформе Нанофор 05 по стандартному протоколу.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов, требующего раскрытия в данной статье.

Список литературы

1. Куликовский М.С., Глущенко А.М., Генкал С.И., Кузнецова И.В. Определитель диатомовых водорослей России. – Ярославль: Общество с ограниченной ответственностью "Филигрань", 2016. – 804 с. – ISBN 978-5-906682-72-7.
2. Ресурсы поверхностных вод СССР: Гидрологическая изученность. Т. 8. Северный Кавказ / под ред. Д. Д. Мордухай-Болтовского. — Л.: Гидрометеиздат, 1964. — 309 с.

3. Kezlya E., Tseplik N., Kulikovskiy M. Genetic Markers for Metabarcoding of Freshwater Microalgae: Review // *Biology*. 2023. V.12, №7. ID 1038. DOI: <https://doi.org/10.3390/biology12071038>

4. Rimet F., Gusev E., Kahlert M., Kelly M., Kulikovskiy M., Maltsev Y., Mann D., Pfannkuchen M., Trobajo R., Vasselon V., Zimmermann J., Bouchez A. Diat. barcode, an open-access curated barcode library for diatoms // *Sci. Rep.* 2019. V.9. ID 15116.

Статья поступила в редакцию 18.06.2025; поступила после доработки 29.07.2025; принята к публикации 28.08.2025

Сведения об авторах

Хубаева Фатима Алановна – Северо-Кавказский федеральный университет, Россия, Ставрополь (North-Caucasus Federal University, Russia, Stavropol); kuth87@mail.ru.

Кухарук Максим Юрьевич – к.б.н., зав. каф. ботаники, физиологии и биохимии растений, Северо-Кавказский федеральный университет, Россия, Ставрополь (North-Caucasus Federal University, Russia, Stavropol); kuth87@mail.ru; ORCID – <https://orcid.org/0000-0003-4093-5807>; SPIN-код 4343-9170.

Корреспондентский адрес: Россия, 355017, Ставрополь, ул. Пушкина, 1, СКФУ, тел. (8652) 33-06-60, доб. 51-05.

Materials on the diatom flora of high-mountain rivers in the Karachay-Cherkess Republic

Fatima A. Khubaeva, Maksim J. Kukharuk

North-Caucasus Federal University (Russia, Stavropol)

The study involved an analysis of planktonic and benthic diatom samples collected in October 2024 from the high-mountain Adyl-Su River (Kabardino-Balkarian Republic). From the obtained material, 10 pure cultures were isolated and subsequently processed for genotyping.

Key words: Diatoms; Adyl-Su; high-mountain ecosystems; sequencing; 18S rRNA

References

1. Kezlya E., Tseplik N., Kulikovskiy M. Genetic Markers for Metabarcoding of Freshwater Microalgae: Review. *Biology*. 2023. V.12, №7. ID 1038. DOI: <https://doi.org/10.3390/biology12071038>

2. Kulikovskiy M.S., Glushchenko A.M., Genkal S.I., Kuznetsova I.V. Determinant of Russian diatoms. Filigree Limited Liability Company, Yaroslavl, 2016. 804 p. (In Russ.)

3. Rimet F., Gusev E., Kahlert M., Kelly M., Kulikovskiy M., Maltsev Y., Mann D., Pfannkuchen M., Trobajo R., Vasselon V., Zimmermann J., Bouchez A. Diat. barcode, an open-access curated barcode library for diatoms. *Sci. Rep.* 2019. V.9. ID 15116.

4. Surface water resources of the USSR: Hydrological studies. V. 8. North Caucasus. D.D. Mordukhai-Boltovsky (Ed.). Gidrometeoizdat, Leningrad, 1964. 309 p. (In Russ.)

ССЫЛКА НА СТАТЬЮ:

Хубаева Ф.А., Кухарук М.Ю. Материалы к флоре диатомовых водорослей высокогорных рек Карачаево-Черкесской Республики // *Вопросы современной альгологии*. 2025. № 1 (37). P. 155–157. URL: <http://algology.ru/2158>

Khubaeva F.A., Kukharuk M.J. Materials on the diatom flora of high-mountain rivers in the Karachay-Cherkess Republic. *Voprosy sovremennoi algologii (Issues of modern algology)*. 2025. № 1 (37). P. 155–157. URL: <http://algology.ru/2158>

DOI – [https://doi.org/10.33624/2311-0147-2025-1\(37\)-155-157](https://doi.org/10.33624/2311-0147-2025-1(37)-155-157); EDN – DRAFWL

Диатомовые водоросли среднего течения реки Урал (Южный Урал, Россия)

Diatoms of the middle reaches of the Ural River (Southern Urals, Russia)

Яценко-Степанова Т.Н., Игнатенко М.Е.

Tatyana N. Yatsenko-Stepanova, Marina E. Ignatenko

Институт клеточного и внутриклеточного симбиоза УрО РАН (Оренбург, Россия)

На основе результатов собственных исследований и анализа литературных данных установлено, что флора диатомовых водорослей среднего течения р. Урал включает 219 таксонов рангом ниже рода, относящиеся к 63 родам, 29 семействам, 18 порядкам и трем классам. Оригинальные исследования выявили 27 видов диатомей, ранее не зарегистрированных на данном участке реки.

Ключевые слова: диатомовые водоросли, Оренбургская область, среднее течение реки

Река Урал — межгосударственный трансграничный водоток, третий по длине в Европе, уступающий по протяженности только Волге и Дунаю. Верховья реки находятся в республике Башкортостан и Челябинской области, средний участок расположен в Оренбургской области, а нижний — в Западно-Казахстанской и Атырауской областях Республики Казахстан. Общая длина реки составляет 2428 км, из них почти половина (1164 км) приходится на территорию Оренбургской области (Сивохиц, Чибилёв, 2014; Чибилёв и др., 2015).

Впервые о Bacillariophyta р. Урал (в пределах Оренбургской области) было упомянуто в работе И. А. Киселева (Киселев, 1954), где автор по однократным сборам описал водоросли водотока. Планомерные исследования альгофлоры реки были начаты с 70-х годов XX века (Блюмина 1971; Порядина, Эргашев, 1975) и продолжают по сегодняшний день. Однако специальных изысканий, посвященных Bacillariophyta среднего течения реки, никогда не проводилось. Кроме того, современные исследования диатомей вызвали масштабные таксономические преобразования этой группы водорослей (Куликовский, 2017), что, в свою очередь, потребовало пересмотра ранее собранных данных.

Целью настоящей работы явились изучение и ревизия (с учетом современной систематики и таксономии) видового состава диатомовых водорослей среднего течения р. Урал.

Работа выполнена на основе анализа литературных данных и фактического материала собственных исследований, который был отобран авторами в ходе экспедиций в период с мая по октябрь 2021 г. в 20 точках, расположенных в среднем течении р. Урал (в том числе Ириклинском водохранилище).

Инвентаризационные исследования Bacillariophyta среднего течения р. Урал позволили выявить и идентифицировать 219 таксонов рангом ниже рода, относящихся к 63 родам, 29 семействам, 18 порядкам и трем классам. Из них в проточной части р. Урал зарегистрировано 188 видов и разновидностей диатомей (60 родов, 28 семейств, 17 порядков, 3 класса), в Ириклинском водохранилище — 90 (36 родов, 23 семейства, 16 порядков, 3 класса).

В ходе проведенного исследования выявлены 27 видов Bacillariophyta, ранее не зарегистрированные в среднем течении р. Урал. Обилие найденных форм было незначительным, они встречались, как правило, единичными экземплярами, за исключением *Nitzschia aurariae* и *N. inconspicua*. Большинство из обнаруженных видов относятся к числу широко распространенных и отмечены в водоемах и водотоках различного лимнического типа, трофического уровня и минерализации. Вместе с тем были выявлены виды, для которых в России известны лишь единичные находки: *N. aurariae* (ранее зарегистрирована в водоемах юга Дальнего Востока (Сахалинская область)). Среди указанных 27 таксонов 19 являются новыми для флоры Оренбургской области.

Проведенные исследования позволили расширить и дополнить видовой состав диатомовых водорослей среднего течения р. Урал.

Работа выполнена в рамках госзадания Института клеточного и внутриклеточного симбиоза УрО РАН (№FUUG -2022-0007).

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов, требующего раскрытия в данной статье.

Список литературы

1. Блюмина Л.С. Фитопланктон // Дробкин Б.С. (ред). Гидробиология реки Урал. – Челябинск: Южно-Уральское книжное издательство, 1971. – С. 37–56.
2. Киселев И.А. Материалы к флоре водорослей водоемов района среднего и нижнего течения р. Урала в пределах Чкаловской и Западно-Казахстанской областей // Труды ЗИН АН СССР. – Л., 1954. Т. 16. – С. 532–575.
3. Куликовский М.С. Систематика и распространение диатомовых водорослей (Fragilariophyceae, Bacillariophyceae) пресных вод России и сопредельных стран: дис. ... докт. биол. наук. – Москва, 2017. – 392 с.
4. Медведева Л.А., Никулина Т.В. Каталог пресноводных водорослей юга Дальнего Востока России. – Владивосток: Дальнаука, 2014. – 271 с.
5. Порядина С.Н., Эргашев А.Э. Эколого-флористический анализ водорослей р. Урал и её притоков // Водоросли и грибы Средней Азии. – Ташкент: Фан, 1975. Вып. 2. – С. 57–77.
6. Сивохин Ж.Т., Чибилёв А.А. Эколого-гидрологические проблемы трансграничного бассейна реки Урал и перспективы институционального сотрудничества // География и природные ресурсы. 2014. №1. С. 36–44.
7. Чибилев А.А., Сивохин Ж.Т., Чибилев А.А.(мл.), Падалко Ю.А. Бассейн Урала как трансграничный регион и проблемы его устойчивого развития // Географические проблемы региона Каспийского моря и изучение путей достижения устойчивого развития территорий. – М.: Медиа-Пресс, 2015. –С. 89–98.
8. Potapova M. Diatoms of Bering Island, Kamchatka, Russia // Nova Hedwigia, Beiheft. 2014. V.143. P. 63–102. DOI: <https://doi.org/10.5507/fot.2016.001>

Статья поступила в редакцию 18.06.2025; поступила после доработки 08.08.2025; принята к публикации 28.08.2025

Сведения об авторах

Яценко-Степанова Татьяна Николаевна – д.б.н., в.н.с., Институт клеточного и внутриклеточного симбиоза УрО РАН, Россия, Оренбург (Institute for Cellular and Intracellular Symbiosis, Ural Branch, RAS, Russia, Orenburg); yacenkostn@gmail.com; ORCID – <https://orcid.org/0000-0001-6168-9516>; SPIN-код 5160-7642.

Игнатенко Марина Евгеньевна – к.б.н., в.н.с., Институт клеточного и внутриклеточного симбиоза УрО РАН, Россия, Оренбург (Institute for Cellular and Intracellular Symbiosis, Ural Branch, RAS, Russia, Orenburg); ignatenko_me@mail.ru; ORCID – <https://orcid.org/0000-0002-4451-7816>; SPIN-код 9133-6969.

Корреспондентский адрес: Россия, 460000, Оренбург, ул. Пионерская, д. 11, ИКВС УрО РАН, тел. (3532) 77-54-17.

Diatoms of the middle reaches of the Ural River (Southern Urals, Russia)

Tatyana N. Yatsenko-Stepanova, Marina E. Ignatenko

Institute for Cellular and Intracellular Symbiosis, Ural Branch, RAS (Russia, Orenburg)

Investigation of diatoms of the middle course of the Ural River and analysis of literature data resulted in findings of 219 taxa with a rank below the genus, belonging to 63 genera, 29 families, 18 orders and three classes. Twenty-seven species of diatoms were found for the middle course of the Ural River for the first time.

Key words: Bacillariophyta, Orenburg Region, middle reaches of the Ural River

References

1. Blumina L.S. Phytoplankton. In: Drabkin B.S. (ed.). Hydrobiology of the Ural River. South Ural Book Publishing House, Chelyabinsk, 1971. P. 37–56. (In Russ.)
2. Kiselev I.A. Materials on the flora of algae in reservoirs of the middle and lower reaches of the Ural River within the Chkalov and West Kazakhstan regions. Proceedings of the ZIN Academy of Sciences of the USSR. Leningrad, 1954. V.16. P. 532–575. (In Russ.)
3. Kulikovskiy M.S. Systematics and distribution of diatoms (Fragilariophyceae, Bacillariophyceae) of fresh waters of Russia and neighboring countries: DPhil Thesis. – Moscow, 2017. – 392 p. (In Russ.)
4. Medvedeva L.A., Nikulina T.V. Catalog of freshwater algae of the south of the Russian Far East. Vladivostok: Dalnauka Publ., 2014. 271 p. (In Russ.)
5. Ordyadina S.N., Ergashev A.E. Ecological and floristic analysis of algae of the Ural River and its tributaries. In: Algae and fungi of Central Asia. Fan Publ., Tashkent, 1975. Part 2. P. 57–77. (In Russ.)
6. Sivokhip Z.T., Chibilev A.A. The ecologo-hydrological problems of the transboundary basin of the Ural River, and the prospects for institutional collaboration. *Geogr. Nat. Resour.* 2014. V.35. P. 27–34. DOI: <https://doi.org/10.1134/S1875372814010041> (In Russ.)
7. Chibilev A.A., Sivokhip J., Chibilev A. A. (Jr.), Padalko Yu.A. The Ural basin as a transboundary region and the problems of its sustainable development. In: Geographical problems of the Caspian Sea region and the study of ways to achieve sustainable development of territories. Media-Press, Moscow, 2015. P. 89–98. (In Russ.)
8. Potapova M. Diatoms of Bering Island, Kamchatka, Russia. *Nova Hedwigia, Beiheft.* 2014. V.143. P. 63–102. DOI: <https://doi.org/10.5507/fot.2016.001>

ССЫЛКА НА СТАТЬЮ:

Яценко-Степанова Т.Н., Игнатенко М.Е. Диатомовые водоросли среднего течения реки Урал (Южный Урал, Россия) // Вопросы современной альгологии. 2025. № 1 (37). P. 158–160. URL: <http://algology.ru/2159>

Yatsenko-Stepanova T.N., Ignatenko M.E. Diatoms of the middle reaches of the Ural River (Southern Urals, Russia). *Voprosy sovremennoi algologii (Issues of modern algology)*. 2025. № 1 (37). P. 158–160. URL: <http://algology.ru/2159>

DOI – [https://doi.org/10.33624/2311-0147-2025-1\(37\)-158-160](https://doi.org/10.33624/2311-0147-2025-1(37)-158-160); EDN – FCAXSC

Секция 4.

Экология и биоиндикация

Видовой состав и количественные характеристики диатомовых водорослей перифитона в техноэкосистеме электростанции с проточным морским охлаждением

Species composition and quantitative characteristics of periphyton diatoms in the technoecosystem of a power plant with flow-through sea cooling

Бегун А.А.¹, Масленников С.И.^{1,2}

Andrei A. Begun, Sergei I. Maslennikov

*¹Национальный научный центр морской биологии имени А.В. Жирмунского –
ННЦМБ ДВО РАН (Владивосток, Россия)*

²Дальневосточный федеральный университет – ДВФУ (Владивосток, Россия)

Исследованы видовой состав и количественные характеристики диатомовых водорослей перифитона в условиях техноэкосистемы ТЭЦ-2 г. Владивостока. Идентифицировано 49 видов и внутривидовых таксонов микроводорослей из класса Bacillariophyceae. На внутренней поверхности макрообрастания водозаборного тоннеля отмечено высокое количественное обилие перифитона (максимальная плотность $17,4 \pm 2,5 \cdot 10^6$ кл.·см⁻², биомасса $56,3 \pm 9,8$ мг·см⁻¹). Максимального обилия достигали преимущественно бентосные мелкоклеточные диатомовые водоросли, адаптированные к миксотрофному метаболизму. Установлены достаточно существенные (в 3–6 раз) различия количественных характеристик диатомового перифитона на разных участках водозаборного тоннеля, что в значительной степени обусловлено различием локальных гидродинамических условий.

Ключевые слова: техноэкосистема; ВТЭЦ-2; водозаборный тоннель; диатомовые водоросли; перифитон

Сообщества гидробионтов, развивающиеся в системе охлаждения энергетических станций, являются причиной ряда биологических помех в работе технического оборудования. Бентосные диатомовые водоросли, наряду с бактериями, являются важнейшим автотрофным звеном морского обрастания, наряду с бактериями и простейшими формируют первичную биопленку, как субстрат для оседания видов-обрастателей, и служат оперативными индикаторами изменения условий среды. При изучении биоты в системе охлаждения энергетических станций основное внимание уделялось исследованиям фитопланктона (Begun, Maslennikov, 2021) и перифитона водозаборов тепловых и атомных электростанций, расположенных на континентальных

водоемах и имеющих замкнутое охлаждение (Звягинцев, Мощенко, 2010). В то же время, техноэкосистемы водозаборов морских электростанций с проточным охлаждением остаются на сегодняшний день почти не исследованными, за исключением анализа состава обрастания и бактериально-диатомовой пленки в системе охлаждения некоторых электростанций Японии (Sakaguchi, 2003).

В 2001 г. Институтом биологии моря ДВО РАН (в настоящее время ННЦМБ ДВО РАН) были организованы исследования трансформации морской биоты в условиях системы охлаждения Владивостокской ТЭЦ-2 (далее ВТЭЦ-2), связанной с Японским морем. Одновременно началась разработка новых методов защиты от морского обрастания водозаборных тоннелей электростанций (Звягинцев, Мощенко, 2010). Вызвано это неэффективностью проводимой ежегодно термообработкой тоннелей и необходимостью механической очистки от обрастания во время осушки. С учетом сказанного, возник фундаментальный интерес к исследованию видового состава и количественных характеристик диатомовых водорослей перифитона в водозаборе ВТЭЦ-2, как в специфическом биотопе с отсутствием солнечного света и высокой биогенной нагрузкой.

Водозаборный тоннель ВТЭЦ-2 начинается в водозаборном ковше в бух. Сухопутная Японского моря, состоит из стальной трубы длиной 250 м, бетонного тоннеля длиной 970 м, проходящего под г. Владивостоком, и заканчивается стальной трубой на территории электростанции. Пройдя всю систему охлаждения, нагретая морская вода сбрасывается в р. Обьяснения, а далее – в бух. Золотой Рог. Среднемесячная температура этой воды составляет 23,7°C, соленость варьирует в пределах 23,4–35,0‰.

Диатомовый перифитон отбирали 05 мая 2015 г. с поверхности обрастания водозаборного тоннеля скребком с длиной лезвия 10 см с площадки 10x10 см с трех участков, соответствующих началу, середине и концу тоннеля. Камеральную и микроскопическую обработку проб проводили согласно методикам, описанным в монографии (Рябушко, Бегун, 2015). При идентификации водорослей использовался световой микроскоп «Olympus BX41», объектив UPLanF1 100x /1/.30 (Япония) и сканирующий (СЭМ) «Sigma 300 VP» (Великобритания). Таксоны приведены в соответствии с международным Интернет-ресурсом AlgaeBase (Guiry, Guiry, 2025).

В перифитоне водозаборного тоннеля зарегистрировано 49 видов и внутривидовых таксонов микроводорослей из класса Bacillariophyceae. Максимальное видовое богатство отмечено в начале тоннеля (48 видов), минимальное – в середине (36), в конце – 40. По отношению к биотопу 7% всех водорослей являются планктонными, живущими в пелагиали, 23% – бенто-планктонными, способными обитать как в пелагиали, так и в бентали, и 70% – бентосными, связанными жизненным циклом с твердым или рыхлым субстратом. К типичным эпифитам и обрастателям твердых субстратов относится 10 видов диатомовых водорослей, 23 – к флоре песчаных и илистых грунтов – эпипсаммону и эпипелону. К индикаторам органического загрязнения относятся 15 видов, среди них 9 являются β -мезосапробионтами и 6 – α -мезосапробионтами. Отмечено 2 потенциально токсичных вида – планктонный *Pseudonitzschia calliantha* Lundholm, Moestrup & Hasle, 2003 и бентосный *Halamphora coffeiformis* (C. Agardh) Levkov, 2009, способных продуцировать домоевую кислоту и (Lelong et al., 2012).

Общая плотность и биомасса водорослей перифитона были наиболее высокими в середине водозаборного тоннеля ВТЭЦ-2 ($N = 13,6 \pm 1,5 \cdot 10^6$ кл.·см⁻², $B = 60,4 \pm 12,5$ мг·см⁻¹) и в его конце ($N = 17,4 \pm 2,5 \cdot 10^6$ кл.·см⁻², $B = 56,3 \pm 9,8$ мг·см⁻¹) (рис. 3). В начале тоннеля обилие водорослей было существенно ниже ($N = 2,78 \pm 0,5 \cdot 10^6$ кл.·см⁻², $B = 19,6 \pm 3,2$ мг·см⁻¹). Доминирующее положение по плотности занимала мелкоклеточная бентосная диатомовая водоросль *Halamphora exigua* (Gregory) Levkov, 2009 (18–26% от общей плотности), субдоминирующее –

Actinoptychus splendens (Shadbolt) Ralfs, 1861, *Amphora proteus* W. Gregory, 1857, *Cocconeis stauroneiformis* H. Okuno, 1957, *Fogedia finmarchica* (Cleve & Grunow) Witkiwsky, Metzeltin & Lange-Bertalot, 1997, *Fragilaria striatula* Lyngbe, 1819, *Melosira moniliformis* (O.F. Müller) C. Agardh, 1824 var. *moniliformis*, *Licmophora abbreviata* C.A. Agardh, 1831, *Navicula ammophila* var. *intermedia* Grunow, 1882, *Tabularia tabulata* (Agardh) Snoeijs, 1992, *Halamphora* spp. и *Nitzschia* spp. У небольшой (< 10%) части популяции диатомеи *Triceratium arcticum* var. *balaena* (Ehrenberg) A. Cleve, 1951 встречались морфологические аномалии в виде отдельных вогнутостей кремнеземного панциря по периметру створки.

Высокие количественные показатели видов-индикаторов органического загрязнения в составе перифитона водозабора ВТЭЦ-2 можно объяснить поступлением значительного количества биогенов, образующихся из экзометаболитов макрообрастания, которое имеет в тоннеле очаговый характер распределения с преобладанием мидии тихоокеанской *Mytilus trossulus* A. Gould, 1850 и устрицы гигантской *Magallana gigas* (Thunberg, 1793) (Масленников и др., 2024). Диатомовые водоросли по способу питания в основном миксотрофы, питающиеся за счет экзометаболитов моллюсков, преимущественно, неорганических соединений азота и фосфора (Рябушко, Бегун, 2015). При недостатке солнечного света в условиях высокой биогенной нагрузки некоторые виды диатомовых водорослей, преимущественно родов *Nitzschia* и *Halamphora* (*Amphora*), способны переходить от автотрофного типа питания к миксотрофному (Moorthi et al., 2009).

Наблюдаемое снижение количественных характеристик диатомового перифитона (в 3–6 раз) в начальной части бетонного тоннеля ВТЭЦ-2 может быть связано с более активными гидродинамическими условиями. В частности, мощные вихревые потоки на этом участке тоннеля, формирующиеся под действием высокого гидростатического давления, негативно влияют на прикрепление гидробионтов к его внутренней поверхности, что было установлено для макрообрастания (Звягинцев, Мощенко, 2010). Следует отметить, что система охлаждения ВТЭЦ-2 не использует такие агрессивные методы с борьбы обрастанием, как хлорирование воды или химическую обработку биоцидами и другими биотическими ингибиторами, в результате чего водоросли перифитона не испытывают угнетения процесса фотосинтеза. Это определяет достаточно высокое обилие бентосных диатомовых водорослей на поверхности макрообрастания тоннеля в условиях исследуемой техноэкосистемы.

Таким образом, техноэкосистему водозаборного тоннеля ВТЭЦ-2 можно рассматривать как специфический морской биотоп, в котором сформировалось достаточно развитое сообщество диатомового перифитона в видовом и количественном отношении.

Работа выполнена на базе ЦКП РК «Морской биобанк», в рамках государственного задания № 124021900009-6, при финансовой поддержке гранта Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды № 169-15-2023-002.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов, требующего раскрытия в данной статье.

Список литературы

1. Звягинцев А.Ю., Мощенко А.В. Морские техноэкосистемы энергетических станций. – Владивосток: Дальнаука, 2010. – 343 с.
2. Масленников С.И., Звягинцев А.Ю., Бегун А.А. Оценка макрообрастания водозаборного туннеля ТЭЦ-2 г. Владивостока с применением лазерных технологий // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. 2024. № 4. С. 81–94. EDN – IZZUPG.

3. Рябушко Л.И., Бегун А.А. Диатомовые водоросли микрофитобентоса Японского моря. Т. 1. – Севастополь-Симферополь: Н. Оріанда, 2015. – 288 с.
4. Begun A.A., Maslennikov S.I. Influence of the Technical Ecosystem of the Electric Power Plant (Vladivostok) on the Phytoplankton of the Japanese Sea // *Water Resources*. 2021. V.48, №3. P. 404–412. DOI: <https://doi.org/10.1134/S0097807821030052>
5. Guiry M.D., Guiry G.M. *AlgaeBase*. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway. 2025. <http://www.algaebase.org> (дата обращения: 16.01.2025).
6. Lelong A., Hegaret H., Soudant P., Bates S.S. *Pseudo-nitzschia* (Bacillariophyceae) species, domoic acid and amnesic shellfish poisoning: revisiting previous paradigms // *Phycologia*. 2012. V.51. P. 168–216.
7. Moorthi S., Caron D.A., Gast R.J., Sanders R.W. Mixotrophy: a widespread and important ecological strategy for planktonic and sea-ice nanoflagellates in the Ross Sea, Antarctica // *Aquatic Microbial Ecology*. 2009. V.54. P. 269–277.
8. Sakaguchi I. An overview of the antifouling technologies in power plant cooling water systems // *Sessile Organisms*. 2003. V.20, №1. P. 15–19.

Статья поступила в редакцию 18.06.2025; поступила после доработки 19.08.2025; принята к публикации 28.08.2025

Сведения об авторе

Бегун Андрей Аркадьевич – к.б.н., н.с., Национальный научный центр морской биологии им. А.В. Жирмунского ДВО РАН, Владивосток, Россия (Zhirmunsky National Scientific Center of Marine Biology FEB of the RAS, Russia, Vladivostok); andrejbegun@yandex.ru; ORCID – <https://orcid.org/0000-0002-8383-796X>; SPIN-код 4786-6332.

Масленников Сергей Иванович – к.б.н., с.н.с., Национальный научный центр морской биологии им. А.В. Жирмунского ДВО РАН, Владивосток, Россия (Zhirmunsky National Scientific Center of Marine Biology FEB of the RAS, Russia, Vladivostok); доцент, Дальневосточный федеральный университет, Россия, Владивосток (Far Eastern Federal University, Russia, Vladivostok); 721606@mail.ru; ORCID – <https://orcid.org/0000-0003-4776-0624>; SPIN-код 9151-6468.

Корреспондентский адрес: Россия, 690041, Владивосток, ул. Пальчевского, д. 17, НИЦМБ ДВО РАН, тел. (423) 2310905

Species composition and quantitative characteristics of periphyton diatoms in the technoecosystem of a power plant with flow-through sea cooling

Andrei A. Begun¹, Sergei I. Maslennikov^{1,2}

¹Zhirmunsky National Scientific Center of Marine Biology FEB of the RAS (Russia, Vladivostok)

²Far Eastern Federal University (Russia, Vladivostok)

The species composition and quantitative characteristics of periphyton diatoms were studied in the conditions of the technoecosystem of Vladivostok CHPP-2. 49 species and intraspecific taxa of microalgae from the class Bacillariophyceae were identified. A high quantitative abundance of periphyton was noted on the inner surface of the macrofouling of the water intake tunnel (maximum density $17,4 \pm 2,5 \cdot 10^6$ cells·cm⁻², biomass $56,3 \pm 9,8$ mg·cm⁻¹). The maximum quantitative development was achieved mainly by benthic small-cell diatoms adapted to mixotrophic metabolism. Quite significant (3–6 times) differences in the quantitative abundance of diatom periphyton were established in different sections of the water intake tunnel, which is largely due to differences in local hydrodynamic conditions.

Key words: CHPP-2; technoecosystem; water intake tunnel; Diatoms; periphyton

References

1. Begun A.A., Maslennikov S.I. Influence of the Technical Ecosystem of the Electric Power Plant (Vladivostok) on the Phytoplankton of the Japanese Sea. *Water Resources*. 2021. V. 48, №3. P. 404–412. DOI: <https://doi.org/10.1134/S0097807821030052>

2. Guiry M.D., Guiry G.M. AlgaeBase. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway. 2025. <http://www.algaebase.org> (date: 16.01.2025).
3. Lelong A., Hegaret H., Soudant P., Bates S.S. *Pseudo-nitzschia* (Bacillariophyceae) species, domoic acid and amnesic shellfish poisoning: revisiting previous paradigms. *Phycologia*. 2012. V.51. P. 168–216.
4. Maslennikov S.I., Zvyagintsev A.Yu., Begun A.A. Estimation of Macrofouling of the Water Intake Tunnel of the Vladivostok CHP-2 Using Laser Technologies. *Ecological Safety of Coastal and Shelf Zones of Sea*. No. 4. 2024. P. 81–94. EDN – IZZUPG. (In Russ.)
5. Moorthi S., Caron D.A., Gast R.J., Sanders R.W. Mixotrophy: a widespread and important ecological strategy for planktonic and sea-ice nanoflagellates in the Ross Sea, Antarctica. *Aquatic Microbial Ecology*. 2009. V.54. P. 269–277.
6. Ryabushko L.I., Begun A.A. Diatoms of microphytobenthos of the Sea of Japan. V.1. N. Orianda, Sevastopol-Simferopol, 2015. 288 p. (In Russ.)
7. Sakaguchi I. An overview of the antifouling technologies in power plant cooling water systems. *Sessile Organisms*. 2003. V.20, №1. P. 15–19.
8. Zvyagintsev A.Yu., Moshchenko A.V. Marine techno-ecosystems of power plants. Dalnauka Publ., Vladivostok, 2010. 343 p. (In Russ.)

ССЫЛКА НА СТАТЬЮ:

Бегун А.А., Масленников С.И. Видовой состав и количественные характеристики диатомовых водорослей перифитона в техноэкосистеме электростанции с проточным морским охлаждением // Вопросы современной альгологии. 2025. № 1 (37). P. 161–165. URL: <http://algology.ru/2184>

Begun A.A., Maslennikov S.I. Species composition and quantitative characteristics of periphyton diatoms in the technoecosystem of a power plant with flow-through sea cooling. *Voprosy sovremennoi algologii (Issues of modern algology)*. 2025. № 1 (37). P. 161–165. URL: <http://algology.ru/2184>

DOI – [https://doi.org/10.33624/2311-0147-2025-1\(37\)-161-165](https://doi.org/10.33624/2311-0147-2025-1(37)-161-165); EDN – EOKETO

Диатомовые водоросли в оценке качества вод городского озера Северное (г. Мурманск, Россия)

Diatoms in assessing the water quality of the urban lake Severnoye (Murmansk, Russia)

Вокуева С.И.¹, Денисов Д.Б.¹, Слуковский З.И.^{1,2}

Sofia I. Vokueva, Dmitrii B. Denisov, Zakhar I. Slukovskii

¹Институт проблем промышленной экологии Севера – обособленное подразделение
ФИЦ КНЦ РАН (Апатиты, Россия)

²Институт геологии Карельского научного центра РАН (Петрозаводск, Россия)

Исследованы диатомовые комплексы донных отложений оз. Северное (г. Мурманск). Воды озера характеризуются как пресные, с преобладанием индифферентных к минерализации и значению pH видов, а также алкалофилов, реконструированное значение pH близко к нейтральному. По индексу сапробности воды соответствуют «чистым», однако наблюдается тенденция к продолжающимся изменениям состояния экосистемы вследствие влияния антропогенных факторов. Сравнение современного состояния экосистемы с фоновым указывает на радикальную перестройку диатомовых комплексов, снижение видового разнообразия диатомей в современных отложениях, а также повышение уровня pH и сапробности.

Ключевые слова: диатомеи; донные отложения; биоиндикация; мониторинг; антропогенное загрязнение

Диатомовые водоросли широко используются в качестве биоиндикаторов в мониторинге окружающей среды. Изучение диатомовых комплексов, сохраняющихся и накапливающихся в донных отложениях (ДО), позволяет оценить как современное состояние экосистемы за несколько лет, так и изменения этого состояния вплоть до фонового (доиндустриального). Целью данного исследования являлось изучение диатомовых комплексов ДО озера Северное, изменений их состава и структуры в результате смены условий водоёма, а также выявление причин этих смен.

Озеро Северное – небольшой водоём площадью 0,009 км² и глубиной до 3,9 м, расположенный в северной части Мурманска вдоль дороги Мурманск-Североморск (Слуковский и др., 2023). Вода в озере среднеминерализованная, с нейтральным pH и низкими концентрациями биогенных элементов, трофический статус – мезотрофный (Слуковский и др., 2023; Postevaya et al., 2023). Несмотря на отсутствие прямых источников загрязнения, помимо автотранспорта, в ДО отмечены повышенные уровни некоторых химических элементов. Превышения U и Mo связаны с наличием месторождений и рудопроявлений U в коренных породах, а загрязнение Zn и V происходит из-за автотранспорта и деятельности Мурманской ТЭЦ (Слуковский и др., 2020; Слуковский и др., 2023; Postevaya et al., 2021; Slukovskii, 2023).

Отбор колонки ДО длиной 39 см и анализ проб выполнялись стандартными методами (Давыдова, 1985), с изменениями, описанными в (Сандимиров и др., 2019). После лабораторной обработки проб производилась таксономическая идентификация диатомовых водорослей с помощью микроскопа «Motic BA 300». Полученные данные по диатомовому составу и количественным характеристикам заносились в запатентованную базу данных «Водоросли Евро-Арктического региона» (Денисов, Косова, 2017). Таксономическая информация сверялась с актуальной, регулярно обновляемой мировой базой водорослей (Guiry, Guiry, 2025). Все постоянные препараты и очищенный материал створок диатомовых водорослей хранятся в гербарии Института проблем промышленной экологии Севера ФИЦ КНЦ РАН (Боровичёв и др., 2018).

В ходе исследования видового состава и структуры диатомовых комплексов ДО озера всего было обнаружено 222 таксона диатомовых водорослей рангом ниже рода, принадлежащих к 64 родам. Наибольшего таксономического разнообразия достигают представители родов *Eunotia* (27), *Aulacoseira* (12) и *Pinnularia* (10). На протяжении периода накопления изученных ДО происходила смена одних массовых видов другими. Для верхних 20 см среди доминантов и субдоминантов выделяются в основном пеннатные виды *Staurosira venter* (Ehrenberg) Cleve & J.D.Möller, *Fragilaria capucina* Desmazières, *Tabellaria flocculosa* (Roth) Kützing, *Frustulia crassinervia* (Brébisson ex W.Smith) Lange-Bertalot & Krammer, *Distrionella incognita* (E.Reichardt) D.M.Williams и *Fragilaria crotonensis* Kitton. Также встречаются тератологические (уродливые) формы. Центрические виды среди массовых представлены только видом *Aulacoseira lacustris* (Grunow) Krammer. Преобладающие таксоны более глубоких слоёв (30–40 см) немного более разнообразны, представлены как пеннатными видами *Diploneis elliptica* (Kützing) Cleve, *Frustulia crassinervia*, *Fragilaria capucina*, *Tabellaria flocculosa*, *Sellaphora pupula* (Kützing) Mereschowsky, так и центрическими видами рода *Aulacoseira* (*Aulacoseira alpigena* (Grunow) Krammer, *Aulacoseira subborealis* (Nygaard) Denys. Muylaert & Krammer, *Aulacoseira pfaffiana* (Reinsch) Krammer, *Aulacoseira lirata* (Ehrenberg) R.Ross, *Aulacoseira lacustris*).

Анализ диатомовых водорослей в поверхностных ДО показал, что в настоящее время воды озера характеризуются как пресные, со средней минерализацией и индексом сапробности 1,23, что соответствует второму классу качества (т.н. «чистые» воды). Значение рН, реконструированное по диатомовым комплексам, составляет 7,17, что близко к среднему значению рН воды (6,79), полученному за 5 лет наблюдений, а также согласуется с распределением диатомей по отношению к уровню рН – половина всех видов являются алкалифилами (49%), предпочитающими рН около 7,5. Кроме того, в озере доминируют планктонно-бентосные и бентосные виды, что обусловлено небольшой глубиной водоёма.

Анализ колонки ДО показал значительные изменения состава и структуры диатомовых комплексов от нижних к верхним слоям. С помощью кластерного анализа были выделены три этапа развития экосистемы.

Первый этап (слои 30–40 см) характеризуется развитием диатомовой флоры северных тундровых водоёмов с преобладанием видов, предпочитающих кислые слабоминерализованные воды. Время формирования донных отложений охватывает доиндустриальный период, отмечены минимальные значения рН (6,98) и сапробности (0,96), а также максимальное видовое разнообразие (5 бит/экз.).

На втором этапе (слои 10–20 см) наблюдается исчезновение либо сильное снижение видов-доминантов первого этапа и появление алкалифилов. Увеличиваются рН и сапробность, что указывает на рост трофности и щёлочности вод в период индустриализации. Также фиксируется резкий рост концентраций токсических и биогенных элементов, таких как никель, медь, кадмий, кобальт, свинец, стронций и фосфор.

Современный этап характеризуется снижением численности диатомей и видового разнообразия, практически полным исчезновением ацидофилов и увеличением численности алкалифилов. Реконструированные значения pH (7,17) и сапробности (1,2) достигают максимума. В поверхностном слое наблюдается небольшое снижение концентраций токсических элементов, однако они по-прежнему значительно превышают фоновый уровень.

Кроме того, наблюдаемые изменения диатомовых комплексов по отношению к pH среды (а именно снижение доли ацидофилов и увеличение алкалифилов к поверхностным слоям) и солёности (снижение доли галофобов) указывают на то, что озеро Северное ранее характеризовалось меньшей минерализацией и более кислой средой, чем в настоящее время.

Работа выполнена в рамках госзадания ИППЭС КНЦ РАН FMEZ-2024-0014.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов, требующего раскрытия в данной статье.

Список литературы

1. Боровичёв Е.А., Денисов Д.Б., Корнейкова М.В., Исаева Л.Г., Разумовская А.В., Химич Ю.Р., Мелехин А.В., Косова А.Л. Гербарий ИППЭС КНЦ РАН // Труды Кольского научного центра РАН. 2018. №9 (9-6). С. 179–186.
2. Давыдова Н.Н. Диатомовые водоросли – индикаторы экологических условий водоёмов в голоцене. – Л.: Наука, 1985. – 244 с.
3. Денисов Д.Б., Косова А.Л. Разработка базы данных по водорослям Евро-Арктического региона // Труды Кольского научного центра РАН. 2017. №6–5 (8). С. 45–52.
4. Сандимиров С.С., Кудрявцева Л.П., Даувальтер В.А., Денисов Д.Б., Косова А.Л., Черепанов А.А., Вандыш О.И., Валькова С.А., Терентьев П.М., Королева И.М., Зубова Е.М., Каиулин Н.А. Методы экологических исследований водоёмов Арктики. – Мурманск: Изд-во МГТУ, 2019. – 180 с.
5. Слуковский З.И., Даувальтер В.А., Гузева А.В., Денисов Д.Б., Черепанов А.А. Природные и техногенные факторы в формировании геохимии современных донных отложений малых озёр г.Мурманска (Арктическая зона РФ) // Труды Ферсмановской научной сессии ГИ КНЦ РАН. 2020. №17. С. 510–514. DOI: <https://doi.org/10.31241/FNS.2020.17.098>
6. Слуковский З.И., Денисов Д.Б., Даувальтер В.А., Зубова Е.М., Мязин В.А., Гузева А.В., Черепанов А.А., Постевая М.А., Валькова С.А., Терентьев П.М., Фокина Н.В., Косова А.Л., Постнова С.В., Сошина А.С. Озёра города Мурманска: гидрологические, гидрохимические и гидробиологические особенности. – Апатиты: Изд-во ФИЦ КНЦ РАН, 2023. – 174 с.
7. Guiry M.D., Guiry G.M. AlgaeBase. World-wide electronic publication, University of Galway. 2025. <https://www.algaebase.org>. (дата обращения: 31.01.2025).
8. Postevaya M.A., Slukovskii Z.I., Dauvalter V.A., Bernadskaya D.S. Estimation of Heavy Metal Concentrations in the Water of Urban Lakes in the Russian Arctic (Murmansk) // Water. 2021. V.13(22). ID 3267.
9. Postevaya M.A., Dauvalter V.A., Slukovskii Z.I., Kudryavtseva L.P. Chemical composition and trophic status of urban lakes of the Arctic zone of the Russian Federation (Murmansk) // Ecohydrology. 2023. V.16 (2). ID e2505. DOI: <https://doi.org/10.1002/eco.2505>
10. Slukovskii Z.I. Vanadium in modern sediments of urban lakes in the North of Russia: natural and anthropogenic sources // Marine Pollution Bulletin. 2023. V.197.ID 115754.

Статья поступила в редакцию 18.06.2025; поступила после доработки 20.08.2025; принята к публикации 28.08.2025

Сведения об авторе

Вокуева Софья Ильинична – м.н.с., Институт проблем промышленной экологии Севера – обособленное подразделение ФГБУН ФИЦ «Кольский научный центр РАН» Россия, Апатиты (The Institute of North Industrial Ecology Problems – separate subdivision of the Federal State Budgetary Institution of Science of the Federal Research Centre “Kola Science Centre” (INEP KSC RAS), Russia, Apatity); s.vokueva@ksc.ru; ORCID – <https://orcid.org/0000-0002-7842-3228>; SPIN-код 9585-1995.

Денисов Дмитрий Борисович – к.б.н., в.н.с., Институт проблем промышленной экологии Севера – обособленное подразделение ФГБУН ФИЦ «Кольский научный центр РАН» Россия, Апатиты (The Institute of North Industrial Ecology Problems – separate subdivision of the Federal State Budgetary Institution

of Science of the Federal Research Centre “Kola Science Centre” (INEP KSC RAS), Russia, Apatity); d.denisow@ksc.ru; ORCID – <https://orcid.org/0000-0001-5403-5661>; SPIN-код 7215-3063.

Слуковский Захар Иванович – к.б.н., зав. лабораторией, Институт проблем промышленной экологии Севера – обособленное подразделение ФГБУН ФИЦ «Кольский научный центр РАН» Россия, Апатиты (The Institute of North Industrial Ecology Problems – separate subdivision of the Federal State Budgetary Institution of Science of the Federal Research Centre “Kola Science Centre” (INEP KSC RAS), Russia, Apatity); Институт геологии — обособленное подразделение ФГБУН ФИЦ «Карельский научный центр РАН», Россия, Петрозаводск (Institute of Geology of the Karelian Research Centre RAS, Russia, Petrozavodsk); slukovsky87@gmail.com; ORCID – <https://orcid.org/0000-0003-4238-1617>; SPIN-код 6763-8074.

Корреспондентский адрес: Россия, 184209, Мурманская обл., Апатиты, мкн. Академгородок, 14а, ИППЭС ФИЦ КНЦ РАН, тел. (81555) 6-10-93.

Diatoms in assessing the water quality of the urban lake Severnoye (Murmansk, Russia)

Sofia I. Vokueva¹, Dmitrii B. Denisov¹, Zakhar I. Slukovskii^{1,2}

¹The Institute of North Industrial Ecology Problems – separate subdivision of the FRC «Kola Science Centre RAS» (INEP KSC RAS) (Russia, Apatity)

²Institute of Geology of the Karelian Research Centre RAS (Russia, Petrozavodsk)

Diatom assemblages of sediments of Lake Severnoye (Murmansk) have been studied. The lake waters are characterized as fresh, with a predominance of species indifferent to mineralization and pH, as well as alkaliphiles, the reconstructed pH value is approximately neutral. According to the saprobicity index, the water corresponds to “pure”. However, there is a tendency for ongoing changes in the state of the ecosystem due to the influence of anthropogenic factors. A comparison of the current state of the ecosystem with the background indicates a radical restructuring of diatom assemblages, a decrease in species diversity in modern sediments, as well as an increase in pH and saprobity.

Key words: Diatoms; sediments; bioindication; monitoring; anthropogenic pollution

References

1. Borovichev E.A., Denisov D.B., Korneykova M.V., Isaeva L.G., Razumovskaya A.V., Khimich Yu.R., Melechin A.V., Kosova A.L. Herbarium of INEP KSC RAS. *Transactions Kola Science Centre*. 2018. №9 (9-6). P. 179–186. (In Russ.)
2. Davydova N.N. Diatoms – indicators of ecological conditions of reservoirs in the Holocene. Nauka, Leningrad, 1985. 244 p. (In Russ.)
3. Denisov D.B., Kosova A.L. The Euro-Arctic algae database creation. *Transactions Kola Science Centre*. 2017. №6–5 (8). P. 45–52. (In Russ.)
4. Guiry M.D., Guiry G.M. AlgaeBase. World-wide electronic publication, University of Galway. 2025. <https://www.algaebase.org>. (дата обращения: 31.01.2025).
5. Postevaya M.A., Dauvalter V.A., Slukovskii Z.I., Kudryavtseva L.P. Chemical composition and trophic status of urban lakes of the Arctic zone of the Russian Federation (Murmansk). *Ecohydrology*. 2023. V.16 (2). ID e2505. DOI: <https://doi.org/10.1002/eco.2505>
6. Postevaya M.A., Slukovskii Z.I., Dauvalter V.A., Bernadskaya D.S. Estimation of Heavy Metal Concentrations in the Water of Urban Lakes in the Russian Arctic (Murmansk). *Water*. 2021. V.13(22). ID 3267.
7. Sandimirov S.S., Kudryavtseva L.P., Dauvalter V.A., Denisov D.B., Kosova A.L., Cherepanov A.A., Vandysh O.I., Valkova S.A., Terentyev P.M., Koroleva I.M., Zubova E.M., Kashulin N.A. Methods of ecological research of Arctic reservoirs. MSTU Publishing House, Murmansk, 2019. 180 p. (In Russ.)
8. Slukovskii Z.I. Vanadium in modern sediments of urban lakes in the North of Russia: natural and anthropogenic sources. *Marine Pollution Bulletin*. 2023. V.197.ID 115754.

9. Slukovskii Z.I., Dauvalter V.A., Guzeva A.V., Denisov D.B., Cherepanov A.A. Nature and technogenic factors in the geochemistry of recent bottom sediments of small lakes of Murmansk (Arctic zone of Russia). Proceedings of the Fersman Scientific Session GI KSC RAS. 2020. №17. P. 510–514. DOI: <https://doi.org/10.31241/FNS.2020.17.098> (In Russ.)

10. Slutkovskii Z.I., Denisov D.B., Dauvalter V.A., Zubova E.M., Myazin V.A., Guzeva A.V., Cherepanov A.A., Postevaya M.A., Valkova S.A., Terentyev P.M., Fokina N.V., Kosova A.L., Postnova S.V., Soshina A.S. Lakes of the city of Murmansk Hydrological, hydrochemical and hydrobiological features. Publishing house of the FITC KSC RAS, Apatity, 2023. 174 p. (In Russ.)

ССЫЛКА НА СТАТЬЮ:

Вокуева С.И., Денисов Д.Б., Слуковский З.И. Диатомовые водоросли в оценке качества вод городского озера Северное (г. Мурманск, Россия) // Вопросы современной альгологии. 2025. № 1 (37). P. 166–170. URL: <http://algology.ru/2186>

Vokueva S.I., Denisov D.B., Slukovskii Z.I. Diatoms in assessing the water quality of the urban lake Severnoye (Murmansk, Russia). *Voprosy sovremennoi algologii (Issues of modern algology)*. 2025. № 1 (37). P. 166–170. URL: <http://algology.ru/2186>

DOI – [https://doi.org/10.33624/2311-0147-2025-1\(37\)-166-170](https://doi.org/10.33624/2311-0147-2025-1(37)-166-170); EDN – CSNSQR

Первые сведения о диатомовых водорослях пресноводных экосистем полуостровов Рыбачий и Средний (Мурманская область)

The first information about diatoms in freshwater ecosystems of the Rybachy and Sredny peninsulas (Murmansk region)

Денисов Д.Б., Слуковский З.И.

Dmitrii B. Denisov, Zakhar I. Slukovskii

*Институт проблем промышленной экологии Севера – обособленное подразделение
ФИЦ КНЦ РАН (Апатиты, Россия)*

Получены первые данные о таксономическом составе и структуре диатомовых сообществ в составе фитопланктона и перифитона малых водоемов, расположенных на полуостровах Рыбачий и Средний (Мурманская область). Выявлено 42 таксона диатомей рангом ниже рода. Установлено, что не во всех изученных водоемах диатомеи являются доминирующей по численности, биомассе и видовому богатству группой планктона. Так, в некоторых озерах (Лохи, Палви) по численности преобладали представители класса Chrysophyceae. На стоке из оз. Лохи (69,865869; 32,094739) в июле 2024 г. обнаружено массовое развитие *Didymosphenia geminata* (Lyngbye) Mart.Schmidt, вероятно, это самая северная область обнаружения этого явления для Мурманской области.

Ключевые слова: диатомовые водоросли; фитопланктон; *Didymosphenia geminata*; Мурманская область, полуострова Рыбачий и Средний

Несмотря на растущий интерес к изучению Арктики в настоящее время, пресноводные экосистемы многих районов слабо изучены в альгологическом отношении, что во многом определяется сравнительно трудной транспортной доступностью объектов исследования. Часть исследований были сосредоточены на архипелаге Шпицберген (Picińska-Fałtynowicz 1988, Zgrundo et al., 2017), большая работа также выполнена авторами на территории Русской Арктики (Генкал, Вехов, 2007) Диатомовые водоросли в высоких широтах являются ключевым экосистемным компонентом и играют огромную роль в системе трофических и энергетических потоков. С учетом их высокой биоиндикационной значимости для реконструкции исторических изменений в водоемах и оценки качества вод полярных местообитаний, изучение их таксономического разнообразия и структуры сообществ характеризуется особой актуальностью.

В июле 2024 года были проведены исследования альгоценозов водных объектов на полуостровах Рыбачий и Средний (Мурманская область). Район исследований представляет собой возвышенную равнину с высотами до 200–300 метров с незначительной ледниковой обработкой. Климат – умеренно-арктического типа,

© Денисов Д.Б., Слуковский З.И., 2025

формирующегося под влиянием теплого Нрдкапского течения. Водосборные бассейны изученных озер характеризуются тундровыми и лесотундровыми ландшафтами, нередко заболоченными; гидрография отличается наличием как сложно организованных озерно-речных систем с резкими перепадами высот, так и наличием озер без выраженного поверхностного стока. В настоящее время территория полуостровов носит статус природного парка, что определяет необходимость инвентаризации живых организмов и оценки биоразнообразия. Пробы фитопланктона были получены из 8 малых озер, перифитона – из четырех водотоков.

Всего в пробах фитопланктона было выявлено 42 таксона диатомей рангом ниже рода. В большинстве озер Bacillariophyta характеризовались сравнительно высоким таксономическим богатством по сравнению с другими группами водорослей. Типичной чертой альгоценозов на период исследований было наличие бентосных форм и обрастателей в составе планктона, что является характерной чертой мелководных водоемов. Некоторые типичные таксоны представлены на рис. 1.



Рис. 1. Некоторые типичные представители диатомового планктона изученных озер: 1 – *Aulacoseira* sp., 2 – *Tabellaria flocculosa*, 3 – *Epithemia adnata*, 4 – *Encyonema cespitosum*, 5 – *Epithemia parallela*, 6 – *Neidium iridis*, 7 – *Fragilaria crotonensis*, 8 – *Frustulia saxonica*, 9 – *Pinnularia* sp., 10 – *Navicula* (?) sp.

Fig. 1. Typical diatoms in the studied lakes plankton: 1 – *Aulacoseira* sp., 2 – *Tabellaria flocculosa*, 3 – *Epithemia adnata*, 4 – *Encyonema cespitosum*, 5 – *Epithemia parallela*, 6 – *Neidium iridis*, 7 – *Fragilaria crotonensis*, 8 – *Frustulia saxonica*, 9 – *Pinnularia* sp., 10 – *Navicula* (?) sp.

Не во всех изученных водоемах диатомеи являются доминирующей по численности, биомассе и видовому богатству группой планктона. Так, в некоторых озерах (Лохи, Палви) по численности преобладали представители класса Chrysophyceae – *Dinobryon divergens* O.E.Imhof. В составе сообществ чаще всего встречались *Tabellaria fenestrata* (Lyngbye) Kützing; *T. flocculosa* (Roth) Kützing; *Frustulia saxonica* Rabenhorst; *Brachysira vitrea* (Grunow) R.Ross; *Epithemia adnata* (Kützing) Brébisson; *E. parallela* (Grunow) Ruck & Nakov; *Fragilaria crotonensis* Kitton; *Eunotia* spp.;

Encyonema cespitosum Kützing; *Achnantheidium subatomoides* (Hustedt) O. Monnier, Lange-Bertalot & Ector; *Aulacoseira* spp.; *Asterionella formosa* Hassall.

Большинство выявленных таксонов являются типичными индифферентными пресноводными формами с низкими трофическими потребностями; значительную долю составляют арктические или нордические альпийские виды, а также диатомеи с широкой экологической валентностью. В целом облик диатомовой флоры изученных водоемов соответствует «фоновым» территориям Мурманской области, не испытывающим прямого антропогенного загрязнения (Кожин и др., 2019; Sharov, Denisov, 2021).

Сообщества перифитона представлены, преимущественно, нитчатыми харовыми водорослями и ассоциированными с ними диатомеями. Наиболее многочисленными были представители сем. *Fragilariaceae*. На стоке из оз. Лохи (69,865869; 32,094739) в июле 2024 г. обнаружено массовое развитие *Didymosphenia geminata* (Lyngbye) Mart. Schmidt. Площадь покрытия субстрата – 90–100%, толщина матов – 2,5–3,5 см. Вероятно, это самая северная область обнаружения этого явления для Мурманской области. С учетом этих данных, а также основываясь на результатах предыдущих исследований (Sharov, Denisov, 2021), можно заключить, что массовое развитие вида может происходить с мая по сентябрь, в сравнительно широком диапазоне температур и гидрохимических параметров.

Работа выполнена в рамках госзадания ИППЭС КНЦ РАН FMEZ-2025-0061 и проекта РНФ № 24-17-20006 (проведение полевых исследований).

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов, требующего раскрытия в данной статье.

Список литературы

1. Генкал С.И., Вехов Н.В. Диатомовые водоросли водоемов Русской Арктики: архипелаг Новая Земля и остров Вайгач. – М: Наука, 2007. – 65 с.
2. Кожин М.Н., Боровичев Е.А., Белкина О.А., Давыдов Д.А., Денисов Д.Б., Исаева Л.Г., Константинова Н.А., Мелехин А.В., Попова К.Б., Урбанавичюс Г.П., Химич Ю.Р. История и основные итоги изучения криптогамных организмов Зеленого Пояса Фенноскандии в пределах Мурманской области // Труды КарНЦ №4. 2019. С. 64–88. URL: <http://journals.krc.karelia.ru/index.php/thematic/article/view/1024>. DOI: <https://doi.org/10.17076/them1024>
3. Guiry M.D., Guiry G.M. AlgaeBase. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway. 2025. <http://www.algaebase.org> (дата обращения: 06.06.2025).
4. Picińska-Fałtynowicz J. Freshwater benthic diatoms from the south-western part of the Hornsund fiord area, SW Spitsbergen // Polar Research. 1988. V.6, №1. P. 19–34. DOI: <https://doi.org/10.3402/polar.v6i1.6843>
5. Sharov A., Denisov D. Algae of lakes in the European North of Russia // Pokrovsky O., Bessalaya Y., Vorobyeva T., Shirokova L. (Eds.) Lake water: properties and uses (case studies of hydrochemistry and hydrobiology of lakes in Northwest Russia). – Hauppauge, New York: Nova Science Publishers, Inc., 2021. – P. 153–191.
6. Zgrundo A., Wojtasik B., Convey P., Majewska R. Diatom communities in the High Arctic aquatic habitats of northern Spitsbergen (Svalbard) // Polar Biol. 2017. V.40, P. 873–890. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00300-016-2014-y>

Статья поступила в редакцию 18.06.2025; поступила после доработки 20.08.2025; принята к публикации 28.08.2025

Сведения об авторе

Денисов Дмитрий Борисович – к.б.н., в.н.с., Институт проблем промышленной экологии Севера – обособленное подразделение ФГБУН ФИЦ «Кольский научный центр РАН» Россия, Апатиты (The Institute of North Industrial Ecology Problems – separate subdivision of the Federal State Budgetary Institution of Science of the Federal Research Centre “Kola Science Centre” (INEP KSC RAS), Russia, Apatity); proffessuir@gmail.com; ORCID – <https://orcid.org/0000-0001-5403-5661>; SPIN-код 7215-3063.

Слуковский Захар Иванович – к.б.н., зав. лабораторией, Институт проблем промышленной экологии Севера – обособленное подразделение ФГБУН ФИЦ «Кольский научный центр РАН» Россия,

Апатиты (The Institute of North Industrial Ecology Problems – separate subdivision of the Federal State Budgetary Institution of Science of the Federal Research Centre “Kola Science Centre” (INEP KSC RAS), Russia, Apatity); slukovsky87@gmail.com; ORCID – <https://orcid.org/0000-0003-4238-1617>; SPIN-код 6763-8074.

Корреспондентский адрес: Россия, 184209, Мурманская обл., Апатиты, мкн. Академгородок, 14а, ИППЭС ФИЦ КНЦ РАН, тел. (81555) 6-10-93.

The first information about diatoms in freshwater ecosystems of the Rybachy and Sredny peninsulas (Murmansk region)

Dmitrii B. Denisov, Zakhar I. Slukovskii

The Institute of North Industrial Ecology Problems – separate subdivision of the FRC “Kola Science Centre” (INEP KSC RAS) (Russia, Apatity)

The first data on the taxonomic composition and structure of diatom communities in the phytoplankton and periphyton of small reservoirs located on the Rybachy and Sredny peninsulas (Murmansk region) presents. 42 taxa of diatoms have been identified. Diatoms were not the dominant group of plankton in terms of abundance, biomass, and species richness in all studied reservoirs. Thus, the Chrysophyceae taxa dominated in some lakes (Lochi, Palvi). On the stream – drain from the Lochi lake *Didymosphenia geminata* (Lyngbye) Mart.Schmidt bloom was detected (July, 2024). Is probably the northernmost area of this phenomenon detection in the Murmansk region.

Key words: Diatoms; phytoplankton; sediments; *Didymosphenia geminata*; Murmansk region; Rybachy and Sredny peninsulas

References

1. Genkal S.I., Vekhov N.V. Diatoms of reservoirs of the Russian Arctic: the Novaya Zemlya archipelago and the island of Vaigach. Nauka, Moscow, 2007. 65 p. (In Russ.)
2. Guiry M.D., Guiry G.M. AlgaeBase. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway. 2025. <http://www.algaebase.org> (date: 06.06.2025).
3. Kozhin M.N., Borovichev E.A., Belkina O.A., Davydov D.A., Denisov D.B., Isaeva L.G., Konstantinova N.A., Melekhin A.V., Popova K.B., Urbanavichus G.P., Khimich. History and main outputs of cryptogams study in the Green Belt of Fennoscandia within Murmansk region. *Transactions of Karelian Research Centre of Russian Academy of Science*. No 4. Green belt of Fennoscandia. 2019. P. 64-88. URL: <http://journals.krc.karelia.ru/index.php/thematic/article/view/1024>. DOI: <https://doi.org/10.17076/them1024> (In Russ.)
4. Picińska-Fałtynowicz J. Freshwater benthic diatoms from the south-western part of the Hornsund fiord area, SW Spitsbergen. *Polar Research*. 1988. V.6, №1. P. 19–34. DOI: <https://doi.org/10.3402/polar.v6i1.6843>
5. Sharov A., Denisov D. Algae of lakes in the European North of Russia. In: Pokrovsky O., Bepalaya Y., Vorobyeva T., Shirokova L. (Eds.) Lake water: properties and uses (case studies of hydrochemistry and hydrobiology of lakes in Northwest Russia). New York, Hauppauge, Nova Science Publishers, Inc., 2021. P. 153–191.
6. Zgrundo A., Wojtasik B., Convey P., Majewska R. Diatom communities in the High Arctic aquatic habitats of northern Spitsbergen (Svalbard). *Polar Biol.* 2017. V.40, P. 873–890. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00300-016-2014-y>

ССЫЛКА НА СТАТЬЮ:

Денисов Д.Б., Слуковский З.И. Первые сведения о диатомовых водорослях пресноводных экосистем полуостровов Рыбачий и Средний (Мурманская область) // Вопросы современной альгологии. 2025. № 1 (37). P. 171–174. URL: <http://algology.ru/2185>

Denisov D.B., Slukovskii Z.I. The first information about diatoms in freshwater ecosystems of the Rybachy and Sredny peninsulas (Murmansk region). *Voprosy sovremennoi algologii (Issues of modern algology)*. 2025. № 1 (37). P. 171–174. URL: <http://algology.ru/2185>

DOI – [https://doi.org/10.33624/2311-0147-2025-1\(37\)-171-174](https://doi.org/10.33624/2311-0147-2025-1(37)-171-174); EDN – HFKJAJ

Влияние видов рода *Thalassiosira* (Bacillariophyta) на структуру фитопланктона бухты Парис

Influence of species of the genus *Thalassiosira* (Bacillariophyta) on the phytoplankton structure of Paris Bay

Елисейкина У.А.^{1,2}, Шульгина М.А.^{1,3}

Uliana A. Eliseikina, Mariia A. Shulgina

¹Научно-образовательный комплекс «Приморский океанариум» – филиал ННЦМБ ДВО имени А.В. Жирмунского ДВО РАН (Владивосток, Россия)

²Дальневосточный федеральный университет – ДВФУ (Владивосток, Россия)

³Национальный научный центр морской биологии имени А.В. Жирмунского – ННЦМБ ДВО РАН (Владивосток, Россия)

Изучена сезонная динамика фитопланктона в б. Парис и оценена роль видов *Thalassiosira* в сообществе за период исследования. Показано круглогодичное присутствие представителей *Thalassiosira* в планктоне. Отмечено пять доминирующих видов *Thalassiosira*, три из которых были впервые зарегистрированы как доминирующие виды в морях России. Полученные данные и результаты лягут в основу дальнейшего исследования прибрежных акваторий с целью пополнения видового состава фитопланктона и изучения динамики его развития в целом.

Ключевые слова: микроводоросли; доминирующие виды; сезонная динамика; Японское море

Род *Thalassiosira* Cleve представляет собой один из ключевых компонентов морских фитопланктонных сообществ. Виды данного рода имеют широкое распространение во всех климатических зонах Мирового океана, являются инициаторами «цветения» воды в умеренных и полярных широтах, которые могут представлять опасность для гидробионтов. (Hasle, Syvertsen, 1997; Fryxell, Hasle, 2004; Ianora et al., 2004). Согласно данным различных авторов, род включает от 100 до 400 таксонов. (Round et al., 1990; Alverson et al., 2006). В настоящее время имеется сравнительно немного работ, посвященных роду *Thalassiosira* в северо-западной части Японского моря. Доскональные исследования отдельных видов микроводорослей, с помощью комплекса различных методов, могут дать полную оценку роли вида в сообществе, особенность экологии, уточнение распределения вида в Мировом океане.

Цель нашей работы – показать и оценить роль рода *Thalassiosira* в структуре фитопланктона в б. Парис (залив Петра Великого, Японское море).

Материалом для исследования послужили количественные сборы фитопланктона, выполненные в б. Парис в 2016 г. Пробы фитопланктона на станции

собирали с горизонта 0,5 м при помощи 5-ти литрового батометра Нискина два раза в месяц круглогодично. Для исследования микроводорослей материал фиксировали раствором Утермеля до бледно-желтого цвета. Концентрирование проб объемом 1 литр производили методом осаждения (Utermöhl, 1958). Исследование полевого материала проводили с помощью светового микроскопа (СМ) Carl Zeiss Scope A1. (Carl Zeiss Microscopy GmbH, Jena, Германия). Численность клеток микроводорослей подсчитывали в счетной камере типа Нажотта объемом 0,05 мл (Федоров, 1979).

Виды рода *Thalassiosira* вегетировали в планктоне б. Парис круглогодично. На протяжении года исследования их суммарная численность варьировала от 52,6 кл./л до 434 тыс. кл./л, биомасса – 0,2 мг/м³ – 2,56 г/м³ (рис. 1).

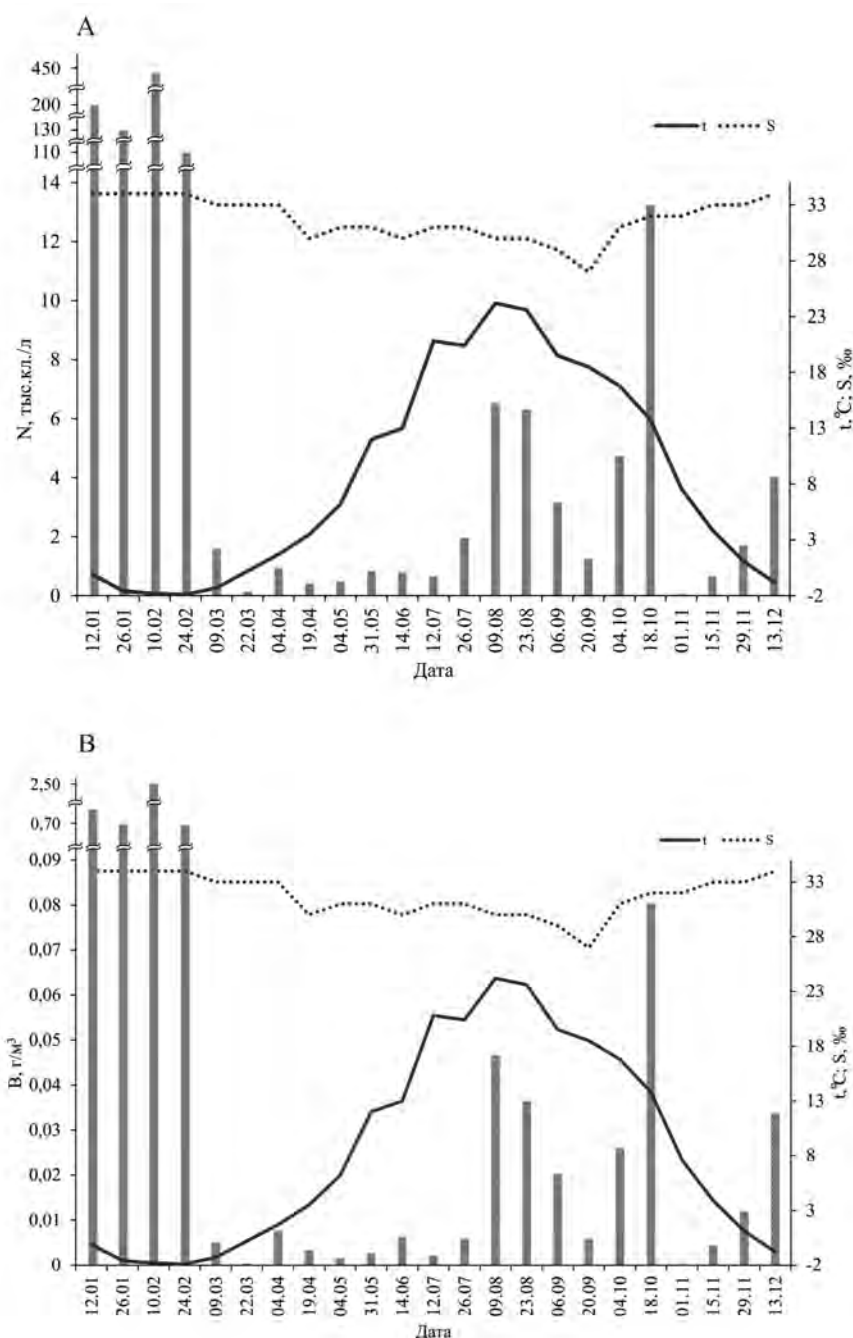


Рис. 1. Динамика суммарных численности (А) и биомассы (Б) видов рода *Thalassiosira* в б. Парис в 2016 г.

Fig. 1. Dynamics of the total abundance (A) and biomass (B) of species of the genus *Thalassiosira* in Paris Bay in 2016.

Анализ сезонной динамики показал, что в зимний период пики численности и биомассы были обусловлены массовым развитием *T. nordenskioeldii*, *T. anguste-lineata*, *T. tenera*. В 2016 г. в планктоне также доминировали *T. aestivalis* и *T. pseudonana*. Традиционным видом зимнего и ранневесеннего «цветения» воды в северо-западной части Японского моря является *T. nordenskioeldii* (Макарова, 1988; Шульгина, Шевченко, 2019). Значительной доли в сообществе вид достигал в зимний и ранневесенний периоды – до 92% от общей численности и до 65% от общей биомассы фитопланктона при температуре воды $-1,8-9^{\circ}\text{C}$ и солености 33,0–35,0‰. Этот вид формировал зимнее сообщество и обуславливал количественные характеристики фитопланктона в целом.

Помимо *T. nordenskioeldii* среди доминирующих видов были отмечен *T. anguste-lineata*, который вегетировал круглогодично, достигая зимой существенной доли в сообществе (42%). Еще одним таксоном, достигавшим массового развития в зимний сезон в б. Парис был *T. aestivalis*. Вид доминировал (58% от общей численности и 43% от общей биомассы микроводорослей) в феврале 2016 г.

Постоянным компонентом планктона круглогодично в б. Парис являлся *T. tenera*. Вид вегетировал в широком диапазоне температуры воды и солености ($-1,8-25^{\circ}\text{C}$, 30–35‰). Зимний максимум развития наблюдали в конце января–феврале (7–43 тыс. кл./л, 23–136 мкг/м³), вид доминировал в сообществе достигая 39%.

В районе исследования также встречался *T. pseudonana*, который доминировал в феврале 2016 г. (200 тыс. кл./л), достигая 44% от общей численности микроводорослей.

Согласно полученным данным, представители *Thalassiosira* являются постоянным компонентом планктона. *T. aestivalis*, *T. pseudonana*, *T. tenera* – были впервые зарегистрированы как доминанты фитопланктона в Японском море и для морей России в целом. Также свой вклад в расширение видового списка *Thalassiosira* и фитопланктона в целом, вносят регулярность гидробиологических сборов, охватывающих все сезоны и долговременность наблюдений.

Исследования проведены на площадке ЦКП «Приморский океанариум», ННЦМБ ДВО РАН (Владивосток).

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов, требующего раскрытия в данной статье.

Список литературы

1. Макарова И.В. Диатомовые водоросли морей СССР: род *Thalassiosira* Cl. – Л.: Наука, 1988. – 117 с.
2. Федоров В.Д. О методах изучения фитопланктона и его активности. – М.: МГУ, 1979. – 167 с.
3. Шульгина М.А., Шевченко О.Г. Многолетняя динамика *Thalassiosira nordenskioeldii* (Bacillariophyta) в Амурском заливе (залив Петра Великого, Японское море) // Тезисы доклада IV Всероссийской. научной конференции молодых ученых «Комплексные исследования Мирового океана». Севастополь, 22–26 апреля, 2019. С. 255–256.
4. Alverson A.J., Kang S.H., Theriot E.C. Cell wall morphology and systematic importance of *Thalassiosira ritscheri* (Hustedt) Hasle, with a description of *Shionodiscus* gen. nov. // Diatom Research. 2006. Vol. 21. P. 251–262.
5. Fryxell G.A., Hasle G.R. Taxonomy of harmful diatoms / In: Manual on Harmful Marine Microalgae (Eds by G.M. Hallegraeff, D.M. Anderson, A.D. Cembella). – Imprimerie Landais, Paris, 2004. – P. 465–510.
6. Hasle G.R., Syvertsen E.E. Marine diatoms // Identifying marine phytoplankton (Ed. by C.R. Tomas). – Academic Press, San Diego, California, 1997. – P. 5–385.
7. Ianora A., Miralto A., Poulet S. A., Carotenuto Y., Buttino I., Romano G., Casotti R., Pohnert G., Wichard T., Colucci-D'Amato L., Terrazzano G., Smetacek V. Aldehyde suppression of copepod recruitment in blooms of a ubiquitous planktonic diatom // Nature. 2004. V.429. P. 403–407.
8. Round F.E., Crawford R.M., Mann D.G. The diatoms: biology and morphology of the genera. – Cambridge University Press, Cambridge, UK, 1990. – 747 p.

9. Utermöhl H. Zur Vervollkommnung der quantitativen Phytoplankton // Methodik Internationalen Verein Limnologie Mitteilungen. 1958. V.9. P. 1–38.

Статья поступила в редакцию 18.06.2025; поступила после доработки 22.08.2025; принята к публикации 28.08.2025

Сведения об авторах

Елисейкина Ульяна Алексеевна – специалист, Научно-образовательный комплекс «Приморский океанариум» – филиал ННЦМБ им. А.В. Жирмунского ДВО РАН, Россия, Владивосток (“Primorsky Aquarium”, National Scientific Center of Marine Biology FEB RAS, Russia, Vladivostok), Лаборатория биотехнологии морских микроводорослей; Дальневосточный федеральный университет, Россия, Владивосток (Far Eastern Federal University, Russia, Vladivostok); eliseikina.ua@dvfu.ru.

Шульгина Мария Александровна – к.б.н., н.с., Научно-образовательный комплекс «Приморский океанариум» – филиал ННЦМБ им. А.В. Жирмунского ДВО РАН, Россия, Владивосток (“Primorsky Aquarium”, National Scientific Center of Marine Biology FEB RAS, Russia, Vladivostok), науч. руководитель Лаб. биотехнологии морских микроводорослей; м.н.с., Национальный научный центр морской биологии им. А.В. Жирмунского ДВО РАН, Владивосток, Россия (Zhirmunsky National Scientific Center of Marine Biology FEB of the RAS, Russia, Vladivostok), Лаборатория морской микробиоты; annekee@mail.ru; ORCID – <https://orcid.org/0000-0002-4744-9230>; SPIN-код 9254-2438.

Корреспондентский адрес: Россия, 690041, Владивосток, ул. Пальчевского, д. 17, ННЦМБ ДВО РАН, тел. (423) 231-09-05.

Influence of species of the genus *Thalassiosira* (Bacillariophyta) on the phytoplankton structure of Paris Bay

Uliana A. Eliseikina^{1,2}, Mariia A. Shulgina^{1,3}

¹“Primorsky Aquarium”, National Scientific Center of Marine Biology FEB RAS (Russia, Vladivostok)

²Far Eastern Federal University (Russia, Vladivostok)

³Zhirmunsky National Scientific Center of Marine Biology FEB of the RAS (Russia, Vladivostok)

Phytoplankton seasonal dynamics of the Paris Bay was studied and the role of *Thalassiosira* species in the community period was assessed. The year-round presence of *Thalassiosira* in plankton is shown. There are 5 dominant *Thalassiosira* species, three of which were first recorded as dominant phytoplankton species in the seas of Russia. The data and results obtained will form the basis for further research of coastal waters in order to replenish the species composition of phytoplankton and study the dynamics of phytoplankton development in general.

Key words: microalgae; dominant species; seasonal dynamics; Sea of Japan

References

1. Alverson A.J., Kang S.H., Theriot E.C. Cell wall morphology and systematic importance of *Thalassiosira ritscheri* (Hustedt) Hasle, with a description of *Shionodiscus* gen. nov. *Diatom Research*. 2006. V. 21. P. 251–262.
2. Fedorov V.D. On methods of studying phytoplankton and its activity. MSU, Moscow, 1979. 167 p. (In Russ.)
3. Fryxell G.A., Hasle G.R. Taxonomy of harmful diatoms. In: Manual on Harmful Marine Microalgae. G.M. Hallegraeff, D.M. Anderson, A.D. Cembella (Eds.). Imprimerie Landais, Paris, 2004. P. 465–510.
4. Hasle G.R., Syvertsen E.E. Marine diatoms. In: Identifying marine phytoplankton. C.R. Tomas (Ed.). Academic Press, San Diego, California, 1997. P. 5–385.
5. Ianora A., Miralto A., Poulet S. A., Carotenuto Y., Buttino I., Romano G., Casotti R., Pohnert G., Wichard T., Colucci-D’amato L., Terrazzano G., Smetacek V. Aldehyde suppression of copepod recruitment in blooms of a ubiquitous planktonic diatom. *Nature*. 2004. V.429. P. 403–407.

6. Makarova I.V. Diatoms of the seas of the USSR: genus *Thalassiosira* Cl. Nauka, Leningrad, 1988. 117 p. (In Russ.)
7. Round F.E., Crawford R.M., Mann D.G. The diatoms: biology and morphology of the genera. Cambridge University Press, Cambridge, UK, 1990. 747 p.
8. Shulgina M.A., Shevchenko O.G. Long-term dynamics of *Thalassiosira nordenskiöldii* (Bacillariophyta) in the Amur Bay (Peter the Great Bay, Sea of Japan). Proceedings of the IV All-Russian Conference. scientific conference of young scientists "Integrated research of the World Ocean" (Sevastopol, April 22–26, 2019). P. 255–256. (In Russ.)
9. Utermöhl H. Zur Vervollkommnung der quantitativen Phytoplankton. *Methodik Internationalen Verein Limnologie Mitteilungen*. 1958. V.9. P. 1–38.

ССЫЛКА НА СТАТЬЮ:

Елисейкина У.А., Шульгина М.А. Влияние видов рода *Thalassiosira* (Bacillariophyta) на структуру фитопланктона бухты Парис // Вопросы современной альгологии. 2025. № 1 (37). P. 175–179. URL: <http://algology.ru/2187>

Eliseikina U.A., Shulgina M.A. Influence of species of the genus *Thalassiosira* (Bacillariophyta) on the phytoplankton structure of Paris Bay. *Voprosy sovremennoi algologii* (Issues of modern algology). 2025. № 1 (37). P. 175–179. URL: <http://algology.ru/2187>

DOI – [https://doi.org/10.33624/2311-0147-2025-1\(37\)-175-179](https://doi.org/10.33624/2311-0147-2025-1(37)-175-179); EDN – AGTUMX

Видовой состав фитопланктона Камчатских прибрежных вод (остров Старичков) в летне-осенний период 2024 года

Species composition of phytoplankton from Kamchatka coastal waters (Starichkov Island) in summer and autumn in 2024

Курбанова Л.В.¹, Клочкова Т.А.²

Lidiya V. Kurbanova, Tatyana A. Klochkova

¹Камчатский филиал Тихоокеанского института географии ДВО РАН
(Петропавловск-Камчатский, Россия)

²Камчатский государственный технический университет
(Петропавловск-Камчатский, Россия)

В статье приводится видовой состав фитопланктона, собранного в водах Тихого океана у острова Старичков (Юго-восточная Камчатка) в регулярные промежутки времени с 08.07.2024 по 23.10.2024. Проведенное нами исследование показало, что внутри Авачинской губы развитие фитопланктона происходит более интенсивно, чем на выходе из бухты или за ее пределами, т.е. в Авачинском заливе и других бухтах. Постоянный контроль за численностью и структурой планктона, а также снижение антропогенной нагрузки на акватории могут способствовать снижению интенсивности вредоносных цветений морской воды в Камчатском крае.

Ключевые слова: видовой состав; диатомовые; динофлагелляты; Камчатка; «красные приливы»; остров Старичков; фитопланктон; экосистема

В последние несколько десятилетий негативное природное явление, получившее название «красные приливы» или «вредоносное цветение водорослей», стало для Камчатки весьма актуальной проблемой (Коновалова, 1995). Начиная с осени 2020 г. эта проблема широко освещается не только в научной литературе, но и в СМИ (Курбанова, Клочкова, 2025). При этом экологическое состояние планктона прикамчатских вод полноценно не контролируется и опубликованные данные по его видовому и количественному составу имеют скорее эпизодический, чем регулярный характер (Курбанова, Клочкова, 2025).

В нашей ранней работе мы привели описание явления цветения зоо- и фитопланктона в Авачинской губе за 2024 г. (Курбанова, Клочкова, 2025). В настоящей статье приводятся первые данные по видовому составу фитопланктона, собранного в прибрежных водах острова Старичков (Юго-восточная Камчатка) в регулярные промежутки времени с 08.07.2024 по 23.10.2024, т.е. в период активного летне-осеннего цветения планктона в Авачинской губе (Курбанова, Клочкова, 2025). Небольшой по площади остров Старичков

расположен в 12 км от входа в Авачинскую бухту и всего в 30 км от г. Петропавловск-Камчатский. Остров объявлен памятником природы регионального значения¹ и объектом охраны и научных исследований КФ ТИГ ДВО РАН, рассматривается как «единая геосистема, уникальная среда обитания живых организмов» (Биота острова..., 2009). В связи с этим, изучение фитопланктона в прибрежных водах острова Старичков важно для понимания экосистемных процессов и биологических взаимодействий в регионе. Ценные эколого-функциональные характеристики, такие как видовой состав и численность клеток планктона, служат наглядным индикаторами состояния водной среды.

Для проведения подсчетов клеток фитопланктона, пробы отбирали батометром Молчанова ГР-18 в поверхностном и придонном слоях воды на глубине от 9 до 20 м (максимальная глубина на станции № 4 – 37 м), как показали данные судового эхолота. Места сбора проб отмечены на рисунке 1, всего было исследовано 4 станции. Клетки фитопланктона просчитывали в счетной камере Sedgewick-Rafter объемом 1 мл. Под плотностью фитопланктона понимали количество клеток микроводорослей в литре воды. Для подсчета подвижных клеток пробы фиксировали в слабом растворе формальдегида. Камеральную обработку проб проводили с помощью микроскопов «VanGuard» 1113 АМН и Olympus BX53 с цифровой фотокамерой Olympus DP73 с программным обеспечением Cell Sens Standard (Olympus, Japan). Для определения таксонов использовали научные монографии и другие научные труды по фитопланктону (Коновалова, 1995, 2006; Коновалова, Селина, 2010; Орлова и др., 2024). Современные названия таксонов сверяли с международной базой данных AlgaeBase (Guiry, Guiry, 2025).

По результатам обработки 25 проб в 2024 г. в прибрежных водах острова Старичков нами было выявлено 45 таксонов микроводорослей, из них 40 таксонов были определены до уровня вида и 5 – до уровня рода (табл. 1). В случае видов, определенных нами до уровня рода, их более точная видовая идентификация требует применения сканирующей электронной микроскопии, сиквенирования ДНК, либо их определение было затруднено по причине малочисленности клеток в пробах.

Во всех изученных нами пробах во все месяцы наиболее многочисленными были диатомовые микроводоросли (Bacillariophyceae) – 33 таксона (73,3% от всех фитопланктонных видов). Вторыми по числу видов были динофитовые (Dinoflagellata) – 8 таксонов (17,7% от всех фитопланктонных видов). Золотистые (Chrysophyceae), зеленые (Chlorophyta) и эвгленовые (Euglenoidea) были представлены малым количеством видов – по 1–2 таксона (табл. 1). Также примечательно, что представители эвгленовых и хламидомонадовых водорослей (*Euglena* sp. и *Chlamydomonas* sp.) были обнаружены в определенные месяцы 2024 г. (август–сентябрь), причем они могли присутствовать только на какой-либо одной станции, в то время как на других станциях их не было.

Представители криптомонадовых (Cryptophyceae) на всех 4-х станциях обнаружены не были, в то время как в расположенной в 12 км Авачинской губе происходило их массовое развитие. В то время на фоне массового развития криптомонад в Авачинской губе также происходило цветение зоопланктона *Myrionecta rubra* Jankowski, окрасившего воду в красный цвет (Курбанова, Клочкова, 2025). Так, в октябре 2024 г. численность *M. rubra* в Авачинской губе только на поверхности воды составила 8 млн 863 тыс. кл./литр, однако в прибрежных водах острова Старичков ее было от 0 до 117,2 тыс. кл./литр, т.е. в 75,6 раз меньше.

Ниже приводится полный видовой состав микроводорослей, обнаруженных в прибрежных водах острова Старичков по результатам обработки проб, собранных нами в летний и осенний периоды 2024 г. в придонном и поверхностном слоях воды на 4-х исследованных станциях.

¹ Постановление Правительства Камчатского края от 23.08.2021. № 372-П (О памятнике природы регионального значения «Остров Старичков»). 2021.



Рис. 1. Карта полуострова Камчатка с отмеченным районом исследования и районы сбора материала фитопланктона в прибрежных водах острова Старичков в период с 08.07.2024 г. по 23.10.2024 г. Станции 1–4 отмечены условными знаками и порядковыми номерами; остров Старичков расположен между станциями № 2 и № 3 и отмечен на карте стрелкой.

Fig. 1. Map of Kamchatka Peninsula with the marked study area and areas of phytoplankton material collection in the coastal waters of Starichkov Island in the period from 07.08.2024 to 10.23.2024. Stations 1–4 are marked with symbols and serial numbers; Starichkov Island is located between stations № 2 and № 3 and is marked on the map with an arrow.

Таблица 1. Количество таксонов микроводорослей в планктоне прибрежных вод острова Старичков, собранных с 08.07.2024. по 23.10.2024.

Table 1. The number of microalgal taxa in plankton of coastal waters of Starichkov Island, collected from 07.08.2024 to 10.23.2024.

Таксономическая группа	Определены до уровня вида	Определены до уровня рода	Всего таксонов
Диатомовые (Bacillariophyceae)	31	2	33
Динофитовые (Dinoflagellata)	7	1	8
Золотистые (Chrysophyceae)	2	–	2
Эвгленовые (Euglenoidea)	–	1	1
Зеленые (Chlorophyta)	–	1	1
Всего	40	5	45

Диатомовые (Bacillariophyceae): *Achnanthes* sp.; *Asterionellopsis glacialis* (Castracane) Round; *Asteroplanus karianus* (Grunow) Gardner et Crawford; *Chaetoceros compressus* Lauder, *Ch. concavicornis* Mangin, *Ch. constrictus* Gran, *Ch. curvisetus* Cleve, *Ch. debilis* Cleve, *Ch. decipiens* Cleve, *Ch. diadema* (Ehrenberg) Gran, *Ch. didymus* Ehrenberg, *Ch. laciniosus* Schütt, *Ch. mitra* (Bailey) Cleve, *Ch. muelleri* Lemmermann, *Ch. radicans* Schütt, *Ch. socialis* Lauder; *Cylindrotheca closterium* (Ehrenberg) Reimann et Lewin; *Detonula confervacea* (Cleve) Gran; *Eucampia zodiacus* Ehrenberg; *Leptocylindrus danicus* Cleve; *Licmophora* sp.; *Pseudonitzschia delicatissima*, *Ps. pungens*, *Ps. seriata*; *Rhizosolenia alata* Brightwell; *Sundstroemia setigera* (Brightwell) Medlin; *Skeletonema costatum* (Greville) Cleve; *Ulnaria ulna* (Nitzsch) Compère; *Thalassionema nitzschioides* (Grunow) Mereschkowsky; *Thalassiosira bramauputae* (Ehrenberg) Håkansson et Locker, *Th. gravida* Cleve, *Th. nordenskiöldii* Cleve, *Th. pacifica* Gran et Angst.

Динофитовые (Dinoflagellata): *Amphidinium sphenoides* Wulff; *Amylax triacantha* (Jørgensen) Sournia; *Tripos lineatus* (Ehrenberg) Gómez, *Tr. longipes* (Bailey) Gómez; *Gyrodinium* sp.; *Protoperidinium granii* (Ostenfeld) Balech, *Pr. oceanicum* (Vanhöffen) Balech, *Pr. pallidum* (Ostenfeld) Balech.

Золотистые (Chrysophyceae): *Octactis speculum* (Ehrenberg) Chang, Grieve et Sutherland; *Ebria tripartita* (Schumann) Lemmermann.

Эвгленовые (Euglenoidea): *Euglena* sp.

Зеленые (Chlorophyta): *Chlamydomonas* sp.

В заключение отметим, что среди всех видов указанных выше планктонных микроводорослей в период с июля по октябрь 2024 г. в прибрежных водах острова Старичков доминировала диатомея *Skeletonema costatum*. Так, на разных станциях численность клеток этого вида составила от 1 млн. 116 тыс. до 10 млн. 122 тыс. кл./литр в поверхностном слое воды, что в среднем в 4,2–38 раз меньше, чем в Авачинской губе в это же самое время (42 млн. 45 тыс. кл./литр; Курбанова, Ключкова, 2025). В условиях повышенной эвтрофикации обильное цветение *S. costatum* может оказывать крайне негативное воздействие на морские организмы. Являясь космополитом, *S. costatum* входит в число планктонных микроводорослей практически повсеместно, поэтому во многих регионах мира этот вид связывают с токсичными микроорганизмами, хотя он не является токсичным. По нашим данным, в летний период 2024 г. в Авачинской губе также обильно цвела *S. costatum*, и суммарное количество клеток этого вида составило до 89,7% от общей численности всех обнаруженных диатомовых.

С августа по октябрь 2024 г. в прибрежных водах острова Старичков регистрировали низкую численность потенциально токсичных видов микроводорослей, таких как *Pseudo-nitzschia seriata*, *Ps. delicatissima*, *Ps. pungens*. Определенные виды рода *Pseudo-nitzschia* Н. Perag. (In: Н. Perag. et Perag) являются продуцентами опасного нейротоксина – домоевой кислоты, поэтому необходимо учитывать численность клеток этих видов от общего количества клеток в планктоне. Численность динофитовых в прибрежных водах у острова Старичков также была невысокой и составила 0,003% от общего количества клеток фитопланктона.

Таким образом, проведенное нами исследование показало, что на Камчатке развитие фитопланктона происходит наиболее интенсивно внутри Авачинской губы. За ее пределами, т.е. в Авачинском заливе и других бухтах, количество клеток планктона намного меньше. Для снижения частоты и интенсивности «цветений» планктона в Камчатских прибрежных водах необходим постоянный контроль за его численностью и структурой, а также снижение антропогенной нагрузки на морские акватории (Ключкова и др., 2022, 2023; Мангазеев и др. 2024а, 2024б).

Авторы выражают благодарность сотрудникам КФ ТИГ ДВО РАН д.б.н. Коростелеву С.Г. и к.б.н. Данилину Д.Д. за содействие в организации сбора проб.

Работа подготовлена в рамках выполнения проектов «Структурно-функциональная организация, динамика и продуктивность наземных и прибрежных экосистем на Дальнем Востоке РФ. Разработка научных основ и экономических инструментов устойчивого природопользования» (Рег. № 124012700496-4) и «Исследование и сохранение уникального морского биоразнообразия Камчатки» (Рег. № 124093000049-8).

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов, требующего раскрытия в данной статье.

Список литературы

1. Биота острова Старичков и прилегающей к нему акватории Авачинского залива // Труды Камчатского филиала Тихоокеанского института географии ДВО РАН. Токранов А.М. (ред.) – Петропавловск-Камчатский: Камчатпресс, 2009. – 350 с.

2. Клочкова Т.А., Кацутин А.Н., Васильев М.В., Благодравова М.В., Болотова Р.Г. Морская экология: Разработка биотехники выращивания бурых водорослей Камчатского края для санитарной марикультуры и восстановления их естественных популяций. – Отчет о НИР. Федеральное агентство по рыболовству. Рег. № НИОКТР 122040600047-4. 2022. – 112 с. EDN: QPEFQJ.
3. Клочкова Т.А., Климова А.В., Васильев М.В., Позолотина Л.А., Соколов М.А., Мунгалова В.Р. Морская экология: Разработка биотехники выращивания бурых водорослей Камчатского края для санитарной марикультуры и восстановления их естественных популяций. Этап 2. – Отчет о НИР. Федеральное агентство по рыболовству. Рег. № НИОКТР 122040600047-4. 2023. – 85 с. EDN: UNTSVI.
4. Коновалова Г.В. Красные приливы у восточной Камчатки (Атлас-справочник). – Петропавловск-Камчатский: Камшат, 1995. – 56 с.
5. Коновалова Г.В. Планктонная флора прибрежных вод Восточной Камчатки. Жгутиковые водоросли. II // Труды Камчатского филиала Тихоокеанского института географии ДВО РАН. Петропавловск-Камчатский: Камчатский печатный двор. Вып. V. 2006. С. 8–23.
6. Коновалова Г.В., Селина М.С. Динофитовые водоросли (Dinophyta). – Владивосток: Дальнаука, 2010. – 362 с.
7. Курбанова Л.В., Клочкова Т.А. Цветение фито- и зоопланктона в Авачинской губе (Юго-восточная Камчатка) в 2024 году. – VII национальная (Всероссийская) научно-техническая конференция. Петропавловск-Камчатский. 2025. С. 157–163. DOI: <https://doi.org/10.24412/cl-35750-2025-1-157-163>.
8. Мангазеев А.В., Клочкова Н.Г., Клочкова Т.А. Использование дистанционного мониторинга для оценки состояния макрофитобентоса Авачинской губы в районе сброса стоков очистных сооружений // Вестник научного центра ВОСТНИИ по промышленной и экологической безопасности. 2024а. №3. С. 80–88. DOI: <https://doi.org/10.25558/VOSTNII.2024.44.43.009>.
9. Мангазеев А.В., Васильев М.В., Клочкова Т.А., Клочкова Н.Г. Обратноосмотическая фильтрация молочной творожной сыворотки как способ детоксикации ее выбросов и улучшения функционирования очистных сооружений г. Петропавловска-Камчатского // Промышленные процессы и технологии. 2024б. Т.4, №1. С. 28–43. DOI: [https://doi.org/10.37816/2713-0789-2024-4-1\(11\)-28-43](https://doi.org/10.37816/2713-0789-2024-4-1(11)-28-43).
10. Орлова Т.Ю., Селина М.С., Стоник И.В., Морозова Т.В., Бегун А.А., Лепская Е.В. Фитопланктон прибрежных вод Камчатки и сопредельных акваторий / Адрианов А.В. (ред.). – Владивосток: Издательство ЛИТ, 2024 – 184 с.
11. Guiry M.D., Guiry G.M. AlgaeBase. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway. 2023. <http://www.algaebase.org> (дата обращения: 31.05.2025).

Статья поступила в редакцию 18.06.2025; поступила после доработки 19.08.2025; принята к публикации 28.08.2025

Сведения об авторах

Курбанова Лидия Витальевна – м.н.с., Камчатский филиал Тихоокеанского института географии ДВО РАН, Россия, Петропавловск-Камчатский (Kamchatka Branch of Pacific Geographical Institute of FEB RAS, Russia, Petropavlovsk-Kamchatsky), Лаборатория «Гидробиология»; kbljxrf1995@mail.ru; ORCID – <https://orcid.org/0009-0007-6234-7949>; SPIN-код 4693-1399.

Клочкова Татьяна Андреевна – д.б.н., профессор, Камчатский государственный технический университет, Россия, Петропавловск-Камчатский (Kamchatka State Technical University, Russia, Petropavlovsk-Kamchatsky), каф. «Экология и природопользование»; tatyana_algae@mail.ru; ORCID – <https://orcid.org/0000-0002-7584-1774>; SPIN-код 7534-7736.

Корреспондентский адрес: Россия, 683000, Петропавловск-Камчатский, ул. Партизанская, д. 6, КФ ТИГ ДВО РАН, тел. (415-2) 41-24-64.

Species composition of phytoplankton from Kamchatka coastal waters (Starichkov Island) in summer and autumn in 2024

Lidiya V. Kurbanova¹, Tatyana A. Klochkova²

¹Kamchatka Branch of Pacific Geographical Institute of FEB RAS (Russia, Petropavlovsk-Kamchatsky)

²Kamchatka State Technical University (Russia, Petropavlovsk-Kamchatsky)

In this paper, we discuss personally collected data on the number of phytoplankton cells from the Pacific Ocean in the proximity of Starichkov Island (South-eastern Kamchatka) estimated at

regular intervals from 08.07.2024 to 23.10.2024. Our study showed that inside the neighboring Avacha Bay, phytoplankton development occurs more intense than outside it, i.e. in the Avacha Gulf and other bays in Kamchatka. Constant monitoring of the number and structure of plankton and reduction of the anthropogenic load on the marine territories might reduce the intensity of plankton blooming in Kamchatka.

Key words: species composition; diatoms; dinoflagellates; Kamchatka; “red tides”; Starichkov Island; plankton; ecosystem

References

1. Biota of Starichkov Island and adjacent waters of Avacha Gulf. Proceedings of Kamchatka Branch of Pacific Institute of Geography, Far Eastern Division, Russian Academy of Sciences. A.M. Tokranov (Ed.). Kamchatpress, Petropavlovsk-Kamchatsky, 2009. 350 p. (In Russ.)
2. Klochkova T.A., Kashutin A.N., Vasiliev M.V., Blagonravova M.V., Bolotova R.G. Marine ecology: Development of biotechnology for growing brown algae of Kamchatka Krai for sanitary mariculture and restoration of their natural populations. Research Report. Federal Agency for Fisheries. Reg. № 122040600047-4. 2022. 112 p. EDN: QPEFQJ. (In Russ.)
3. Klochkova T.A., Klimova A.V., Vasiliev M.V., Pozolotina L.A., Sokolov M.A., Mungalova V.R. Marine ecology: Development of biotechnology for growing brown algae of Kamchatka Krai for sanitary mariculture and restoration of their natural populations. Stage 2. Research Report. Federal Agency for Fisheries. Reg. № 122040600047-4. 2023. 85 p. EDN: UNTSVI. (In Russ.)
4. Konovalova G.V. Planktonic flora of coastal waters of Eastern Kamchatka. Flagellate algae. II. Proceedings of Kamchatka Branch of Pacific Institute of Geography, Far Eastern Division, Russian Academy of Sciences. Is.V. Kamchatskij pechatnyj dvor, Petropavlovsk-Kamchatsky, 2006. P. 8–23. (In Russ.)
5. Konovalova G.V. Red tides in eastern Kamchatka (Atlas-handbook). Kamshat, Petropavlovsk-Kamchatsky, 1995. 56 p. (In Russ.)
6. Konovalova G.V., Selina M.S. Dinoflagellate algae (Dinophyta). Dalnauka, Vladivostok, 2010. 362 p. (In Russ.)
7. Kurbanova L.V., Klochkova T.A. Phyto- and zooplankton bloom in the Avacha Bay (Southeast Kamchatka) in 2024. The Seventh National (All-Russian) Scientific and Technical Conference. Petropavlovsk-Kamchatsky. 2025. P. 157–163. DOI: <https://doi.org/10.24412/cl-35750-2025-1-157-163>. (In Russ.)
8. Mangazeev A.V., Klochkova N.G., Klochkova T.A. Use of remote monitoring in assessment of the macrophytobenthos condition in the Avacha Bay in the area of water discharge from the treatment facilities. Bulletin of Scientific Center VostNII for Industrial and Environmental Safety. 2024. №3. P. 80–88. DOI: <https://doi.org/10.25558/VOSTNII.2024.44.43.009>. (In Russ.)
9. Mangazeev A.V., Vasiliev M.V., Klochkova T.A., Klochkova N.G. Reverse osmosis filtration of milk curd whey as a way to detoxify its emissions and improve the functioning of wastewater treatment plants in Petropavlovsk-Kamchatsky. Industrial processes and technologies. 2024. V.4, №1. P. 28–43. DOI: [https://doi.org/10.37816/2713-0789-2024-4-1\(11\)-28-43](https://doi.org/10.37816/2713-0789-2024-4-1(11)-28-43). (In Russ.)
10. Orlova T.Yu., Selina M.S., Stonik I.V., Morozova T.V., Begoun A.A., Lepskaya E.V. Phytoplankton of coastal waters of Kamchatka and adjacent waters. A.V. Adrianov (Ed.). Izdatel'stvo LIT, Vladivostok, 2024 184 p. (In Russ.)
11. Guiry M.D., Guiry G.M. 2023. AlgaeBase. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway. 2023. <http://www.algaebase.org> (date: 31.05.2025).

ССЫЛКА НА СТАТЬЮ:

Курбанова Л.В., Клочкова Т.А. Видовой состав фитопланктона Камчатских прибрежных вод (остров Старичков) в летне-осенний период 2024 года // Вопросы современной альгологии. 2025. № 1 (37). P. 180–185. URL: <http://algology.ru/2173>

Kurbanova L.V., Klochkova T.A. Species composition of phytoplankton from Kamchatka coastal waters (Starichkov Island) in summer and autumn in 2024. *Voprosy sovremennoi algologii (Issues of modern algology)*. 2025. № 1 (37). P. 180–185. URL: <http://algology.ru/2173>

DOI – [https://doi.org/10.33624/2311-0147-2025-1\(37\)-180-185](https://doi.org/10.33624/2311-0147-2025-1(37)-180-185); EDN – JFHESG

Оценка современного состояния озер бассейна реки Индигирка (с применением диатомового анализа)

Assessment of the current state of lakes in the Indigirka River basin (using diatom analysis)

Левина С.Н., Городничев Р.М., Пестрякова Л.А.

Sardana N. Levina, Ruslan M. Gorodnichev, Lyudmila A. Pestryakova

Северо-Восточный федеральный университет – СВФУ (Якутск, Россия)

Бассейн реки Индигирка, площадь которого составляет 360 тыс. км², занимает третье место среди рек исследуемого региона. Протекающая в зоне распространения многолетнемерзлых пород, Индигирка остается недостаточно изученной с лимнологической точки зрения и при этом представляет перспективное направление для дальнейшего развития промышленности в будущем. Объектом исследования стали образцы поверхностных донных отложений (0–2 см) 42 разнотипных озер. По происхождению, котловины озер относятся к водно-эрозионным, эрозионно-термокарстовым, термокарстовым и ледниковым типам. Большинство озер отличаются малой глубиной, вода исследуемых водных объектах является ультрапресной и мягкой. В диатомовой флоре озер зарегистрировано 257 видов (в т.ч. 4 разновидности) диатомей, относящихся к 75 родам, 30 семействам и 3 классам. Структура диатомовой флоры отражает небольшую глубину и малые размеры изучаемых озер. Биоиндикационная оценка с использованием диатомового анализа выявила, что по уровню органического загрязнения озера относятся ко II (чистым) и III (умеренно загрязненным) классам качества воды.

Ключевые слова: озера; диатомовые водоросли; донные осадки; Индигирка; Якутия; Арктика

Районом исследования выбран один из озерных регионов Республики Саха (Якутия) бассейн реки Индигирка. Альгофлора водных объектов бассейна изучена слабо, подробное исследование фитопланктона реки представлено в монографиях В.А. Габышева и О.И. Габышевой (2011; 2018), где зарегистрировано всего 309 видов для девяти отделов водорослей, 46% флоры из которых занимал отдел диатомовых водорослей. Наиболее богатое видовое разнообразие было отмечено для семейств: *Naviculaceae* (10,3%), *Fragilariaceae* (6,5%), *Cymbellaceae* (5,7%), *Eunotiaceae* и *Nitzschiaceae* (по 3,4%). Исследование родового состава водорослей планктона реки Индигирки выявило неоднородность распределения видов вдоль всего русла.

Целью работы является оценка современного состояния озер бассейна реки Индигирка с применением диатомового анализа. Объектами исследования являются поверхностные донные осадки 42 разнотипных озер, расположенных в трех климатических зонах (типичная тундра, лесотундра и северная тайга). Высота над уровнем моря варьирует от 7 до 596 м, большинство изученных озер расположено на Яно-Индигирской низменности. В работе применен комплекс методов по сбору

полевого материала, комплекс лимнологических, гидрохимических, геоинформационных и статистических методов (Левина, 2021). Диатомовый анализ донных отложений был выполнен по общепринятой количественной методике (Общие закономерности..., 1986). Постоянные препараты были исследованы с помощью светового микроскопа Axio Imager.A2 (фирмы Carl Zeiss), применяя иммерсионный объектив ахромат 100×/1,25× (окуляр Р1 10×/23×). Диатомовые водоросли были определены до вида (500 и более створок), при составлении таксономического списка использовались отечественные и зарубежные определители (Round et al., 1990; Krammer, 2000; 2002; 2003 и др.). По относительному обилию видов были выделены «массовые» виды, встречающиеся в пробах в количестве от 5% до 10% (субдоминанты) и более 10% (доминанты). Выявление уровня трофности было выполнено с применением метода Пантле-Букка в модификации Сладечека (Sládeček, 1973; 1986). Принадлежность диатомей-индикаторов к той или иной зоне сапробности определялась по спискам сапробных организмов (Макрушин, 1974; Унифицированные методы, 1976; 1977; Denus, 1991; Барина, Медведева, 1996).

По морфометрическим показателям большинство озер имеют малую величину площади водного зеркала (33%), по данному параметру выделяются озера лесотундры за счет двух крупных уникальных озер региона Сутуруоха и Ожого. По максимальной глубине обладают очень малой глубиной 74%, имеют близкие к округлым формы озерной котловины (64%) и слабоизрезанную береговую линию (93%). Прозрачность воды, измеренная по диску Секки варьирует от 0,18 до 2,8 м. Наибольшая прозрачность характерна для озер субарктической тундры, низкие значения прозрачности воды отмечены для озер, расположенных вблизи населенных пунктов. По значениям общей жесткости практически все озера имеют «очень мягкую» воду (менее 1,5 Th), водородный показатель меняется в пределах от 4,0 (кислой среды) до 9,0 (щелочной), при этом 45% озер обладают слабощелочной средой. По минерализации воды все озера являются ультрапресными (минерализация ниже 250 мг/л). По гидрохимическому составу большинство вод исследуемых озер относятся к классу гидрокарбонатных (90%), группе магниевых (50%), кальциевых (28%) и натриевых вод (9%).

В диатомовой флоре изученных озер зарегистрировано 257 видов (в т.ч. 4 разновидности) диатомей, относящихся к 75 родам, 30 семействам и 3 классам Bacillariophyta. Самым крупным является класс Bacillariophyceae, который включает 12 порядков, 27 семейств, 67 родов, 239 видов (93% от общего числа видов). Список массовых форм включает 55 видов, в котором насчитывается 32 доминантных вида (12% от общего числа видов) и 41 субдоминант (16%). Среди них можно выделить виды *Staurosira venter* (встречен как доминант в 50% озер), *Staurosirella pinnata* (в 29%) и *Tabellaria flocculosa* (в 25%). Данные виды являются типичными массовыми видами для водоемов Якутии. Следует отметить, что впервые для флоры Якутии обнаружено 9 новых видов диатомей. Эколого-географический анализ показывает практически одинаковую долю во флоре бореальных форм (39%) и видов-космополитов (37%), по отношению к солености воды преобладают индефференты (66%), по предпочитаемому рН алкалофилы (39%), по местообитанию к донным 48% и обрастателям макрофитов 43%.

Качество воды исследуемых озер, выявленное с расчетным индексом сапробности по диатомеям, показало, что озера субарктических территорий и северной тайги по уровню загрязненности относятся к «чистым» (II класс), а водоемы лесотундры к «умеренно загрязненным» (III класс). Индекс сапробности озер варьирует от 0,73 до 1,73 (рис. 1). Водоемы с низкими показателями прозрачности расположены вблизи населенных пунктов: с. Сутуруоха (Абыйский улус), с. Куберганя (Абыйский улус) и с. Чокурдах (Аллаиховский улус).

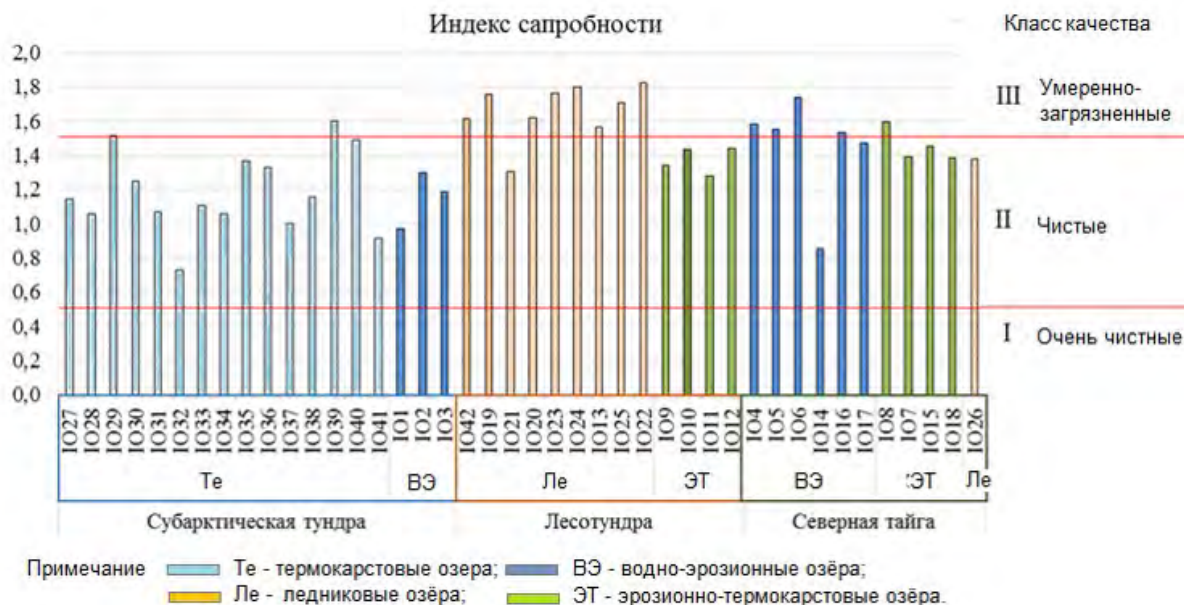


Рис. 1. Оценка сапробности изученных водоемов и их класс качества.

Fig. 1. Assessment of the saprobity of the studied reservoirs and their quality class.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России в рамках проектной части государственного задания в сфере научной деятельности Министерства образования и науки РФ по Заданию №FSRG-2023-0027.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов, требующего раскрытия в данной статье.

Список литературы

1. Барина С.С., Медведева Л.А. Атлас водорослей – индикаторов сапробности (российский Дальний Восток). – Владивосток: Дальнаука, 1996. – 364 с.
2. Габышев В.А., Габышева О.И. Фитопланктон крупных рек Якутии и сопредельных территорий Восточной Сибири [под ред. Л.Г. Корневой]. – Новосибирск: Изд. АНС «СибАК», 2018. – 414 с.
3. Габышев В.А., Габышева О.И. Особенности развития фитопланктона и физико-химических свойств воды р. Индигирка // Вестник СВНЦ ДВО РАН. 2011. № 3. С. 42–50.
4. Левина С.Н., Давыдова П.В., Баишева И.А. Оценка современного состояния озер низовья реки Индигирка // Региональные геосистемы. 2021. Т. 45, № 2. С. 168–182. DOI: <https://doi.org/10.52575/2712-7443-2021-45-2-168-182>.
5. Макрушин А.В. Библиографический указатель по теме «Биологический анализ качества вод» с приложением списка организмов-индикаторов загрязнения – Л.: ЗИН АН СССР, 1974. – 53 с.
6. Общие закономерности возникновения и развития озер: Методы изучения истории озер. – Л.: Наука, 1986. – 254 с. (История озер СССР).
7. Унифицированные методы исследования качества вод: Методы биологического анализа вод. – М.: Издательство СЭВ, 1976. – 185 с.
8. Унифицированные методы исследования качества вод: Методы биологического анализа вод. Приложение 1. Индикаторы сапробности. – М.: Издательство СЭВ, 1977. – 92 с.
9. Denus L. A check-list of the diatoms in the Holocene deposits of the western Belgian coastal plain with a survey of their apparent ecological requirements // Service Geologique de Belgique. 1991. V.2. 41 p.
10. Krammer K. Diatoms of Europe. The Cymbopileura, Delicata, Navicymbula, Gomphocymbellopsis, // Ruggell: A. R. G. Gantner Verlag K. G. 2003. – 529 p.
11. Krammer K. Diatoms of Europe. The Genus Cymbella // Ruggell: A. R. G. Gantner Verlag K. G. 2002. – 584 p.

12. *Krammer K.* Diatoms of Europe. The Genus *Pinnularia* // Ruggell: A. R. G. Gantner Verlag K. G. 2000. – 703 p.
13. *Round F. E., Crawford R.M., Mann D.G.* The Diatoms: Biology and Morphology of the Genera // New York: Cambridge University Press, 1990. – 747 p.
14. *Sládeček V.* Diatoms as indicators of organic pollution // *Acta hydrochimica et hydrobiologica*. 1986. V.14. №5. P. 555–566.
15. *Sládeček V.* System of water quality from the biological point of view // Stuttgart: Schweizerbart. 1973. – 218 p.

Статья поступила в редакцию 18.06.2025; поступила после доработки 05.09.2025; принята к публикации 06.09.2025

Сведения об авторах

Левина Сардана Николаевна – к.г.н., с.н.с., Северо-Восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова, Россия, Якутск (North-Eastern Federal University, Russia, Yakutsk); levina_sardan@mail.ru; ORCID – <https://orcid.org/0000-0002-7653-7379>.

Горodничев Руслан Михайлович – к.б.н., зав. лабораторией, Северо-Восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова, Россия, Якутск (North-Eastern Federal University, Russia, Yakutsk); rusgorodnichev@gmail.com; ORCID – <https://orcid.org/0000-0002-1941-5383>.

Пестрякова Людмила Агафьевна – д.г.н., г.н.с., Северо-Восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова, Россия, Якутск (North-Eastern Federal University, Russia, Yakutsk); lapest@mail.ru; ORCID – <https://orcid.org/0000-0001-5347-4478>.

Корреспондентский адрес: Россия, 677000, Якутск, ул. Белинского, д. 58, СВФУ, тел. (4112) 35-20-90.

Assessment of the current state of lakes in the Indigirka River basin (using diatom analysis)

Sardana N. Levina, Ruslan M. Gorodnichev, Lyudmila A. Pestryakova

North-Eastern Federal University (Russia, Yakutsk)

The Indigirka River basin, with an area of 360,000 km², ranks third among the rivers of the region under study. Flowing in the permafrost zone, the Indigirka remains insufficiently studied from a limnological point of view and at the same time represents a promising direction for further industrial development in the future. The object of the study was samples of surface sediments (0-2 cm) from 42 lakes of different types. By origin, the basins of lakes belong to the water-erosion, erosion-thermokarst, thermokarst and glacial types. Most lakes are shallow, and the water in the studied bodies of water is ultra-fresh and soft. 257 species (including 4 varieties) of diatoms belonging to 75 genera, 30 families and 3 classes have been registered in the diatom flora of the lakes. The structure of the diatom flora reflects the shallow depth and small size of the lakes studied. Bioindication assessment using diatom analysis revealed that according to the level of organic pollution, the lakes belong to the II (clean) and III (moderately polluted) classes of water quality.

Key words: lakes; diatoms; bottom sediments; Indigirka; Yakutia; Arctic

References

1. Barinova S.S., Medvedeva L.A. Atlas of algae indicators of saprobicity (Russian Far East). Dalnauka Publ., Vladivostok, 1996. 364 p. (In Russ.)
2. Denus L. A check-list of the diatoms in the Holocene deposits of the western Belgian coastal plain with a survey of their apparent ecological requirements. *Service Geologique de Belgique*. 1991. V.2. 41 p.

3. Gabyshev V.A., Gabysheva O.I. Phytoplankton of Large Rivers in Yakutia and Adjacent Territories of Eastern Siberia: Monograph; [edited by L.G. Korneva]. ANS SibAK Publishing House, Novosibirsk, 2018. 414 p. (In Russ.)
4. Gabyshev V.A., Gabysheva O.I. Features of Phytoplankton Development and Physical and Chemical Properties of the Indigirka River Water. *Bulletin of the North-Eastern Scientific Center of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences*. 2011. No. 3. P. 42–50. (In Russ.)
5. General patterns of occurrence and development of lakes: Methods for studying the history of lakes. Nauka, Leningrad, 1986. 254 p. (History of lakes of the USSR). (In Russ.)
6. Krammer K. Diatoms of Europe. The Cymbopileura, Delicata, Navicymbula, Gomphocymbellopsis. A.R.G. Gantner Verlag K.G., Ruggell, 2003. 529 p.
7. Krammer K. Diatoms of Europe. The Genus Cymbella. A.R.G. Gantner Verlag K.G., Ruggell, 2002. 584 p.
8. Krammer K. Diatoms of Europe. The Genus Pinnularia. A.R.G. Gantner Verlag K.G., Ruggell, 2000. 703 p.
9. Levina S.N., Davydova P.V., Baisheva I.A. Assessment of the current state of the lakes in the lower reaches of the Indigirka River. *Regional Geosystems*. 2021. V.45, № 2. P. 168–182. DOI: <https://doi.org/10.52575/2712-7443-2021-45-2-168-182>. (In Russ.)
10. Makrushin A.V. Bibliographic index on the topic “Biological analysis of water quality” with an appendix of a list of organisms-indicators of pollution. ZIN USSR Academy of Sciences, Leningrad, 1974. 53 p.
11. Round F.E., Crawford R.M., Mann D.G. The Diatoms: Biology and Morphology of the Genera. Cambridge University Press, New York, 1990. 747 p.
12. Sládeček V. System of water quality from the biological point of view. Schweizerbart, Stuttgart, 1973. 218 p.
13. Sládeček V. Diatoms as indicators of organic pollution. *Acta hydrochimica et hydrobiologica*. 1986. V.14, №5. P. 555–566.
14. Unified methods of water quality research: Methods of biological analysis of waters. SEV Publishing House, Moscow, 1976. 185 p. (In Russ.)
15. Unified methods of water quality research: Methods of biological analysis of waters. Appendix 1: Saprobity indicators. SEV Publishing House, Moscow, 1977. 92 p. (In Russ.)

ССЫЛКА НА СТАТЬЮ:

Левина С.Н., Городничев Р.М., Пестрякова Л.А. Оценка современного состояния озер бассейна реки Индигирка (с применением диатомового анализа) // Вопросы современной альгологии. 2025. № 1 (37). P. 186–190. URL: <http://algology.ru/2170>

Levina S.N., Gorodnichev R.M., Pestryakova L.A. Assessment of the current state of lakes in the Indigirka River basin (using diatom analysis). *Voprosy sovremennoi algologii (Issues of modern algology)*. 2025. № 1 (37). P. 186–190. URL: <http://algology.ru/2170>

DOI – [https://doi.org/10.33624/2311-0147-2025-1\(37\)-186-190](https://doi.org/10.33624/2311-0147-2025-1(37)-186-190); EDN – IKUORC

Bacillariophyta в фитопланктоне Куйбышевского и Нижнекамского водохранилищ по материалам современных наблюдений

Bacillariophyta in phytoplankton of Kuibyshev and Nizhnekamsk reservoirs based on modern observations

Любина О.С.

Olga S. Lyubina

*Татарский филиал ГНЦ «Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии» – ГНЦ РФ ФГБНУ ВНИРО «ТатарстанНИРО»
(Казань, Россия)*

На основе материалов мониторинга водных биоресурсов, осуществляемого Татарским филиалом ГНЦ РФ ФГБНУ ВНИРО в 2024 г., проанализирован вклад Bacillariophyta в показатели фитопланктона в Куйбышевском и Нижнекамском водохранилищах. Эта таксономическая группа имеет большое значение в видовом разнообразии и количественных показателях микроводорослей в целом. По современным данным в Куйбышевском водохранилище вклад диатомовых в таксономический состав достигает 33%, в численность – 36%, в биомассу – 40%, а в Нижнекамском эта группа вносит 37% – в видовой состав, 39% и 56% соответственно – в общую численность и биомассу. Доминирование указанной группы усиливается в периоды слабой вегетации водорослей в холодное время года, а также в участках с высоким течением, таких, как Камский плес Куйбышевского водохранилища и устье реки Белой в Нижнекамском водохранилище.

Ключевые слова: диатомовые водоросли; Bacillariophyta; фитопланктон; Средняя Волга; река Кама; устье реки Белая; количественные показатели; удельное видовое разнообразие

Диатомовые водоросли – это доминирующая таксономическая группа в фитопланктоне многих водоемов и водотоков. Разнообразие и обилие данной таксономической группы часто определяет количественные и качественные показатели сообществ микроводорослей в целом. Цель настоящей работы – изучить вклад Bacillariophyta в качественные и количественные характеристики фитопланктона в двух водохранилищах Волжско-Камского края по современным данным.

Работа основана на материалах фитопланктона, полученных в ходе мониторинга в 2024 г. Сетка станций была сформирована исходя из схемы районирования Куйбышевского водохранилища на 8 плесов (Куйбышевское водохранилище..., 2008). В Нижнекамском водохранилище принято деление на 4 участка (Верхний, Центральный, Приплотинный плесы и отдельно устьевый участок р. Белая). Отбор проб осуществляли как зимой, так и в период открытой воды. В период открытой воды пробы отбирали с борта исследовательского судна ТатарстанНИРО «Владимир Усков» на 5 разрезах в Нижнекамском водохранилище и на 14 разрезах в Куйбышевском

водохранилище. На каждом разрезе в Куйбышевском водохранилище выполняли по 2–3 станции, а в Нижнекамском – по 3–4 станции. В общей сложности в анализ были включены результаты 132 наблюдений. По полученным данным определяли средне-сезонные показатели в разных плесах исследованных водоемов.

Отбор проб фитопланктона выполняли батометром Руттнера интегрально по глубине, фиксацию осуществляли раствором Люголя, концентрирование – методом прямого фильтрования дважды на мембранных фильтрах диаметром пор 5 и 1,2 мкм. Камеральную обработку проб осуществляли по стандартной методике (Методика..., 1975). Идентификацию Bacillariophyta и других микроводорослей осуществляли под световым микроскопом при увеличении $\times 400$ – 800 раз.

В целом за период исследований обнаружены 380 таксонов фитопланктона 9 крупных таксономических групп разного систематического уровня, из них на долю Bacillariophyta приходилось 33% (127 таксонов). Среди диатомовых водорослей отмечены представители 4 классов, 21 отряда, 34 семейств и 52 родов. Bacillariophyta играли важную роль в таксономическом разнообразии и количественных показателях фитопланктона в районе исследования. Среднее по всему массиву данных удельное видовое разнообразие, (т.е. количество таксонов/станцию) достигало 30 ± 1 таксонов/ст. (вклад диатомовых в этот показатель 38%), усредненная численность – $2,79 \pm 0,34$ млрд кл./м³ (доля диатомовых 36%), усредненная биомасса – $3,45 \pm 0,57$ г/м³ (доля диатомовых 47%).

В Куйбышевском водохранилище выявлено 314 наименований фитопланктона, при вкладе диатомовых 31% (97 таксонов). Среди Bacillariophyta здесь отмечены представители 4 классов, 19 отрядов, 27 семейств и 44 родов. Удельное видовое разнообразие всех микроводорослей в среднем по водохранилищу составило 30 ± 1 таксон/ст. с долей диатомовых 35%. Наибольший вклад этой группы (42%) отмечен в Камском плесе при умеренном общем разнообразии (29 ± 3 таксон/ст.), а наименьший (27%) – в Волжском плесе, при максимальном общем удельном разнообразии фитопланктона (41 ± 5 таксон/ст.).

Усредненная общая численность фитопланктона в Куйбышевском водохранилище составила $2,9 \pm 0,5$ млрд кл./м³, вклад диатомовых в ней – $1,0 \pm 0,3$ млрд кл./м³ (36%). Максимальное значение исследуемой группы (46%) выявлено в Волжском плесе при самом высоком уровне общей численности фитопланктона в водохранилище ($6,5 \pm 1,9$ млрд кл./м³), а минимальное (11%, $0,4 \pm 0,19$ млрд кл./м³) в Ундорском плесе, для которого характерно интенсивное цветение цианобактерий.

Биомасса микроводорослей в Куйбышевском водохранилище в среднем составила $3,3 \pm 0,8$ г/м³, при доминировании диатомей (40%, $1,3 \pm 0,3$ г/м³) и высоким вкладе цианобактерий (32%). Практически повсеместно в усредненных по плесам показателях преобладали Bacillariophyta, занимая от 45% (Тетюшский и Волжский плесы) до 62% (Камский плес). Только в Ундорском и Приплотинном плесах, характеризующихся максимальным летним цветением цианобактерий, эта группа в общей биомассе была представлена слабо (11–20%).

В Нижнекамском водохранилище в фитопланктоне отмечено 270 наименований 9 крупных таксономических групп разного систематического уровня. Наиболее широко в таксономическом составе микроводорослей были представлены диатомеи (37%, 100 наименований), а второй по значимости группой выступали зеленые (30%). Среди диатомовых отмечены представители 4 классов, 19 отрядов, 30 семейств, 44 родов. Удельное видовое разнообразие по водохранилищу в среднем составило 31 ± 1 таксон/станции. Bacillariophyta в этом показателе занимали 43%. Эта группа доминировала в общем удельном разнообразии во всех участках водохранилища, внося от 41% (Верхний плес) до 47% (Приплотинный плес).

Численность микроводорослей в водоеме в среднем составила $2,6 \pm 0,5$ млрд кл./м³. В этом показателе диатомеи занимали 39% ($1,0 \pm 0,3$ млрд кл./м³). Минимальное участие этой группы (18%) отмечено в Верхнем плесе, где доминантами выступали цианобактерии (63%). Максимальное значение Bacillariophyta отмечено в устье реки Белая (61%), где вклад цианобактерий не превышал 1%.

В Нижнекамском водохранилище биомасса фитопланктона в среднем составила $3,6 \pm 0,9$ г/м³, где преобладали диатомовые (56%, $2,0 \pm 0,6$ г/м³) с заметным вкладом цианобактерий (32%). Общая картина колебаний биомассы в районе исследования была аналогична варьированию численности. Минимальный вклад Bacillariophyta в общий показатель (15%) отмечен в Верхнем плесе, а максимальный (89%) в устье реки Белая.

Таким образом в 2024 г. качественные и количественные показатели фитопланктона в Куйбышевском и Нижнекамском водохранилищах были сопоставимы. Bacillariophyta в этих водоемах имели большое значение в общие таксономическое и удельное разнообразие, биомассу и численность фитопланктона, внося от 31 до 56%. При этом, в Нижнекамском водохранилище влияние этой группы было более выраженным, чем в Куйбышевском. Отмечено максимальное значение диатомовых в фитопланктоне Камского плеса Куйбышевского водохранилища и в устье реки Белая Нижнекамского водохранилища, отличающихся от остальных участков особенностями гидродинамического режима. В целом в районе исследования влияние диатомей возрастает в периоды слабой вегетации микроводорослей, в холодное время года.

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

Список литературы

1. Куйбышевское водохранилище (научно-информационный справочник). – Тольятти: ИЭВБ РАН, 2008. – 123 с.
2. Методика изучения биогеоценозов внутренних водоемов. – М.: Наука, 1975. – 240 с.

Статья поступила в редакцию 18.06.2025; поступила после доработки 02.09.2025; принята к публикации 06.09.2025

Сведения об авторах

Любина Ольга Станиславовна – к.б.н., с.н.с., Татарский филиал государственного научного центра «Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии» – ГНЦ РФ ФГБНУ ВНИРО «ТатарстанНИРО», Россия, Казань (Russian Federal Research Institute of Fisheries and oceanography, Tatar Branch, Russia, Kazan); l.olga@tatarstan.vniro.ru; ORCID – <https://orcid.org/0009-0000-6733-8178>; SPIN-код 8399-0836.

Корреспондентский адрес: Россия, 420029, Казань, ул. Александра Попова, д. 4а, Татарский филиал ФГБНУ «ВНИРО» («ТатарстанНИРО»), тел. (8432) 73-94-01.

Bacillariophyta in phytoplankton of Kuibyshev and Nizhnekamsk reservoirs based on modern observations

Olga S. Lyubina

Russian Federal Research Institute of Fisheries and oceanography, Tatar Branch (Russia, Kazan)

Based on the materials of monitoring of aquatic bioresources carried out by the Tatar branch of the Scientific Research Center of the Russian Federation VNIRO in 2024, the contribution of Bacillariophyta to phytoplankton indicators in the Kuibyshev and Nizhnekamsk reservoirs was

analyzed. This taxonomic group is of great importance in the species diversity and quantitative indicators of microalgae in general. According to modern data, in the Kuibyshev reservoir, the contribution of diatoms to the taxonomic composition reaches 33%, to the abundance – 36%, to the biomass – 40%, and in Nizhnekamsk this group contributes 37% to the species composition, 39% and 56%, respectively, to the total abundance and biomass. The dominance of this group increases during periods of weak vegetation of algae in the cold seasons, as well as in areas with high currents, such as the Kama Reach of the Kuibyshev reservoir and the mouth of the Belaya River in the Nizhnekamsk reservoir.

Key words: Diatoms; Bacillariophyta; phytoplankton; Middle Volga; Kama River; Belaya River estuary; quantitative indicators; specific species diversity

References

1. Kuibyshev reservoir (scientific information guide). IEVB RAS, Tolyatti, 2008. 123 p.
2. Methodology of studying biogeocenoses of inland reservoirs. Nauka, Moscow, 1975. 240 p.

ССЫЛКА НА СТАТЬЮ:

Любина О.С. Bacillariophyta в фитопланктоне Куйбышевского и Нижнекамского водохранилищ по материалам современных наблюдений // Вопросы современной альгологии. 2025. № 1 (37). P. 191–194. URL: <http://algology.ru/2171>

Lyubina O.S. Bacillariophyta in phytoplankton of Kuibyshev and Nizhnekamsk reservoirs based on modern observations. *Voprosy sovremennoi algologii (Issues of modern algology)*. 2025. № 1 (37). P. 191–194. URL: <http://algology.ru/2171>

DOI – [https://doi.org/10.33624/2311-0147-2025-1\(37\)-191-194](https://doi.org/10.33624/2311-0147-2025-1(37)-191-194); EDN – HTRONM

Вредоносные и токсические диатомовые водоросли у Восточного побережья России

Harmful and toxic diatoms on the Russian East Coast

Орлова Т.Ю., Стоник И.В.

Tatiana Yu. Orlova, Inna V. Stonik

*Национальный научный центр морской биологии имени А.В. Жирмунского ДВО РАН –
ННЦМБ ДВО РАН (Владивосток, Россия)*

Представлены сведения о морских диатомовых водорослях восточного побережья России, известных как организмы, вызывающие явление вредоносного цветения водорослей (ВЦВ) и продуцирующие опасные метаболиты, включая фикотоксины. Приводятся данные о разнообразии, обилии и географии вредоносных и токсичных диатомей в дальневосточных морях России. Впервые представлены сведения о содержании амнезического токсина (домоевой кислоты) в биообразцах моллюсков, ракообразных, крабоидов, рыб и морских млекопитающих. Результаты важны для прогнозирования ВЦВ, вызванного морскими диатомовыми водорослями, а также для контроля содержания домоевой кислоты в продуктах морского происхождения на территории ДФО. Показана необходимость скрининга биообразцов морских животных и их кормовой базы на содержание ДА.

Ключевые слова: диатомовые водоросли; вредоносное цветение водорослей; пищевые сети; фикотоксины; домоевая кислота; дальневосточные моря России

Диатомовые водоросли составляют основу пищевых сетей, особенно в полярных и умеренных водах, где на их долю приходится около 40% первичной морской продукции, что составляет половину всего органического материала, производимого на планете (Rousseaux & Gregg, 2014). Диатомеи производят до четверти атмосферного кислорода планеты и существенно влияют на снижение уровня CO₂ в атмосфере. Среди диатомовых водорослей насчитывается немало видов, вызывающих явление вредоносного цветения водорослей (ВЦВ) и продуцирующих опасные биоактивные метаболиты, которые могут оказывать негативное воздействие на прибрежные морские экосистемы и угрожать здоровью людей (Fryxell G.A. & Hasle, 2003; Trainer et al., 2008). Диатомеи известны как продуценты биологически активных метаболитов, таких как оксипирины, а также нейротоксичные β-N-метиламино-L-аланин (ВМАА) и домоевая кислота (ДА). Биоактивные метаболиты диатомовых структурно и функционально очень разнообразны, некоторые из них могут выполнять одновременно несколько функций, включая роль в химической защите (препятствие выеданию хищниками, аллелопатические и антибактериальные соединения и/или передачу сигналов между клетками) (Ianora et al., 2011).

В дальневосточных морях России известно около 60 видов диатомовых водорослей, вызывающих ВЦВ и продуцирующих опасные вторичные метаболиты. Отмечено более 20 видов из родов *Cerataulina*, *Chaetoceros*, *Coscinodiscus*, *Eucampia*, *Ditylum*, *Minitocellus*, *Rhizosolenia*, *Skeletonema* и *Thalassiosira*, которые не продуцируют токсины, но наносят вред рыбам, птицам, ракообразным моллюскам и др. гидробионтам. В числе продуцентов оксилипинов – полиненасыщенных альдегидов (PUAs) зарегистрировано 15 видов из родов *Guinardia*, *Melosira*, *Skeletonema*, *Thalassiosira*, *Chaetoceros*, *Leptocylindrus*, *Lauderia*, *Stephanopyxis*, *Fragilaria* и *Asterionellopsis*. Обнаружено 11 видов из родов *Achnanthes*, *Chaetoceros*, *Ditylum*, *Navicula*, *Proboscia*, *Skeletonema* и *Thalassiosira*, известные как продуценты нейротоксинов ВММА. На морской акватории ДФО отмечено 12 видов рода *Pseudo-nitzschia*, известных как продуценты амнестического токсина (домоевой кислоты), среди которых для 5 видов нами подтверждена способность продуцировать DA: *P. calliantha*, *P. delicatissima*, *P. multiseriis*, *P. multistriata*, *P. pungens* var. *pungens* (Orlova et al., 2008; Stonik et al., 2019).

По данным конкурентного иммуноферментного анализа с помощью тест-системы для обнаружения DA методом ELISA (Europroxima, Нидерланды) протестированы биообразцы млекопитающих ($n = 20$), которые имели обнаруживаемые уровни этого токсина со значениями в диапазоне от 0,004 до 4,5 мг/кг. Обнаружение DA в морских млекопитающих в сочетании с установленными концентрациями этих токсинов в кормовых объектах (рыба, моллюски) свидетельствует о том, что ВЦВ, вызванные представителями рода *Pseudo-nitzschia*, могут представлять реальную угрозу здоровью морских млекопитающих и птиц, обитающих в российском секторе восточной Арктики. Наше исследование подтверждает факт накопления DA и ее передачу по пищевой цепи, что может рассматриваться в числе возможных причин гибели морских животных в результате ВЦВ на восточном побережье России. Учитывая быстрое потепление океана и прогнозируемое увеличение активности ВЦВ в восточной Арктике и Субарктике, необходимо проводить скрининг биообразцов морских животных и их кормовой базы на содержание DA.

Работа выполнена при поддержке гранта № 169-15-2023-002 Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды и в рамках госзадания НИЦМБ ДВО РАН (№124021900009-6).

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов, требующего раскрытия в данной статье.

Список литературы

1. Fryxell G.A., Hasle G.R. Taxonomy of harmful diatoms // Hallegraeff G.M., Anderson D.M., Cembella A.D. (eds.). Manual on Harmful Marine Microalgae. – UNESCO, Paris.: Intergovernmental Oceanographic Commission, 2003. – P. 465–509.
2. Ianora A., Bentley G.M., Caldwell G.S., Casotti R., Cembella A. D., Engström-Öst J., Halsband C., Sonnenschein E., Legrand C., Llewellyn C., Paldavičienė A., Pilkaityte R., Pohnert G., Razinkovas A., Romano G., Tillmann U., Vaiciute D. The Relevance of Marine Chemical Ecology to Plankton and Ecosystem Function: An Emerging Field // Marine Drugs. 2018. V.9. P. 1625–1648. DOI: <https://doi.org/10.3390/md9091625>
3. Orlova T.Y., Stonik I.V., Aizdaicher N.A., Bates S.S., Léger C., Fehling J. Toxicity, morphology and distribution of *Pseudo-nitzschia calliantha*, *P. multistriata* and *P. multiseriis* (Bacillariophyta) from the northwestern Sea of Japan // Bot. Mar. 2008. V.51. P. 297–306. DOI: 10.1515/BOT.2008.035
4. Rousseaux C., Gregg W. Interannual variation in phytoplankton primary production at a global scale // Remote Sensing. 2014. V.6. P. 1–19. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs6010001>
5. Stonik I.V., Orlova T.Y., Aizdaicher N.A., Morozova T.V., Chikalovets I.V., Aleksanin A.I., Kachur V.A. *Pseudo-nitzschia* species (Bacillariophyceae) and the domoic acid concentration in *Pseudo-nitzschia*

cultures and bivalves from the northwestern Sea of Japan, Russia // *Nova Hedwigia*, 2019. V.108, №1–2. P. 73–93. DOI: https://doi.org/10.1127/nova_hedwigia/2018/0502

6. Trainer V.L., Hicke B.M., Bates S.S. Toxic diatoms // Walsh, P.J., Smith, S.L., Fleming, L.E., Solo-Gabriele, H.M., Gerwick W.H. *Oceans and Human Health: Risks and Remedies from the Seas.* – New York: Elsevier Science Publishers, 2008. – P. 219–237.

Статья поступила в редакцию 18.06.2025; поступила после доработки 22.08.2025; принята к публикации 28.08.2025

Сведения об авторах

Орлова Татьяна Юрьевна – к.б.н., зам. директора, зав. лаб., Национальный научный центр морской биологии им. А.В. Жирмунского ДВО РАН (НИЦМБ ДВО РАН), Россия, Владивосток (Zhirmunsky National Scientific Center of Marine Biology, Far Eastern Branch, RAS, Russia, Vladivostok), Лаборатория морской микробиоты; torlova06@mail.ru; ORCID – <https://orcid.org/0000-0002-5246-6967>; SPIN-код 1604-9058.

Стоник Инна Валентиновна – к.б.н., с.н.с., Национальный научный центр морской биологии им. А.В. Жирмунского ДВО РАН (НИЦМБ ДВО РАН), Россия, Владивосток (Zhirmunsky National Scientific Center of Marine Biology, Far Eastern Branch, RAS, Russia, Vladivostok); innast2004@mail.ru; ORCID – <https://orcid.org/0000-0003-1467-0374>; SPIN-код 9055-1244.

Корреспондентский адрес: Россия, 690041, Владивосток, ул. Пальчевского, 17, НИЦМБ ДВО РАН, тел. (423) 231-09-05.

Harmful and toxic diatoms on the Russian East Coast

Tatiana Yu. Orlova, Inna V. Stonik

Zhirmunsky National Scientific Center of Marine Biology, Far Eastern Branch, RAS (Russia, Vladivostok)

The data on marine diatoms known as HABs (harmful algal blooms) species and producers of phycotoxins from the East coast of Russia are presented. Data on the diversity, abundance, and geography of harmful and toxic diatoms in the Far Eastern seas of Russia are obtained. For the first time, information is provided on the concentration of domoic acid in biological samples of mollusks, crustaceans, craboids, fish, and marine mammals. The results are important for monitoring and predicting of HABs caused by marine diatoms, as well as for control of domoic acid in hydrobionts, and in seafood in the Far Eastern Federal District. It is shown the necessity of screening of marine animal biosamples and their food base for DA content.

Key words: Diatom; harmful algal bloom; phycotoxins; food webs; domoic acid; BMAA; PUA; Far Eastern seas of Russia

References

1. Fryxell G.A., Hasle G.R. Taxonomy of harmful diatoms. Eds.: Hallegraeff G.M., Anderson D.M., Cembella A.D. *Manual on Harmful Marine Microalgae.* –Intergovernmental Oceanographic Commission, UNESCO, Paris, 2003. P. 465–509.
2. Ianora A., Bentley G.M., Caldwell G.S., Casotti R., Cembella A. D., Engström-Öst J., Halsband C., Sonnenschein E., Legrand C., Llewellyn C., Paldavičienė A., Pilkaityte R., Pohnert G., Razinkovas A., Romano G., Tillmann U., Vaiciute D. The Relevance of Marine Chemical Ecology to Plankton and Ecosystem Function: An Emerging Field. *Marine Drugs*. 2018. V.9. P. 1625–1648. DOI: <https://doi.org/10.3390/md9091625>
3. Orlova T.Y., Stonik I.V., Aizdaicher N.A., Bates S.S., Léger C., Fehling J. Toxicity, morphology and distribution of *Pseudo-nitzschia calliantha*, *P. multistriata* and *P. multiseries* (Bacillariophyta) from the northwestern Sea of Japan. *Bot. Mar.* 2008. V.51. P. 297–306. DOI: 10.1515/BOT.2008.035
4. Rousseaux C., Gregg W. Interannual variation in phytoplankton primary production at a global scale. *Remote Sensing*. 2014. V.6. P. 1–19. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs6010001>
5. Stonik I.V., Orlova T.Y., Aizdaicher N.A., Morozova T.V., Chikalovets I.V., Aleksanin A.I., Kachur V.A. *Pseudo-nitzschia* species (Bacillariophyceae) and the domoic acid concentration in *Pseudo-nitzschia*

cultures and bivalves from the northwestern Sea of Japan, Russia. *Nova Hedwigia*, 2019. V.108, №1–2. P. 73–93. DOI: https://doi.org/10.1127/nova_hedwigia/2018/0502

6. Trainer V.L., Hicke B.M., Bates S.S. Toxic diatoms // Walsh, P.J., Smith, S.L., Fleming, L.E., Solo-Gabriele, H.M., Gerwick W.H. *Oceans and Human Health: Risks and Remedies from the Seas*. Elsevier Science Publishers, New York, 2008. P. 219–237.

ССЫЛКА НА СТАТЬЮ:

Орлова Т.Ю., Стоник И.В. Вредоносные и токсические диатомовые водоросли у Восточного побережья России // Вопросы современной альгологии. 2025. № 1 (37). P. 195–198. URL: <http://algology.ru/2180>

Orlova T.Yu., Stonik I.V. Harmful and toxic diatoms on the Russian East Coast. *Voprosy sovremennoi algologii (Issues of modern algology)*. 2025. № 1 (37). P. 195–198. URL: <http://algology.ru/2180>

DOI – [https://doi.org/10.33624/2311-0147-2025-1\(37\)-195-198](https://doi.org/10.33624/2311-0147-2025-1(37)-195-198); EDN – JRYAVF

Диатомовые водоросли обрастаний мха в канале верхового болота Ельня

Diatom algae of moss fouling in the canal of the raised bog Yelnya

Петров В.Н.

Vladimir N. Petrov

Институт экспериментальной ботаники НАН Беларуси (Минск, Беларусь)

В работе приводятся сведения о таксономическом составе диатомовых водорослей, распределении их по экологическим и географическим группам в препарате, подготовленном и смонтированном из пробы обрастания мха водоотводящего канала озера Яжгиня. Всего было выявлено 17 таксонов рангом ниже рода. В соответствии с долей участия видов и относительной численности их створок в препарате преобладает бентосная группа, по отношению к галобности – индифферентов, по отношению к pH – ацидофилов, по географической приуроченности – космополитов. Индекс сапробности характеризуется низким значением.

Ключевые слова: озеро Яжгиня; верховое болото; дистрофные озера; индекс сапробности

Целью нашей работы являлось представить данные о таксономическом составе диатомовых водорослей и их распределении по экологическим и географическим группам в обрастании мха водоотводящего канала озера Яжгиня. А также рассчитать индекс органического загрязнения.

Наибольшая часть болотного массива Ельня находится в Миорском районе Витебской области (Республика Беларусь) (Флора ..., 2010). В 50-60 годах XX столетия (начиная с IXX) была сформирована сеть каналов, отводящих воду от центра к периферии болота (Флора ..., 2010). В свою очередь это привело к понижению уровня грунтовых вод (Флора ..., 2010). Начиная с 1968 года верховое болото взято под охрану в качестве заказника «Ельня». В 2002 году были построены не регулируемые плотины, ограничивающие сток воды (Eiseltová, 2010). Данное мероприятие увеличило обводненность болотного массива, существенный уровень которой сохраняется и по сегодняшний день.

Активная реакция воды и электропроводность замерялись при помощи pH-метра HANNA HI83141 и кондуктометра HANNA HI 9033. Постоянный препарат присматривали на световом микроскопе Nikon ECLIPSE E200 с использованием иммерсионного объектива 100x / 1.25 Oil ∞ /0.17 WD 0.23. Названия таксонов приведены в соответствии с данными www.algaebase.org.

Сбор обрастаний мха (*Sphagnum* sp.) для пробы №3 был проведен 24.08.2016 у первой плотины в отводящем канале от озера Яжгиня. В месте отбора проб показатель pH воды составил 3,61, а электропроводности = 35,7 $\mu\text{S cm}^{-1}$.

В препарате было идентифицировано 17 таксонов (15 видов и 2 разновидности) диатомовых водорослей, принадлежащих к 1 классу (*Bacillariophyceae*), 4 порядкам (*Bacillariales*, *Eunotiales*, *Naviculales*, *Rhabdonematales*), 6 семействам (*Bacillariaceae*, *Eunotiaceae*, *Amphipleuraceae*, *Diadesmidaceae*, *Pinnulariaceae*, *Tabellariaceae*), 7 родам (*Nitzschia*, *Eunotia*, *Frustulia*, *Luticola*, *Pinnularia*, *Asterionella*, *Tabellaria*).

Все порядки подчиняют себе по одному семейству. За исключением порядка *Naviculales*, включающего в себя 3 нижеследующих таксономических ранга (семейства *Amphipleuraceae*, *Diadesmidaceae* и *Pinnulariaceae*). По количеству родов выделяется семейство *Tabellariaceae*, представленное 2 родами. Остальные семейства включают по 1 роду. Самый богатый, из представленных, род – *Eunotia* включает в себя 7 видов. Рода *Frustulia*, *Pinnularia* и *Tabellaria* представлены куда меньшим количеством таксонов рангом ниже рода – 2, остальные рода – 1 видом.

Анализ характеристик таксонов по приуроченности к местообитанию выявил преобладание бентосных видов – 7 (*Eunotia exigua* (Brébisson ex Kützing) Rabenhorst, *E. paludosa* Grunow, *E. rhomboidea* Hustedt, *Frustulia krammeri* Lange-Bertalot & Metzeltin, *F. saxonica* Rabenhorst, *Pinnularia appendiculata* (C.Agardh) Schaarschmidt, *P. subcapitata* var. *elongata* Krammer), что составило – 41,2%. Планктонно-бентосные виды оказались представлены меньшим количеством – 6 (*Nitzschia palea* (Kützing) W.Smith, *Eunotia meisteri* Hustedt, *E. microcephala* Krasske, *E. serra* Ehrenberg, *Tabellaria flocculosa* (Roth) Kützing, *T. stellata* Kulikovskiy), составив 25,3%. Для 4 видов – 23,5% (*Eunotia neocompacta* var. *vixcompacta* Lange-Bertalot, *E. subarcuatoides* Alles, Nörpel & Lange-Bertalot, *Luticola mutica* (Kützing) D.G.Mann, *Asterionella ralfsii* W.Smith) сведения о приуроченности к местообитанию не указаны в литературных источниках.

Пересчет по относительной численности створок в препарате выявил существенное преобладание створок диатомовых водорослей принадлежащих бентосной группе видов – 66,4%. Планктонно-бентосная группа представлена 23,4% от подсчитанных створок в препарате. Процентный показатель створок видов с неустановленной характеристикой достиг – 10,2%.

Идентифицированные виды по отношению к галобности распределились на две группы. Индифференты представлены 5 видами (*Nitzschia palea*, *Eunotia meisteri*, *E. microcephala*, *Pinnularia appendiculata*, *Tabellaria flocculosa*) – 29,4%. Олигогалобы-галофобы (*Eunotia exigua*, *E. serra*, *Frustulia saxonica*, *Tabellaria stellata*) составили 11,76%. Для 8 видов – 47,1% в используемых нами литературных источниках отсутствовала информация, характеризующая их отношение к солености.

Доля участия створок в препарате у группы видов индифферентов – 22,2% оказалась наибольшей. Олигогалобы-галофобы составили 8,4%. Больше половины от общего количества подсчитанных створок принадлежит видам с неустановленной характеристикой по отношению к солености – 69,4%.

По отношению к активной реакции среды было выявлено 12 видов-ацидофилов – 70,6% (*Eunotia exigua*, *E. meisteri*, *E. microcephala*, *E. paludosa*, *E. rhomboidea*, *E. serra*, *Frustulia krammeri*, *F. saxonica*, *Pinnularia subcapitata* var. *elongata*, *Asterionella ralfsii*, *Tabellaria flocculosa*, *T. stellata*). Группа индифферентов по отношению к pH представлена 2 таксонами рангом ниже рода (*Nitzschia palea*, *Pinnularia appendiculata*) что составило 11,8%. Оставшаяся доля в 17,6% принадлежит 3 видам с неустановленным отношением к pH.

Такая же последовательность групп индикаторов ацидификации сохранилась при расположении их по убыванию процентного участия створок в препарате: ацидофилы – 90,4%, индифференты – 7,8%, виды с неустановленным отношением к pH – 1,8%.

Распределение видов по географической приуроченности выявило 2 группы таксонов: космополиты – 23,5% (*Nitzschia palea*, *Eunotia exigua*, *Pinnularia appendiculata*, *Tabellaria flocculosa*) и аркто-альпийские – 11,8% (*Eunotia serra*, *Frustulia saxonica*). Существенная доля видов – 64,7% указана в литературных источниках без географической характеристики.

Схожее доленое соотношение групп водорослей было установлено при подсчете их створок в препарате. Группа космополитов представлена 15,6% участием створок от общего числа подсчитанных. Виды, входящие в аркто-альпийскую группу, по числу принадлежащих им створок составили 3,6%. Значительная часть створок – 80,8% принадлежит таксонам, не охарактеризованным по географической приуроченности.

В пробе бентоса было выявлено 11 видов-индикаторов сапробности: 4 ксеносапробионта (*Eunotia serra*, *Frustulia krammeri*, *Frustulia saxonica*, *Tabellaria fenestrata*), 1 ксено-олигосапробионт (*Eunotia meisteri*), 1 олиго-ксеносапробионт (*Tabellaria flocculosa*), 2 олигосапробионта (*Eunotia microcephala*, *Eunotia rhomboidea*), по 1 представителю олиго-бетамезасапробионтов (*Eunotia exigua*) и альфа-олигосапробионтов (*Nitzschia palea*). Подсчитанный индекс сапробности (метод Пантле-Бука в модификации Сладечека) составил 0,84. Согласно таблице «Критерии и интегральные показатели оценки состояния водных экосистем» (Баринава..., 2006), данное значение соответствует II классу качества воды – чистая, разряду качества воды – 2а очень чистая, зоне кризисности экосистемы – природно чистые воды.

Полученные нами качественные и количественные данные свидетельствуют о характерном («здоровом») для искусственного водотока, сформированного на верховом болоте, состоянии сообщества диатомовых водорослей и его водной массы.

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

Список литературы

1. Баринава С.С., Медведева О.В., Анисимова О.В. Биоразнообразие водорослей-индикаторов окружающей среды. – Тель-Авив: Pilies Studio, 2006. – 498 с.
2. Флора и растительность ландшафтного заказника «Ельня» / Д.Г. Груммо (ред.) – Минск: Минсктиппроект, 2010. – 200 с.
3. Eiseltoová M. Restoration of lakes, streams, floodplains, and bogs in Europe: principles and case studies – Dordrecht, Heidelberg, London, New York: Springer, 2010. – 374 p.

Статья поступила в редакцию 18.06.2025; поступила после доработки 19.08.2025; принята к публикации 28.08.2025

Сведения об авторе

Петров Владимир Николаевич – н.с., Институт экспериментальной ботаники НАН Беларуси, Беларусь, Минск (Institute of Experimental Botany, NAS of Belarus, Belarus, Minsk), лаборатория геоботаники и картографии растительности; petrov.vl@tut.by; ORCID – <https://orcid.org/0000-0002-0713-8710>.

Корреспондентский адрес: Беларусь, 220072, Минск, ул. Академическая, 27, ИЭБ НАН Беларуси, тел. (017) 270-20-13.

Diatom algae of moss fouling in the canal of the raised bog Yelnya

Vladimir N. Petrov

Institute of Experimental Botany, NAS of Belarus (Belarus, Minsk)

The paper presents information on the taxonomic composition of diatoms, their distribution by ecological and geographical groups in a preparation prepared and assembled from a sample of moss fouling of the drainage channel of Lake Yazhginya. A total of 17 taxa of a rank below the genus were identified. In accordance with the share of species participation and the relative number of their valves, the benthic group predominates in the preparation, in relation to halobity – indifferent, in relation to pH – acidophiles, according to geographical confinement – cosmopolites. The saprobity index is characterized by a low value.

Key words: lake Yazhginya; sphagnum bog; dystrophic lakes; saprobic index

References

1. Barinova S.S., Medvedeva O.V., Anisimova O.V. Biodiversity of algae-environmental indicators. Pilies Studio, Tel`-Aviv, 2006. 498 p. (In Russ.)
2. Flora and vegetation of the Yelnya landscape Reserve. D. G. Grummo (Ed.). Minsktipproekt, Minsk, 2010. 200 p. (In Russ.)
3. Eiseltoová M. Restoration of lakes, streams, floodplains, and bogs in Europe: principles and case studies. Springer, Dordrecht, Heidelberg, London, New York, 2010. 374 p.

ССЫЛКА НА СТАТЬЮ:

Петров В.Н. Диатомовые водоросли обрастаний мха в канале верхового болота Ельня // Вопросы современной альгологии. 2025. № 1 (37). P. 199–202. URL: <http://algology.ru/2179>

Petrov V.N. Diatom algae of moss fouling in the canal of the raised bog Yelnya. *Voprosy sovremennoi algologii (Issues of modern algology)*. 2025. № 1 (37). P. 199–202. URL: <http://algology.ru/2179>

DOI – [https://doi.org/10.33624/2311-0147-2025-1\(37\)-199-202](https://doi.org/10.33624/2311-0147-2025-1(37)-199-202); EDN – LQMLXI

Диатомовые водоросли озер Алтая

Diatoms of Altai lakes

Попова Д.Н.¹, Левина С.Н.¹, Пестрякова Л.А.¹, Рудая Н.А.²

Diana N. Popova, Sardana N. Levina, Lyudmila A. Pestryakova,
Natalia A. Rudaya

¹Северо-Восточный федеральный университет имени М. К. Аммосова – СВФУ
(Якутск, Россия)

²Институт археологии и этнографии СО РАН (Новосибирск, Россия)

В данной работе приведены сведения об исследованиях диатомовой флоры 23 озер (33 точек) Республики Алтай, расположенных на различных абсолютных отметках над уровнем моря. В качестве материала для исследования были взяты образцы поверхностных донных отложений озер для диатомового анализа. По результатам исследования было обнаружено 219 видов водорослей, которые относятся к 80 родам, 32 семействам, 15 порядкам и трем классам. Наиболее многочисленным оказался класс Bacillariophyceae.

Ключевые слова: диатомеи; донные осадки; таксономия; озеро; Республика Алтай

Объектом исследования стали 23 озера, расположенные на территории Республики Алтай на разных высотах над уровнем моря (рис. 1).

Озера простираются с севера на юг, начиная с 51°57' северной широты (озеро Телецкое 51.57366 87.66541) и заканчивая 49°31' северной широтой (Безымянное-4 49.310556 87.473611). Абсолютные высоты озер варьируются от 430 м (Телецкое) до 2468 м (Верхние Богуты) над уровнем моря.

Материалы были собраны во время полевых работ с 2019 по 2023 гг. Были использованы стандартные методы отбора проб и обработки материала (Общие закономерности..., 1986). При формировании таксономического списка диатомей учитывались актуальные номенклатурные разработки с учетом систем Round, Grawford, Mann (Krammer, 2000; 2002; 2003; Lange Bertalot, 2001; Round et al., 1990 и др.).

По результатам исследования 23 озер (33 точек) было зарегистрировано 219 видов (в том числе 6 разновидностей и форм) диатомовых водорослей, которые относятся к 80 родам, 32 семействам, 15 порядкам и трем классам. Самым многочисленным классом является класс Bacillariophyceae (89% богатства от всей выборки), в котором зарегистрировано 11 порядков, 28 семейств, 70 родов, 194 видов и подвидов.

Наиболее распространенным семейством в исследованных озерах является Achnanthidiaceae, включающий 10 родов, Cymbellaceae 9 родов и Stephanodiscaceae 6 родов.

Остальные классы значительно уступают описанной выше классу. Распределение видового богатства диатомовых водорослей исследуемых озер приведена на рис. 2.

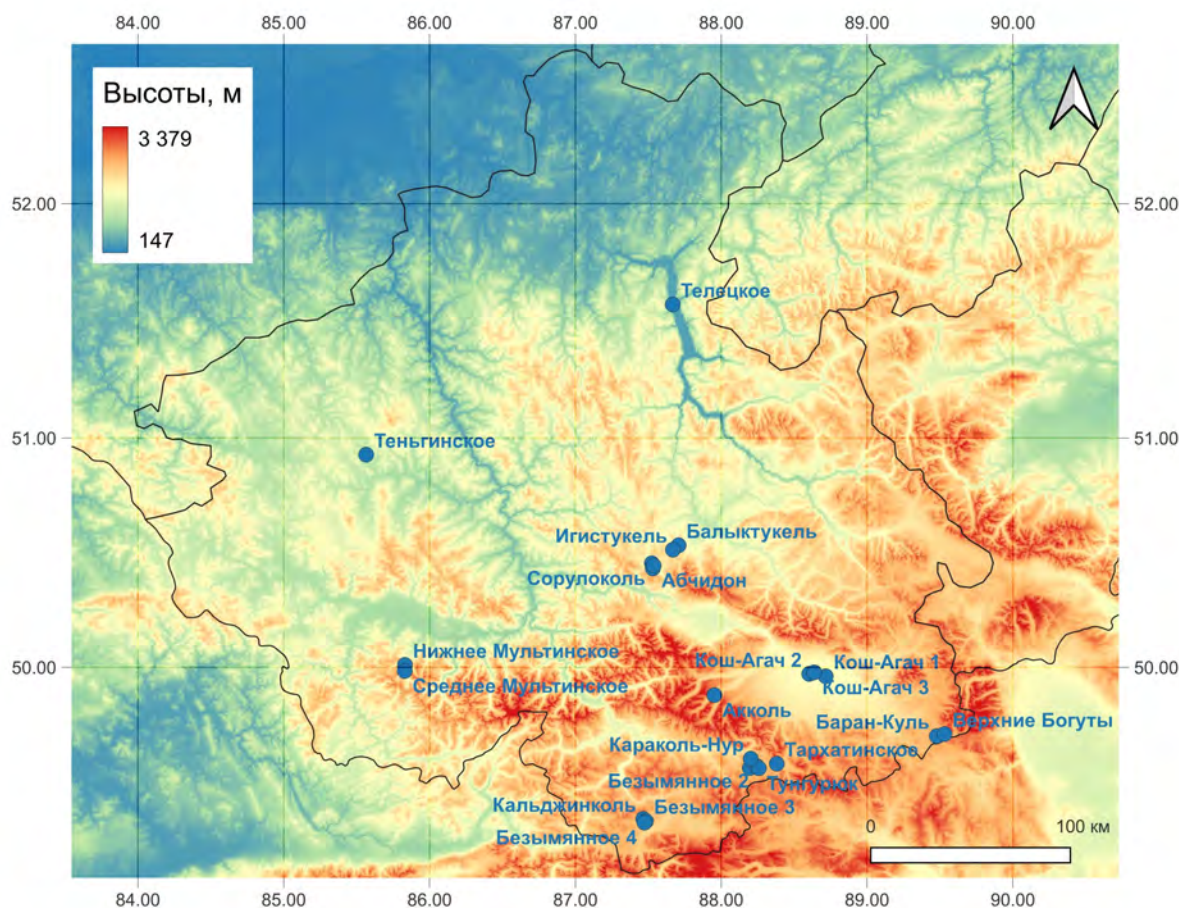


Рис. 1. Местоположение исследуемых озер в Республике Алтай.

Fig. 1. Location of the studied lakes in the Altai Republic.

Используя процентное соотношение от общей численности диатомовых водорослей, удалось определить состав доминирующих комплексов: единичные или редкие виды, составляющие менее 1% от общего числа диатомовых водорослей; обычные виды, представленные в количестве от 1 до 5%; субдоминанты, занимающие от 5 до 10%; доминанты, составляющие от 10% и более.

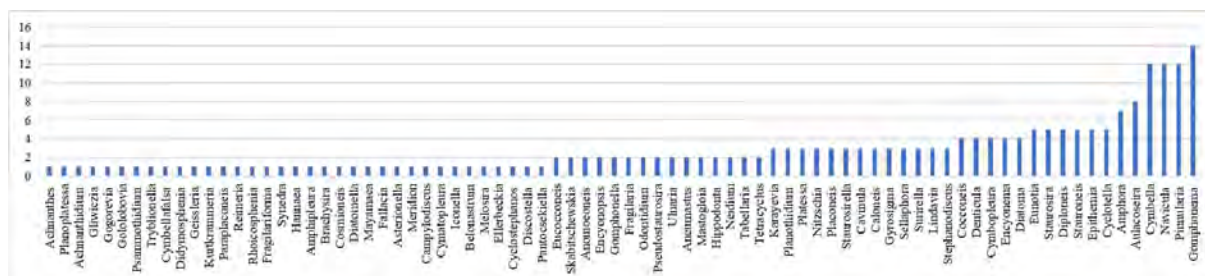


Рис. 2. Распределение видового богатства диатомовых водорослей по родам в озерах Республики Алтай.

Fig. 2. Distribution of species richness of diatoms by genera in lakes of the Altai Republic.

В число доминантных форм вошли 27 видов, субдоминантных – 25 видов. Среди них особо стоит отметить: *Staurosira venter* – вид, доминирующий в 16 озерах (20 точках) с максимальным значением 81,1%; *Staurosirella pinnata* – вид, присутствующий в 6 озерах (8 точках) с максимальным значением до 33,1%, *Pseudostaurosira brevistriata* – вид, занимающий лидирующее место в трех водоемах (4 точках) с максимальным значением 31,0%; *Staurosira construens* – вид, также присутствует в 3 озерах (4 точках) с максимальным значением 32,1%.

Полученные количественные данные по экологическим предпочтениям местообитаний в исследованных озерах показывают, что в изученных диатомовых комплексах количество видов обрастателей значительно преобладает над донными и планктонными формами (59%). Концентрация створок диатомей в одном грамме осадка колеблется от 3,09 (озеро Кош-Агач 3) до 6504,6 (озеро Теньгинское) млн. ств. /г.

Работа выполнена при поддержке НИИР № FWZG-2025-0005 «Природные условия обитания древнего человека в четвертичном периоде Евразии» (Рудая Н.А. работала в рамках этого проекта) и по проектной части государственного задания в сфере научной деятельности Министерства науки и высшего образования РФ по заданию FSRG-2023-0027.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов, требующего раскрытия в данной статье.

Список литературы

1. Общие закономерности возникновения и развития озер. Методы изучения озер. Серия: История озер СССР. Отв. редактор Д.Д. Квасов. – Л., Наука. 1986. – 256 с.
2. Krammer K. Diatoms of Europe. The Genus Pinnularia. Ruggell, A.R.G. Gantner Verlag K.G. 2000. – 703 p.
3. Krammer K. Diatoms of Europe: Cymbella. Ruggell, A.R.G. Gantner Verlag K.G. 2002. – 584 p.
4. Krammer K. Cymboplectra, Delicata, Navicymbella, Gomphocymbellopsis, Afrocybella. Ruggell, A.R.G. Gantner Verlag K.G. 2003. – 529 p.
5. Lange-Bertalot H. Diatoms of Europe. Navicula sensu stricto, 10 Genera Separated from Navicula sensu lato, Frustulia. Königstein, A.R.G. Gantner Verlag. 2001. – 526 p.
6. Round F.E., Crawford R.M., Mann D.G. The Diatoms: Biology and Morphology of the Genera. New York, Cambridge University Press. 1990. – 747 p.

Статья поступила в редакцию 18.06.2025; поступила после доработки 22.08.2025; принята к публикации 28.08.2025

Сведения об авторе

Попова Диана Николаевна – ст. преподаватель, Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова, Россия, Якутск (North-Eastern Federal University, Russia, Yakutsk); diananp-92@mail.ru; ORCID – <https://orcid.org/0000-0001-5674-2968>; SPIN-код 3297-0240.

Левина Сардана Николаевна – к.г.н., с.н.с., Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова, Россия, Якутск (North-Eastern Federal University, Russia, Yakutsk); levina_sardan@mail.ru; ORCID – <https://orcid.org/0000-0002-7653-7379>; SPIN-код 7361-2912.

Пестрякова Людмила Агафьевна – д.г.н., г.н.с., Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова, Россия, Якутск (North-Eastern Federal University, Russia, Yakutsk); lapest@mail.ru; ORCID – <https://orcid.org/0000-0001-5347-4478>; SPIN-код 8323-7283.

Рудая Наталья Алексеевна – д.г.н., в.н.с., зав. лабораторией, Институт археологии и этнографии СО РАН, Россия, Новосибирск (Institute of Archaeology and Ethnography of the SB RAS, Russia, Novosibirsk); nrudaya@gmail.com; ORCID – <https://orcid.org/0000-0003-1536-6470>; SPIN-код 6104-3532.

Корреспондентский адрес: Россия, 677000, Якутск, ул. Белинского, д. 58, СВФУ, тел. (4112) 49-65-40

Diatoms of Altai lakes

Diana N. Popova¹, Sardana N. Levina¹, Lyudmila A. Pestryakova¹, Natalia A. Rudaya²

¹North-Eastern Federal University (Russia, Yakutsk)

²Institute of Archaeology and Ethnography of the Siberian Branch of the RAS (Russia, Novosibirsk)

This paper presents data on studies of diatom flora of 23 lakes (33 points) of the Altai Republic, located at different absolute elevations above sea level. Samples of surface bottom sediments of lakes for diatom analysis were taken as material for the study. According to the results of the study, 221 species of algae were found, which belong to 80 genera, 33 families, 16 orders and three classes. The most numerous was the class Bacillariophyceae.

Key words: diatoms; sediments; taxonomy; lake; Altai Republic

References

1. General patterns of occurrence and development of lakes. Methods of studying lakes. Series: History of lakes of the USSR. Editor-in-chief D.D. Kvasov. Nauka, Leningrad, 1986. P. 256 p.
2. Krammer K. Diatoms of Europe. The Genus Pinnularia. Ruggell, A.R.G. Gantner Verlag K.G. 2000. 703 p.
3. Krammer K. Diatoms of Europe: Cymbella. Ruggell, A.R.G. Gantner Verlag K.G. 2002. 584 p.
4. Krammer K. Cymboplectra, Delicata, Navicymbella, Gomphocymbellopsis, Afrocybella. Ruggell, A.R.G. Gantner Verlag K.G. 2003. 529 p.
5. Lange-Bertalot H. Diatoms of Europe. Navicula sensu stricto, 10 Genera Separated from Navicula sensu lato, Frustulia. Königstein, A.R.G. Gantner Verlag. 2001. 526 p.
6. Round F.E., Crawford R.M., Mann D.G. The Diatoms: Biology and Morphology of the Genera. Cambridge University Press, New York, 1990. 747 p.

ССЫЛКА НА СТАТЬЮ:

Попова Д.Н., Левина С.Н., Пестрякова Л.А., Рудая Н.А. Диатомовые водоросли озер Алтая // Вопросы современной альгологии. 2025. № 1 (37). P. 203–206. URL: <http://algology.ru/2189>

Popova D.N., Levina S.N., Pestryakova L.A., Rudaya N.A. Diatoms of Altai lakes. *Voprosy sovremennoi algologii (Issues of modern algology)*. 2025. № 1 (37). P. 203–206. URL: <http://algology.ru/2189>

DOI – [https://doi.org/10.33624/2311-0147-2025-1\(37\)-203-206](https://doi.org/10.33624/2311-0147-2025-1(37)-203-206); EDN – JZNEOF

Обзор новых результатов исследования оз. Видогощ (диатомовый анализ)

Review of the new lake Vidogoshch study results (diatom analysis)

Разумовский В.Л., Кушнарева Т.Н.

Vikentii L. Razumovskij, Tatiana N. Kushnareva

Институт водных проблем РАН (Москва, Россия)

Обсуждается новый алгоритм поиска зон седиментации на акватории водохранилищ. В качестве примера предложена котловина оз. Видогощ, затопленная при образовании Иваньковского водохранилища. Полученные результаты подтверждаются данными диатомового анализа.

Ключевые слова: донные отложения; водохранилище; диатомовый анализ

Данная работа содержит новую, дополнительную первичную информацию, которая была собрана для подтверждения высокого уровня информативности новой концепции комплексного мониторинга (НККМ).

Основная научная значимость НККМ состоит в совмещении двух сформировавшихся научных направлений: палеолимнологического и комплексного мониторинга водных объектов.

Конечной целью проводимых исследований является формирование непрерывных рядов наблюдений за процессами трансформации экосистемы Иваньковского водохранилища и определение темпов седиментации на ее акватории с момента создания.

Первые полевые работы в рамках НККМ были проведены на акватории Иваньковского водохранилища в 2017-2019 гг. Отобранные колонки донных отложений (ДО) не содержали всего спектра осадков, сформировавшихся со времени создания водохранилища. Длина двух колонок, отобранных в Иваньковском водохранилище, составила 21 и 19 см. Иваньковское водохранилище существует более 85 лет (с 1937г.), а полученные осадки сформировались, предположительно, только в течении нескольких последних десятилетий.

Учитывая размеры затопленных площадей, было предложено собрать сведения об озерах, которые исчезли при образовании водохранилища. Очевидно, что образовавшийся морфометрический рельеф дна определяет зону месторасположения затопленных озер, как зону устойчивой и непрерывной седиментации за все время существования водохранилища.

Более того, зона накопления ДО в условиях сформированного водохранилища, может быть достоверно распознана и выделена по диатомовому анализу, при сравнении с теми осадками, которые образовались в затопленных озерах до создания водохранилища.

На акватории Иваньковского водохранилища было достоверно распознано только одно затопленное озеро – Видогощ. Это затопленное озеро расположено в центре Видогощского залива (56.706, 36.368), образовавшегося при создании Иваньковского водохранилища.

Колонка ДО была отобрана в 2022 г., в центре затопленного озера, с максимальных глубин (19,2 м). Отбор проводился с моторной лодки ударной колонкой ГОИН. Длина отобранной колонки ДО составила 95 см. Колонка была разрезана на отдельные фрагменты, с интервалом 1 см. Обработка, изготовление постоянных препаратов, подсчет и идентификация створок диатомей, осуществлялись по стандартным методикам (Давыдова, 1985; Полякова, 2010).

Уже при первичном осмотре отобранной колонки была установлена предположительная граница между осадками, сформировавшимися за время существования водохранилища, и нижележащими осадками озерного генезиса (интервал 65–75 см). Водохранилищные осадки имеют светло-серый, монотонный окрас и мелкозернистую, без включений, структуру. Озерные осадки характеризуются полосчатым окрасом: чередованием более темно- и светлоокрашенных слоев, и более грубозернистую структуру. Выраженная граница между озерными и водохранилищными осадками отсутствует: осадки, сформировавшиеся на дне оз. Видогощ, постепенно переходят в осадки водохранилищного генезиса.

При помощи метода графического анализа таксономических пропорций было установлено отсутствие процессов переотложения и переноса осадков на акватории затопленного озера (Разумовский, Моисеенко, 2009). Во всех интервалах построенные гистограммы имеют нелинейные, преимущественно экспоненциальные очертания. Гистограмм с линейным характером распределения таксономических пропорций (признак переотложения и переноса) не зафиксировано.

В пробах из колонки ДО было идентифицировано было идентифицировано более 160 видов диатомовых водорослей. Был проведен предварительный анализ процентных соотношений видов. Следует отметить, что при определении видовой принадлежности возникло значительное количество разночтений. Однако эта неопределенность касалась преимущественно видов, которые составляют менее 1% от всего комплекса, что не могло значительно сказаться на дальнейших биоиндикационных расчетах.

Чтобы устранить вышеупомянутую проблематику, было предложено рассчитать в каждом интервале соотношение бентосных, эпифитных и планктонных форм. Соотношение этих трех экологических групп позволило достоверно установить интервал, приходящийся на время затопления озера. Этот интервал достаточно точно соответствует предварительным заключениям, основанным на цвете и структуре осадков. Он соотносится с прекращением доминирования эпифитной группы диатомовых водорослей и началу доминирования планктонных форм (рис. 1).

Характер построенного графика обладает одной особенностью – заметной неравномерностью в распределении пропорций между бентосными, эпифитными и планктонными формами диатомовых водорослей по разрезу колонки.

Поскольку мощность отложений, накопившихся с момента образования водохранилища, составляет не более 75 см, а время существования водохранилища во время отбора составляло 85 лет, то на каждый интервал отбора приходится более одного календарного года. Соответственно, пики вегетационной активности планктона, неравномерно распределяются в интервалах отбора.

Новый алгоритм отбора колонок ДО в зоне расположения затопленных озер позволяет получить наиболее полную информацию о долговременных изменениях, происходивших в водохранилищах с момента их создания, под воздействием антропогенных нагрузок и природных изменений.

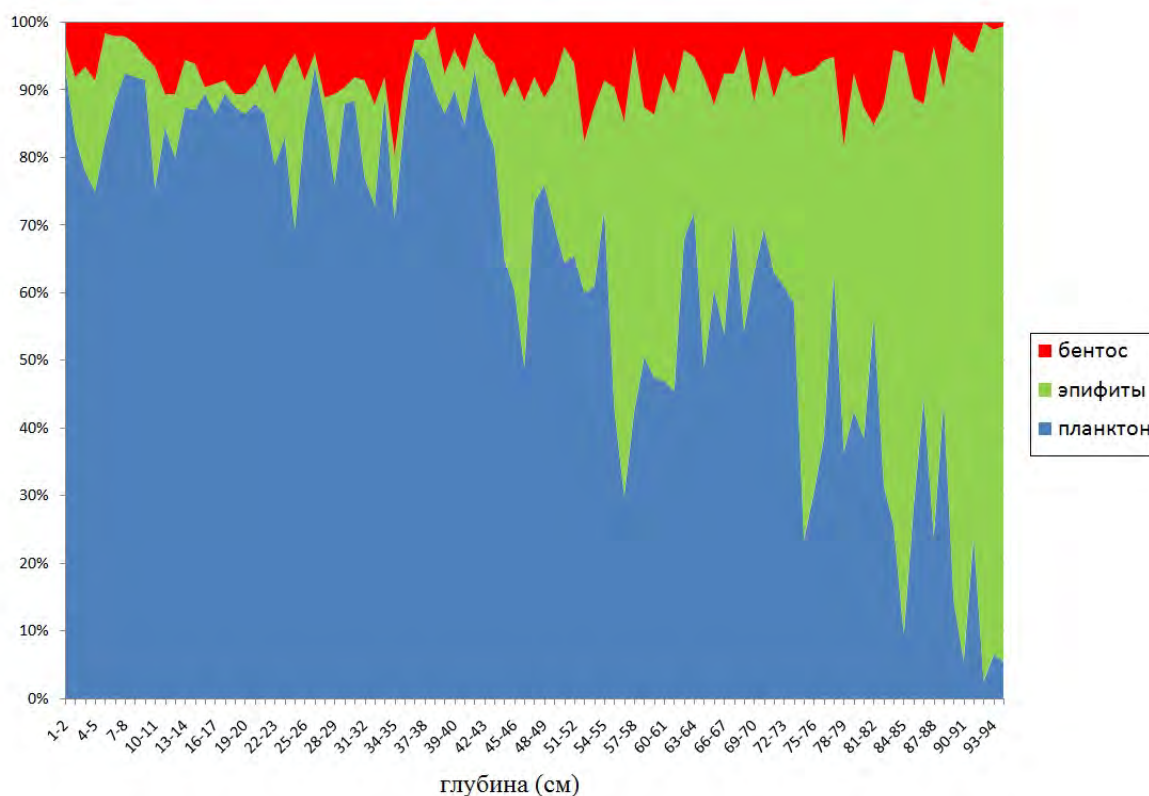


Рис. 1. Соотношения процентных пропорций трех основных экологических групп диатомовых водорослей по разрезу колонки ДО в Видогосьском заливе.

Fig. 1. The three main ecological groups of diatoms percentage ratio in the Vidogosch Bay bottom sediments column.

Работа выполнена в рамках госзадания ИВП РАН №FMWZ-2025-0002.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов, требующего раскрытия в данной статье.

Список литературы

1. Давыдова Н.Н. Диатомовые водоросли – индикаторы природных условий водоемов в голоцене. – Л.: Наука, 1985. – 244 с.
2. Полякова Е.И. Диатомовый анализ. Методы палеогеографических реконструкций – М.: Изд-во МГУ, 2010. – С. 126–160.
3. Разумовский Л.В., Моисеенко Т.И. Оценка пространственно-временных трансформаций озерных экосистем методом диатомового анализа // Докл. РАН. 2009. Т.429, №2. С. 274–277.
4. Renberg I. A procedure for preparing large sets of diatom slides from sediment cores // Journal of Paleolimnology. 1990. V.4. P. 87–90.

Статья поступила в редакцию 18.06.2025; поступила после доработки 22.08.2025; принята к публикации 28.08.2025

Сведения об авторах

Разумовский Викентий Львович – к.г.н., с.н.с., Институт водных проблем РАН, Москва, Россия (Water Problems Institute of the RAS, Russia, Moscow), Лаборатория охраны вод; nethaon@mail.ru; ORCID – <https://orcid.org/0000-0001-7093-5360>.

Кушнарева Татьяна Николаевна – ст. инженер, Институт водных проблем РАН, Москва, Россия (Water Problems Institute of the RAS, Russia, Moscow), Лаборатория охраны вод; nethaon@mail.ru.

Корреспондентский адрес: Россия, 119333, Москва, ул. Губкина, д. 3, ИВП РАН, тел. (499) 135-54-56.

Review of the new lake Vidogoshch study results (diatom analysis)

Vikentii L. Razumovskij, Tatiana N. Kushnareva

Water Problems Institute of the RAS (Russia, Moscow)

A new algorithm for sedimentation zones identification in reservoirs is being discussed. The basin of Lake Vidogoshch, flooded during the formation of the Ivankovo reservoir, is proposed as an example. The obtained results are confirmed by the data of diatom analysis.

Key words: bottom sediments; reservoir; diatom analysis

References

1. Davydova N.N. Diatomovye vodorosli – indikatory prirodnih uslovij vodoemov v golocene [Diatoms – indicators of natural conditions of reservoirs in the Holocene]. Nauka, Leningrad, 1985. 244 p. (In Russ.)
2. Polyakova E.I. Diatomovyy analiz. Metody paleogeograficheskikh rekonstrukcij [Diatom analysis. Methods of paleogeographic reconstructions] Izd-vo MGU, Moscow, 2010. P. 126–160. (In Russ.)
3. Razumovskij L.V., Moiseenko T.I. Ocenka prostranstvenno-vremennykh transformacij ozernyh ekosistem metodom diatomovogo analiza [Assessment of spatial and temporal transformations of lake ecosystems by the method of diatom analysis]. *Dokl. RAN*. 2009. T. 429, №2. P. 274–277. (In Russ.)
4. Renberg I. A procedure for preparing large sets of diatom slides from sediment cores. *Journal of Paleolimnology*. 1990. V. 4. P. 87–90.

ССЫЛКА НА СТАТЬЮ:

Разумовский В.Л., Кушнарева Т.Н. Обзор новых результатов исследования оз. Видогощ (диатомовый анализ) // Вопросы современной альгологии. 2025. № 1 (37). P. 207–210. URL: <http://algology.ru/2190>

Razumovskij V.L., Kushnareva T.N. Review of the new lake Vidogoshch study results (diatom analysis). *Voprosy sovremennoi algologii (Issues of modern algology)*. 2025. № 1 (37). P. 207–210. URL: <http://algology.ru/2190>

DOI – [https://doi.org/10.33624/2311-0147-2025-1\(37\)-207-210](https://doi.org/10.33624/2311-0147-2025-1(37)-207-210); EDN – KBFFIO

Обзор потенциальных объектов исследования на акваториях волжских водохранилищ (концепция комплексного мониторинга)

Overview of potential research sites in the volga reservoirs (integrated monitoring concept)

Разумовский Л.В., Анисимова А.В.

Lev V. Razumovskij, Alexandra V. Anisimova

Институт водных проблем РАН (Москва, Россия)

В работе дается краткая характеристика новой концепции комплексного мониторинга. Обсуждается возможность непрерывного формирования донных отложений с момента создания водохранилища. Приводятся примеры обнаружения озер затопленных на акватории водохранилищ.

Ключевые слова: водохранилища; мониторинг; донные отложения; фитопланктон

Исходная новизна исследований состояла в совмещения двух традиционных методов: анализа диатомовых комплексов из колонок донных отложений, который применяется в палеоолиминологии, и анализ фитопланктонных комплексов, который применяется при биомониторинге. В этом, собственно, и состояла новая концепция комплексного мониторинга (НККМ) касаясь ее биоиндикационной составляющей.

Однако поиск репрезентативных разрезов, содержащих полный спектр осадков сформировавшихся за все время существования созданных водохранилищ, оказался достаточно проблематичным (Разумовский и др., 2023а).

Это было наглядно продемонстрировано при анализе колонок донных отложений (ДО) из трех водохранилищ: Ивановского, Клязьменского и Рыбинского, которые были обследованы в 2017–2019 гг. Данные водохранилища были выбраны на основании их возраста. Ивановское водохранилище существует с 1937 г. – более 85 лет; Клязьменское водохранилище с 1932–1937 гг. – более 90 лет; Рыбинское водохранилище с 1935–1947 гг. – более 75 лет.

Первым объектом исследования стало Ивановское водохранилище – модельный водоем ИВП РАН. Были отобраны две колонки ДО 21 и 19 см. Колонки были отобраны в районе группы островов (56.791, 36.933). Осадки из них сформировались только в течении нескольких последних десятилетий. Однако применение всех методов, включенных в НККМ, позволило получить достаточно значимую информацию о новейших изменениях в экосистеме водохранилища. В образцах из колонок ДО было идентифицировано более 110 видов диатомовых водорослей.

В следующем году было обследовано Клязьменское водохранилище (2018 г.). Была отобрана одна колонка ДО длиной 24 см в непосредственной близости от пос. Красная Горка и пос. Птицефабрики (55.988, 37.548). В образцах из колонки ДО было идентифицировано более 90 видов диатомовых водорослей. Из-за значительной проточности водоема дальнейшие исследования были признаны не информативными.

Перспективность исследований третьего водохранилища – Рыбинского, определялась степенью его изученности сотрудниками ИБВВ им. И.Д. Папанина РАН.

В 2019 году на Рыбинском водохранилище была отобрана колонка ДО длиной 52 см в пункте стандартного наблюдения Коприно (58.092, 38.295).

В 2020 году, по сходному алгоритму были отобраны еще 5 колонок ДО на акватории Рыбинского водохранилища: Молога, Наволок, Измайлово, Средний Двор, Брейтово. Все 5 колонок ДО были отобраны в пунктах стандартного наблюдения, где проводится мониторинг, в том числе анализа качественного и количественного состояния фитопланктона.

В 2021 г. были осуществлены экспедиционные исследования на научном судне ИБВВ им. И.Д. Папанина РАН «Академик Топчиев». При прохождении судна к Иваньковскому водохранилищу был осуществлен, в нескольких пунктах следования, отбор ДО в Угличском водохранилище. В рамках экспедиционных работ было обследовано затопленное озеро Видогощ на Иваньковском водохранилище и отобрана колонка ДО длиной 55 см, сформированная исключительно из отложений водохранилищного генезиса.

В 2022 году была проведена повторная экспедиционная поездка на акваторию Видогощского залива, где располагается затопленное озеро Видогощ. Была отобрана колонка ДО длиной 94 см, где в нижней части колонки водохранилищные отложения переходят в отложения озерного генезиса без видимого перерыва в осадконакоплении (Разумовский и др., 2023б).

В этом же году, была вновь обследована акватория Иваньковского водохранилища с целью получения дополнительных сведений о варьировании мощности накопившихся в нем отложений.

В 2023 г. было проведено еще одно обследование оз. Видогощ и отобрана колонка ДО длиной 112 см с тем же результатом – переход водохранилищных отложений в отложения озерные без перерыва в процессах осадконакопления.

В тот же временной промежуток (2018–2020 гг.) были обнаружены затопленные озера на акватории Рыбинского водохранилища: оз. Арининское, оз. Демьяновское, оз. Ягорба и оз. Викторкино. Наиболее репрезентативные результаты были получены при отборе керна в месторасположении затопленного оз. Арининское (58.096, 38.229). Планируется повторный отбор керна с целью подтверждения полученных данных.

В 1924 году были осуществлены рекогносцировочные работы на судне «Биолог» в рамках работ плавучего университета и дополнительных рекогносцировочных исследований на акватории Куйбышевского водохранилища. Основной задачей было поверхностных осадков и колонки ДО в пунктах комплексных экспедиционных исследований.

Отбор ДО из 5 водохранилищ (2017–2025 гг.) позволил установить отсутствие процессов непрерывного седиментогенеза связанного не только с проточностью, но и с регулируемым уровнем режимом. Последнее значительно влияет на процессы перераспределения уже отложившихся осадков, т.е. их дальнейшего переноса и переотложения.

Обоснованное применения палеолимнологических методов исследования возможно только в зонах расположения озер затопленных при образовании водохранилищ, если их создание и заполнение не привело к обрушению берегов затопленного озера.

Работа выполнена в рамках госзадания ИВП РАН №FMWZ-2025-0002.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов, требующего раскрытия в данной статье.

Список литературы

1. Разумовский Л.В., Кушнарева Т.Н., Разумовский В.Л., Анисимова А.В. Реконструкция долговременных изменений в двух верхневолжских водохранилищах по результатам комплексного анализа донных отложений // Известия Российской академии наук. Сер. географическая. 2023а. Т. 87, № 6. С. 885–898.
2. Разумовский Л.В., Разумовский В.Л., Кушнарева Т.Н., Губернаторова Т.Н., Анисимова А.В. Новый алгоритм поиска зон интегральной седиментации на примере Иваньковского и Рыбинского водохранилищ // Вопросы современной альгологии. 2023б. № 2 (32). С. 172–174. URL: <http://algology.ru/2082> (дата обращения: 17.05.2025). DOI: [https://doi.org/10.33624/2311-0147-2023-2\(32\)-172-174](https://doi.org/10.33624/2311-0147-2023-2(32)-172-174)

Статья поступила в редакцию 18.06.2025; поступила после доработки 25.08.2025; принята к публикации 28.08.2025

Сведения об авторах

Разумовский Лев Владимирович – д.г.н., в.н.с., Институт водных проблем РАН, Москва, Россия (Water Problems Institute of the RAS, Russia, Moscow), Лаборатория охраны вод; lazy-lion@mail.ru; ORCID – <https://orcid.org/0000-0001-5066-0398>.

Анисимова Александра Владимировна – м.н.с., Институт водных проблем РАН, Москва, Россия (Water Problems Institute of the RAS, Russia, Moscow); lazy-lion@mail.ru.

Корреспондентский адрес: Россия, 119333, Москва, ул. Губкина, д. 3, ИВП РАН, тел. (499) 135-54-56.

Overview of potential research sites in the volga reservoirs (integrated monitoring concept)

Lev V. Razumovskij, Alexandra V. Anisimova

Water Problems Institute of the RAS (Russia, Moscow)

The paper provides a brief description of the new concept of integrated monitoring. The possibility of continuous formation of bottom sediments since the creation of the reservoir is discussed. Examples of flooded lakes detection in the reservoirs are given.

Key words: reservoirs; monitoring; bottom sediments; phytoplankton

References

1. Razumovskij L.V., Kushnareva T.N., Razumovskij V.L., Anisimova A.V. Rekonstrukciya dolgovremennyh izmenenij v dvuh verhnjevolzhskih vodohranilishchah po rezul'tatam kompleksnogo analiza donnyh otlozhenij [Reconstruction of long-term changes in two Upper Volga reservoirs based on the results of a comprehensive analysis of bottom sediments]. Izvestiya RAN. Ser. geograficheskaya. 2023a. T. 87, № 6. P. 885–898.
2. Razumovskij L.V., Razumovskij V.L., Kushnareva T.N., Gubernatorova T.N., Anisimova A.V. A new algorithm for integral sedimentation zones identification on the example of the Ivankovo and Rybinsk

reservoirs. *Voprosy sovremennoi algologii (Issues of modern algology)*. 2023b. № 2 (32). P. 172–174. URL: <http://algology.ru/2082> (date 17.05.2025) DOI: [https://doi.org/10.33624/2311-0147-2023-2\(32\)-172-174](https://doi.org/10.33624/2311-0147-2023-2(32)-172-174)

ССЫЛКА НА СТАТЬЮ:

Разумовский Л.В., Анисимова А.В. Обзор потенциальных объектов исследования на акваториях волжских водохранилищ (концепция комплексного мониторинга) // Вопросы современной альгологии. 2025. № 1 (37). P. 211–214. URL: <http://algology.ru/2191>

Razumovskij L.V., Anisimova A.V. Overview of potential research sites in the volga reservoirs (integrated monitoring concept). *Voprosy sovremennoi algologii (Issues of modern algology)*. 2025. № 1 (37). P. 211–214. URL: <http://algology.ru/2191>

DOI – [https://doi.org/10.33624/2311-0147-2025-1\(37\)-211-214](https://doi.org/10.33624/2311-0147-2025-1(37)-211-214); EDN – PTDWSE

Влияние сезонной изменчивости гидрологического режима на бета-разнообразие диатомовых водорослей перифитона в реках Дунайского бассейна

The influence of seasonal changes in hydrological regime on beta-diversity of periphytic diatoms in the streams of the Danube River Basin

Русанов А.Г.¹, Траберт Ж.², Киш К.Т.², Ач Е.²

Alexander G. Rusanov, Zsuzsa Trábert, Keve Tihamér Kiss, Éva Ács

¹Институт озераведения РАН – СПб ФИЦ РАН (Санкт-Петербург, Россия)

²Национальный университет государственной службы, Факультет водных наук (Будапешт, Венгрия)

Проведен сравнительный анализ бета-разнообразия (пространственного изменения структуры сообщества) диатомовых водорослей перифитона под влиянием сезонной изменчивости гидрологического режима в реках бассейна Дуная. Весенние паводки после обильных осадков приводили к снижению видового разнообразия и выравниванию с сопутствующим увеличением численности устойчивых к гидрологическому нарушению низкопрофильных диатомовых водорослей. Осенью в более благоприятных гидрологических условиях наблюдалось восстановление видового разнообразия и выравнивания с увеличением обилия чувствительных к нарушению подвижных диатомовых. Анализ компонент дисперсии показал, что хотя факторы среды преобладали в оба сезона, пространственные переменные играли более важную роль весной, чем осенью. Анализ зависимости «дистанция-сходство» выявил, что весенние паводки сопровождаются значительным увеличением гомогенности видовой структуры между близлежащими станциями за счет эффекта чрезмерного расселения. При этом высокая неоднородность окружающей среды в условиях гидрологического нарушения приводит к быстрому изменению видовой структуры по пространственному градиенту. Осенью при слабом действии фильтра среды увеличивалась роль экологического дрейфа. Таким образом, сезонные изменения гидрологического режима влияют на баланс детерминистических и стохастических процессов в формировании бета-разнообразия диатомовых водорослей в речных условиях.

Ключевые слова: диатомовые перифитона; метасообщество; расселение; экологический дрейф; фильтр среды; бета-разнообразие

The metacommunity theory, which considers spatial variation in community structure (that is, beta-diversity, Шитиков и др., 2011) as a result of interplay between deterministic and stochastic forces, explicitly encompasses ecological processes such as selection, dispersal and ecological drift (Vellend 2016; Леонов 2023). Environmental disturbance affects beta-diversity by altering the relative importance of deterministic and stochastic processes in shaping the structure of ecological communities (Chase, Myers 2011). In this way, the

interactive effect of disturbance with deterministic and stochastic processes can lead to the following scenarios. First, disturbance may lead to community homogenization by stimulating convergent niche selection of disturbance-tolerant species (Chase 2007). Thus, in the presence of disturbance, the community will be characterized by reduced beta-diversity because of a strong selective factor (Zhou et al. 2014). Second, when environmental stress is relieved and community becomes weakly structured by the environment, the role of stochastic forces (i.e., ecological drift) increases (Chase 2003), leading to increased compositional stochasticity (Zhou et al. 2014). Finally, differences in the dispersal rates of species, which may be correlated with sensitivity to disturbance, can also influence the balance between deterministic and stochastic processes that shape natural communities (Mouquet, Loreau 2003).

Periphytic diatoms represent an ideal model community to investigate the role of deterministic and stochastic processes in controlling community structure of microorganisms, since they possess several excellent features. Firstly, lotic diatoms are sensitive to the influence of natural physical disturbance, such as seasonal high-flow events (e.g., Ács, Kiss 1993). Secondly, they have morphological, life-form and adhesion traits that provide resistance to high water phases and resilience following flow perturbations (Peterson, Stevenson 1992). Although much research attention has been devoted to the response of benthic diatom communities to seasonal hydrological fluctuations, our knowledge of the relative importance of stochastic and deterministic processes that vary with seasonal hydrological regime in shaping beta-diversity of lotic diatom metacommunities is still scarcely developed.

In this study, our focus was on lotic periphytic diatoms categorized into three functional guilds: low-profile, high-profile and motile (Passy 2007). We focused on how seasonal changes in hydrology between high-flow (spring) and low-flow (autumn) periods influence the relative importance of deterministic (environmental factors) and stochastic (dispersal, drift) mechanisms structuring periphytic diatom communities, which were sampled in hilly streams of the Danube River basin.

Variance partitioning analysis for the total community showed that environmental factors outperformed spatial variables in both seasons. Thus, periphytic diatom communities in the studied streams were mainly structured by environmental filtering rather than by dispersal-related processes. In turn, spatial variables played a more important role in spring than in autumn, indicating that dispersal processes were more important during high-flow period. When the variance partitioning was applied separately for each diatom guild, low-profile guild was the only diatom guild, for which spatial factors were more influential than environmental factors during high-flow period.

The distance-decay analysis revealed that the relationships between structural dissimilarities and geographic distances were positive and stronger for spring than for autumn (i.e., lower intercept and higher slope). The lower intercept suggests that spring floods were accompanied by a significant increase in the homogeneity of community structure between nearby stations due to the effect of excessive dispersal. Whereas the higher slope indicates that high heterogeneity of the environment under hydrological disturbance conditions led to a rapid changes in community structure with spatial distance. Low-profile guild was characterized by the lowest intercept of the distance-decay relationship indicating that this guild was mainly responsible for homogenizing the total diatom community structure over short geographic distances. Therefore, in spring low-profile guild was strongly driven by dispersal, while high-profile and motile guilds were predominantly governed by environmental filtering.

A null model approach based on the NST index indicated a strong stochastic influence on both spring and autumn diatom communities ($NST > 0.50$), but the influence of stochastic processes was higher in autumn (0.902) than in spring (0.817). Null models emphasize the potential importance of stochastic mechanisms that include random birth-death occurrence,

i.e., ecological drift (Ning et al., 2019). Our findings that compositional stochasticity of lotic diatom community is reduced under high flow conditions are consistent with previous studies (Chase 2003; Chase, Myers 2011; Zhou et al. 2014), in which, following a disturbance, the drift probability is reduced, while environmental filtering is enhanced as the disturbance itself acts as a selective factor.

This study was carried out by the National University of Public Service within the framework of the Széchenyi Plan Plus program with the support of the RRF 2.3.1 21 2022 00008 project and as a part of the state assignment of the Institute of Limnology RAS (project No. FFZF-2024-0001).

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов, требующего раскрытия в данной статье.

Список литературы

1. Шитиков В.К., Зинченко Т.Д., Розенберг Г.С. Макроэкология речных сообществ: Концепции, методы, модели. – Тольятти: Кассандра, 2011. – 255 с.
2. Ács É., Kiss K.T. Effects of the water discharge on periphyton abundance and diversity in a large river (River Danube, Hungary) // *Hydrobiologia*. 1993. V.249. P. 125–133.
3. Chase J.M. Community assembly: when should history matter? // *Oecologia*. 2003. V.136. P. 489–498.
4. Chase J.M. Drought mediates the importance of stochastic community assembly // *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*. 2007. V.104. P. 17430–17434.
5. Chase J.M., Myers J.A. Disentangling the importance of ecological niches from stochastic processes across scales // *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*. 2011. V.366. P. 2351–2363. DOI: <https://doi.org/10.1098/rstb.2011.0063>
6. Leonov V.D. Stochastic and Deterministic Processes in the Establishment of Taxonomic, Functional and Phylogenetic Diversity of Ecological Communities: A Review of Modern Concepts // *Ekologia*. 2023. N. 4. P. 245–260. DOI:10.31857/S0367059723040054
7. Mouquet N., Loreau M. Community patterns in source-sink metacommunities // *American Naturalist*. 2003. V.162. P. 544–557.
8. Ning D., Deng Y., Tiedje J., Zhou J. A general framework for quantitatively assessing ecological stochasticity // *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*. 2019. V.116. P. 16892–16898. DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.1904623116>
9. Passy S.I. Diatom ecological guilds display distinct and predictable behavior along nutrient and disturbance gradients in running waters // *Aquatic Botany*. 2007. V.86. P. 171–178.
10. Peterson C.G., Stevenson R.J. Resistance and resilience of lotic algal communities: importance of disturbance timing and current // *Ecology*. 1992. V.73. P. 1445–1461.
11. Vellend M. The theory of ecological communities (MPB-57). – Princeton: Princeton Univ. Press, 2016. – 229 p. DOI: <https://doi.org/10.1515/9781400883790>

Статья поступила в редакцию 18.06.2025; поступила после доработки 25.08.2025; принята к публикации 28.08.2025

Сведения об авторах

Русанов Александр Геннадьевич – к.б.н., с.н.с., Институт озераведения РАН – СПб ФИЦ РАН, Санкт-Петербург, Россия (Institute of Limnology RAS – SPC RAS, Russia, St. Petersburg); a_rusanov@yahoo.com; ORCID – <https://orcid.org/0000-0003-1597-073>.

Траберт Жужа – Национальный университет государственной службы, Факультет водных наук, Кафедра наук о водной среде, Будапешт, Венгрия (Ludovika University of Public Service, Faculty of Water Sciences, Department of Aquatic Environmental Sciences, Hungary, Budapest); trabert.zsuzsa@uni-nke.hu; ORCID – <https://orcid.org/0009-0005-4202-6481>.

Киш Кеве Тихамер – профессор, Национальный университет государственной службы, Факультет водных наук, Кафедра наук о водной среде, Будапешт, Венгрия (Ludovika University of Public Service, Faculty of Water Sciences, Department of Aquatic Environmental Sciences, Hungary, Budapest); kiss.keve.tihamer@uni-nke.hu; ORCID – <https://orcid.org/0009-0004-6951-2079>.

Ач Ева – профессор, Национальный университет государственной службы, Факультет водных наук, Кафедра наук о водной среде, Будапешт, Венгрия (Ludovika University of Public

Service, Faculty of Water Sciences, Department of Aquatic Environmental Sciences, Hungary, Budapest); acs.eva@uni-nke.hu; ORCID – <https://orcid.org/0000-0003-1774-157X>.

Корреспондентский адрес: Россия, 196105, Санкт-Петербург, ул. Севастьянова, 9, Институт озерадения РАН – СПб ФИЦ РАН, тел. (812) 387-02-60.

The influence of seasonal changes in hydrological regime on beta-diversity of periphytic diatoms in the streams of the Danube River Basin

Alexander G. Rusanov¹, Zsuzsa Trábert², Keve Tihamér Kiss², Éva Ács²

¹*Institute of Limnology RAS – SPC RAS (Russia, St. Petersburg)*

²*Ludovika University of Public Service, Faculty of Water Sciences (Hungary, Budapest)*

A comparative analysis of beta-diversity (i.e., spatial variation in community structure) of periphytic diatoms under the influence of seasonal variability of the hydrological regime in the streams of the Danube River basin was carried out. In spring, high-flow events following heavy rainfall resulted in decreased species diversity and evenness with a concomitant increase in the abundance of disturbance-resistant low-profile diatoms. In autumn, benign hydrological conditions resulted in a recovery in species diversity and evenness with increased abundance of disturbance-sensitive motile diatoms. Variance partitioning analysis showed that although environmental factors dominated in both seasons, spatial variables played a more important role in spring than in autumn. The distance-decay of similarity analysis revealed that spring floods are accompanied by a significant increase in the homogeneity of community structure between nearby stations due to the effect of excessive dispersal. At the same time, high heterogeneity of the environment under hydrological disturbance conditions leads to a rapid changes in community structure along the spatial gradient. In autumn, with a weak environmental filter, the role of ecological drift increased. Thus, seasonal changes in the hydrological regime affect the balance of deterministic and stochastic processes shaping beta-diversity patterns of periphytic diatoms in riverine conditions.

Key words: periphytic diatoms; metacommunity; dispersal; ecological drift; environmental filter; beta-diversity

References

1. Ács É., Kiss K.T. Effects of the water discharge on periphyton abundance and diversity in a large river (River Danube, Hungary). *Hydrobiologia*. 1993. V.249. P. 125–133.
2. Chase J.M. Community assembly: when should history matter? *Oecologia*. 2003. V.136. P. 489–498.
3. Chase J.M. Drought mediates the importance of stochastic community assembly. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*. 2007. V.104. P. 17430–17434.
4. Chase J.M., Myers J.A. Disentangling the importance of ecological niches from stochastic processes across scales. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*. 2011. V.366. P. 2351–2363. DOI: <https://doi.org/10.1098/rstb.2011.0063>
5. Leonov V.D. Stochastic and Deterministic Processes in the Establishment of Taxonomic, Functional and Phylogenetic Diversity of Ecological Communities: A Review of Modern Concepts. *Ekologia*. 2023. N4. P. 245–260. DOI:10.31857/S0367059723040054
6. Mouquet N., Loreau M. Community patterns in source-sink metacommunities. *American Naturalist*. 2003. V.162. P. 544–557.
7. Ning D., Deng Y., Tiedje J., Zhou J. A general framework for quantitatively assessing ecological stochasticity. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*. 2019. V. 116. P. 16892–16898. DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.1904623116>
8. Passy S.I. Diatom ecological guilds display distinct and predictable behavior along nutrient and disturbance gradients in running waters. *Aquatic Botany*. 2007. V.86. P. 171–178.
9. Peterson C.G., Stevenson R.J. Resistance and resilience of lotic algal communities: importance of disturbance timing and current. *Ecology*. 1992. V.73. P. 1445–1461.

10. Shitikov V.K., Zinchenko T.D., Rosenberg G.S. Macroecology of river communities: Concepts, methods, models. Cassandra, Tolyatti, 2011. 255 p. (In Russ.)
11. Vellend M. The theory of ecological communities (MPB-57). Princeton Univ. Press, Princeton, 2016. 229 p. DOI: <https://doi.org/10.1515/9781400883790>

ССЫЛКА НА СТАТЬЮ:

Русанов А.Г., Траберт Ж., Киш К.Т., Ач Е. Влияние сезонной изменчивости гидрологического режима на бета-разнообразие диатомовых водорослей перифитона в реках Дунайского бассейна // Вопросы современной альгологии. 2025. № 1 (37). P. 215–219. URL: <http://algology.ru/2192>

Rusanov A.G., Trábert Z., Kiss K.T., Ács É. The influence of seasonal changes in hydrological regime on beta-diversity of periphytic diatoms in the streams of the Danube River Basin. *Voprosy sovremennoi algologii (Issues of modern algology)*. 2025. № 1 (37). P. 215–219. URL: <http://algology.ru/2192>

DOI – [https://doi.org/10.33624/2311-0147-2025-1\(37\)-215-219](https://doi.org/10.33624/2311-0147-2025-1(37)-215-219); EDN – YJPRSS

Вид *Asterionella formosa* (Hassall, 1850) в озере Сенеж осенью 2024 года

The species *Asterionella formosa* (Hassall, 1850) in Lake Senezh in autumn 2024

Солодовник А.В., Тюлин Д.Ю., Никитенко А.И., Жернаков И.А.,
Здрок А.В.

Adelina V. Solodovnik., Dmitriy Yu. Tyulin, Alexey I. Nikitenko,
Ilya A. Zhernakov, Andrey V. Zdrok

Филиал по пресноводному рыбному хозяйству ФГБНУ «ВНИРО» – «ВНИИПРХ»
(Рыбное, Россия)

Исследованы численность и биомасса диатомовой водоросли *Asterionella formosa* в озере Сенеж осенью 2024 г. Наименьшие значения показателей зафиксированы на станции с пониженной температурой воды (3,2°C). Вид доминировал среди диатомовых на всех станциях (в среднем 0,71 млн.экз/л, 74% численности; 0,62 мг/л, 75% биомассы). Установлена прямая корреляция общей численности диатомовых с температурой воды ($r=0,82$) и биомассы *Daphniidae* с биомассой диатомовых ($r=0,65$). Гидрохимические условия (pH 8,0–8,1, PO_4^{3-} 0,10–0,11 мг/дм³) соответствовали мезотрофному статусу водоёма и благоприятствовали развитию *A. formosa*. Полученные данные расширяют понимание экологических факторов, влияющих на динамику фитопланктона в пресноводных экосистемах.

Ключевые слова: *Asterionella formosa*; диатомовые водоросли; экологические факторы; озеро Сенеж; трофность; гидрохимия

Дафнии играют ключевую роль в водных экосистемах, в частности, благодаря их способности потреблять крупные и колониальные водоросли (Porter, 1975), включая *Asterionella formosa* (Hassall, 1850). Исследования показывают, что увеличение биомассы диатомовых водорослей способствует росту популяций дафний (Feniova et al., 2025).

Авторы более ранних статей, посвящённых экологической системе озера Сенеж (Козлов, Иванова, 2013) не описывают интересующий нас вид, не пытаются рассмотреть его в контексте таких экологических факторов, как температура воды, содержание растворённого кислорода в ней, её гидрохимический состав. Таким образом, данная работа отвечает требованиям научной новизны.

Цель работы – исследование численности и биомассы *A. formosa* в озере Сенеж осенью 2024 г. и анализ связи данных показателей с экологическими факторами среды, такими как температурный и кислородный режимы, гидрохимический состав воды.

Пробы отбирали на 3 станциях (реки Мазиха, Сестра, плотина) (Никитенко и др., 2020) с использованием батометра Паталаса, фиксировали 4% формалином (рис. 1).



Рис. 1. Карта-схема отбора проб фитопланктона на озере Сенеж осенью 2024 года.

Fig. 1. Map of phytoplankton sampling locations in Lake Senezh in autumn 2024.

Анализ проводили под микроскопом Микромед 3 с камерой Фукса-Розенталя. Индекс доминирования (ID) рассчитывали по формуле:

$$ID = B \times P,$$

где B – биомасса (г/м³), P – встречаемость (%).

Станция 3 ($t=3,2^{\circ}\text{C}$, $\text{O}_2=12,8$ мг/л) показала максимум численности *A. formosa* (0,80 млн.кл/л, 95% от диатомовых). Концентрация NH_4^+ (0,77–0,83 мг/дм³) и Fe (0,29–0,30 мг/дм³) превышала ПДК, но способствовала росту диатомовых. Биомасса Daphniidae коррелировала с биомассой диатомовых ($r=0,65$, $p \leq 0,05$), подтверждая их трофическую связь.

Низкие температуры ($<4^{\circ}\text{C}$) способствовали доминированию *A. formosa*, что согласуется с данными (Leventer et al., 2002; Zuniga et al., 2021). Прямая зависимость биомассы Daphniidae от диатомовых подтверждает их роль в пищевой цепи (Porter, 1975; Feniova et al., 2025). Повышенные NH_4^+ и Fe, вероятно, связаны с хозяйственной деятельностью, но не угнетали *A. formosa*.

Заключение. Озеро Сенеж осенью 2024 г. характеризовалось мезотрофным статусом и стабильными гидрохимическими условиями, поддерживающими продуктивность экосистемы. *A. formosa* служит индикатором умеренного эвтрофирования.

Данная работа финансировалась за счет средств бюджета Филиала по пресноводному рыбному хозяйству ФГБНУ «ВНИРО» («ВНИИПРХ»). Никаких дополнительных грантов на проведение или руководство данным конкретным исследованием получено не было.

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

Список литературы

1. Козлов В.И., Иванова Ю.С. Эколого-рыбохозяйственная оценка озера Сенеж. – М.: МГУТУ, 2013. – 124 с.
2. Никитенко А.И., Горячев Д.В., Клец Н.Н., Здрок А.В., Ускова С.С., Бадаева И.Ю., Кукин М.С., Вишторская А.А. Результаты комплексного исследования озера Сенеж // Рыбоводство и рыбное хозяйство. 2020. № 10. С. 6–17. DOI: 10.33920/sel-09-2010-01
3. Feniova I., Dzialowski A.R., Bednarska A., Brzeziński T., Zilitinkevich N., Dawidowicz P. Shifts in competition outcomes between two *Daphnia* species in response to algal phosphorus content // *Oecologia*. 2025. V. 207 (32). <https://doi.org/10.1007/s00442-025-05669-5>
4. Leventer A., Houses to E., Barkukis A., McAndrews B., Murray J. The Palmer Deep Experience: an interpretation based on diatoms // *Paleoceanography*. 2002. V. 17, No 3. <https://doi.org/10.1029/2001PA000624>
5. Porter K.G. Viable gut passage of gelatinous green algae ingested by *Daphnia*. *Internationale Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnologie: Verhandlungen.*, 1975. V.19. P. 2840–2850.
6. Zuniga D., Sanchez-Vidal A., Flexus M.D.M., Carroll D., Rufina M.M., Skrin G. Sinking diatom communities as a key factor in the deep-sea export of carbon and silicon to the Scotia Sea (Southern Ocean) // *Frontiers in Earth Science*. 2021. V.9. ID 579198. <https://doi.org/10.3389/feart.2021.579198>

Статья поступила в редакцию 18.06.2025; поступила после доработки 20.08.2025; принята к публикации 28.08.2025

Сведения об авторах

Солодовник Аделина Владимировна – мл. специалист, Филиал по пресноводному рыбному хозяйству ФГБНУ «ВНИРО» – «ВНИИПРХ», Россия, Рыбное (Branch for the freshwater fisheries of the FSBCI “Russian Federal Research Institute of Fisheries and oceanography”, Russia, Rubnoe), группа гидробиологии; a.solodovnik@vniiprh.vniro.ru; ORCID – <https://orcid.org/0009-0005-3921-8562>.

Тюлин Дмитрий Юрьевич – к.б.н., гл. специалист, Филиал по пресноводному рыбному хозяйству ФГБНУ «ВНИРО» – «ВНИИПРХ», Россия, Рыбное (Branch for the freshwater fisheries of the FSBCI “Russian Federal Research Institute of Fisheries and oceanography”, Russia, Rubnoe); mityul@mail.ru; ORCID – <https://orcid.org/0000-0002-7979-336X>; SPIN-код 7283-9756.

Никитенко Алексей Иванович – рук-ль группы, Филиал по пресноводному рыбному хозяйству ФГБНУ «ВНИРО» – «ВНИИПРХ», Россия, Рыбное (Branch for the freshwater fisheries of the FSBCI “Russian Federal Research Institute of Fisheries and oceanography”, Russia, Rubnoe); mityul@mail.ru; ORCID – <https://orcid.org/0000-0001-8123-5810>; SPIN-код 3827-6700.

Жернаков Илья Алексеевич – гл. специалист, Филиал по пресноводному рыбному хозяйству ФГБНУ «ВНИРО» – «ВНИИПРХ», Россия, Рыбное (Branch for the freshwater fisheries of the FSBCI “Russian Federal Research Institute of Fisheries and oceanography”, Russia, Rubnoe); ilazernakov52010@gmail.com; ORCID – <https://orcid.org/0009-0008-2572-911X>; SPIN-код 2519-6900.

Здрок Андрей Васильевич – начальник отд. экологической токсикологии, Филиал по пресноводному рыбному хозяйству ФГБНУ «ВНИРО» – «ВНИИПРХ», Россия, Рыбное (Branch for the freshwater fisheries of the FSBCI “Russian Federal Research Institute of Fisheries and oceanography”, Russia, Rubnoe), группа гидробиологии; zdrok_av@vniiprh.ru; ORCID – <https://orcid.org/0000-0001-8123-5810>; SPIN-код 5388-9331.

Корреспондентский адрес: Россия, 141821, Рыбное, д. 40а, ВНИИПРХ, тел. (495) 108-68-56.

The species *Asterionella formosa* (Hassall, 1850) in Lake Senezh in autumn 2024

Adelina V. Solodovnik, Dmitriy Yu. Tyulin, Alexey I. Nikitenko, Ilya A. Zhernakov,
Andrey V. Zdrok

*Branch for the freshwater fisheries of the FSBCI "Russian Federal Research Institute of Fisheries and
oceanography" (Russia, Rubnoe)*

The abundance and biomass of the diatom *Asterionella Formosa* in Lake Senezh (autumn 2024) were studied. The lowest values were recorded at the station with reduced water temperature (3,2°C). The species dominated among diatoms at all stations (avg. 0,71 million ind./L, 74% abundance; 0,62 mg/L, 75% biomass). A direct correlation was found between total diatom abundance and water temperature ($r=0,82$), and between Daphniidae biomass and diatom biomass ($r=0,65$). Hydrochemical conditions (pH 8,0–8,1, PO_4^{3-} 0,10–0,11 mg/dm³) matched the mesotrophic status of the lake and favored *A. Formosa* development. The data enhance understanding of ecological factors driving phytoplankton dynamics in freshwater ecosystems.

Key words: *Asterionella formosa*; diatoms; ecological factors; Lake Senezh; trophy; hydrochemistry

References

1. Feniova I., Dzialowski A.R., Bednarska A., Brzeziński T., Zilitinkevich N., Dawidowicz P. Shifts in competition outcomes between two *Daphnia* species in response to algal phosphorus content. *Oecologia*. 2025. V.207 (32). <https://doi.org/10.1007/s00442-025-05669-5>
2. Kozlov V.I., Ivanova Yu.S. Ecological and fisheries assessment of Lake Senezh. MGUTU, Moscow: 2013. 124 p. (In Russ.)
3. Leventer A., Houses to E., Barkukis A., McAndrews B., Murray J. The Palmer Deep Experience: an interpretation based on diatoms. *Paleoceanography*. 2002. V.17, No 3. <https://doi.org/10.1029/2001PA000624>
4. Nikitenko A.I., Goryachev D.V., Klets N.N., Zdrok A.V., Uscova S.S., Badaeva I.U., Kukin M.S., Vishtorskaia A.A. Results of a comprehensive study of water bioresources of lake Senezh. *Fish breeding and fisheries*. 2020. №10. P. 6–17. DOI: 10.33920/sel-09-2010-01. (In Russ.). 4.
5. Porter K.G. Viable gut passage of gelatinous green algae ingested by *Daphnia*. Internationale Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnologie, Verhandlungen, 1975. V.19. P. 2840–2850.
6. Zuniga D., Sanchez-Vidal A., Flexus M.D.M., Carroll D., Rufina M.M., Skrin G. Sinking diatom communities as a key factor in the deep-sea export of carbon and silicon to the Scotia Sea (Southern Ocean). *Frontiers in Earth Science*. 2021. V.9. ID 579198. <https://doi.org/10.3389/feart.2021.579198>

ССЫЛКА НА СТАТЬЮ:

Солодовник А.В., Тюлин Д.Ю., Никитенко А.И., Жернаков И.А., Здрок А.В. Вид *Asterionella formosa* (Hassall, 1850) в озере Сенеж осенью 2024 года // Вопросы современной альгологии. 2025. № 1 (37). P. 220–223. URL: <http://algology.ru/2167>

Solodovnik A.V., Tyulin D.Yu., Nikitenko A.I., Zhernakov I.A., Zdrok A.V. The species *Asterionella formosa* (Hassall, 1850) in Lake Senezh in autumn 2024. *Voprosy sovremennoi algologii (Issues of modern algology)*. 2025. № 1 (37). P. 220–223. URL: <http://algology.ru/2167>

DOI – [https://doi.org/10.33624/2311-0147-2025-1\(37\)-220-223](https://doi.org/10.33624/2311-0147-2025-1(37)-220-223); EDN – XAIKKT

Роль диатомовых водорослей в фитопланктоне прибрежных вод восточной части о-ва Русский

The role of diatoms algae in phytoplankton of coastal waters of the eastern part of Russky Island

Тевс К.О.¹, Шевченко О.Г.^{2,3}

Kirill O. Tevs, Olga G. Shevchenko

¹Научно-образовательный комплекс «Приморский океанариум» –
филиал ННЦМБ ДВО РАН (Владивосток, Россия)

²Национальный научный центр морской биологии имени А.В. Жирмунского –
ННЦМБ ДВО РАН (Владивосток, Россия)

³Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет
(Владивосток, Россия)

Представлены сведения о сезонной динамике качественных и количественных характеристик диатомового планктона прибрежных вод восточной части о-ва Русский – крупнейшего в зал. Петра Великого. Основу пиков развития микроводорослей в б. Парис составляли диатомеи – *Skeletonema dohrnii*, *Skeletonema japonicum*, *Thalassiosira nordenskiöldii* и комплекс видов рода *Cyclotella* достигавших до 95,6% от общей численности фитопланктона. Отмечены представители потенциально токсичного фитопланктона рода *Pseudo-nitzschia*, присутствующие в сообществе во все сезоны.

Ключевые слова: фитопланктон; диатомеи; сезонная динамика; остров Русский; Японское море

Первые сведения о таксономическом составе микроводорослей пролива Босфор Восточный, соединяющего Амурский и Уссурийский заливы датируются 30-ми годами прошлого столетия (Skvortzow, 1931; Киселев, 1934). Фрагментарные исследования проводились и в конце XX века с публикацией обновленных данных о сезонной динамике микроводорослей и составе доминирующих видов (Израэль, Цыбань, 1990). Последующие работы были в основном выполнены в б. Золотой Рог, с акцентом на изучение качественного и количественного состава фитопланктона в условиях антропогенного воздействия (Stonik, Orlova, 2002; Бегун, 2004). Исследования фитопланктона прибрежных вод о-ва Русский и б. Парис в том числе были начаты в 2000-х годах после принятия решения о строительстве Приморского океанариума (Пономарева, 2017). В публикации О.Г. Шевченко с соавторами (Shevchenko et al., 2019) по данным за 2008–2009 и 2012–2015 гг. представлен аннотированный список микроводорослей прибрежных вод о-ва Русский, насчитывающий 254 таксона, приведены описания редких для морей России видов диатомовых водорослей рода *Skeletonema*. Позже по результатам электронно-микроскопических исследований список флоры был дополнен новыми таксонами (Shevchenko et al., 2022; Шульгина, 2023).

Цель настоящей работы – оценить роль диатомовых водорослей в фитопланктоне б. Парис по качественным и количественным показателям.

В основу работы легли батометрические планктонные пробы, собранные с января по декабрь 2019 г. на мониторинговой станции в б. Парис, о-в Русский. Пробы фитопланктона отбирали два раза в месяц 5-литровым батометром Нискина с горизонта 0,5 м. Видовую идентификацию фитопланктона проводили с помощью светового микроскопа Carl Zeiss Scope A1. Тонкую структуру панциря отдельных видов изучали с применением электронных микроскопов – сканирующего Carl Zeiss Sigma 300 и трансмиссионного Carl Zeiss Libra 120.

Анализ количественных данных показал, что на акватории численность диатомовых водорослей варьировала от 526 кл./л до 4,6 млн кл./л, биомасса – от 1,3 мг/м³ до 8,1 г/м³. В годовой динамике отмечали 4 пика развития диатомей – два осенних, зимний и летний. Осенние вспышки численности регистрировали в сентябре (3,1 млн кл./л) в период вегетации рода *Cyclotella* – *C. atomus* var. *gracilis* и *C. choctawhatcheeana* (71,8% от общей численности фитопланктона) и в ноябре (922,7 тыс. кл./л), когда в планктоне преобладали *Skeletonema japonicum* (78,1%). Зимний пик (1,2 млн кл./л) был обусловлен развитием *Thalassiosira nordenskioeldii* (95,6%), летний (4,6 млн кл./л) – *Skeletonema dohrnii* (91,6%). Основу биомассы в декабре (8,1 г/м³) составлял *T. nordenskioeldii* (92,6% от общей биомассы микроводорослей). Летом полноценный вклад в общее значение биомассы (6,0 г/м³) вносил *S. dohrnii* (59,9%). Сентябрьское увеличение биомассы (3,3 г/м³) совпадало с «цветением» воды, обусловленным развитием видов рода *Cyclotella* (63,8%). Октябрьский пик (2,8 г/м³) формировали диатомовые водоросли *S. japonicum* (62,4%).

Аномальные погодные условия в сентябре 2019 г. в совокупности с прохождением тропического циклона «Корсак» вызвали снижение температуры и солености поверхностных вод в б. Парис, способствуя увеличению количественных показателей представителей рода *Cyclotella*. При этом, пресноводный *C. atomus* var. *gracilis* в комплексе с типично морским видом *C. choctawhatcheeana* впервые отмечен среди видов, вызывающих «цветение» воды.

Среди диатомового планктона в районе исследования обнаружены виды потенциально токсичного фитопланктона рода *Pseudo-nitzschia* – *P. delicatissima*, *P. pungens*, *P. calliantha* и *P. seriata*. Клетки *P. delicatissima* присутствовали в планктоне во все сезоны, с наиболее высокой численностью в сентябре (173,5 тыс. кл./л). Количественные параметры остальных представителей рода были ниже. Присутствие в планктоне *P. calliantha* и *P. seriata* отмечали в сентябре при численности видов 28,0 тыс. кл./л, *P. pungens* – в отдельные сезоны с наибольшими показателями в ноябре (12,0 тыс. кл./л.). Известно, что в Европейских странах при численности *P. delicatissima* и *P. seriata* свыше 200 тыс. кл./л на марикультурных хозяйствах вводится запрет на вылов гидробионтов (Anderson et al., 2001). По литературным данным природные популяции рода *Pseudo-nitzschia* в северо-западной части Японского моря содержат низкий уровень домоевой кислоты, не представляющий существенной угрозы для человека и биоты морских вод (Stonik et al., 2011; Orlova, 2014). Наши исследования показали, что в б. Парис численность видов рода *Pseudo-nitzschia* не превышала предельно допустимых концентраций по Европейским стандартам (Anderson et al., 2001).

Исследования, проведенные на мониторинговой станции в б. Парис, показало значительную роль диатомового планктона во все сезоны. Пики развития микроводорослей были вызваны исключительно диатомеями. Особенностью осеннего периода являлось доминирование в планктоне представителей рода *Cyclotella* при сильном распреснении поверхностных вод (19%). Представители пресноводной флоры эпизодически могут развиваться в значительных количествах в морских прибрежных водах, особенно под влиянием опресняющего фактора (интенсивные осадки, влияние

плоскостного смыва и опресняющего воздействия рек) (Николаев, 1977; Макаревич, 2004). Обнаружение потенциально токсичных микроводорослей, особенно в районе содержания морских млекопитающих в садках на открытой воде, обуславливает важность и необходимость проведения круглогодичных мониторинговых исследований для дальнейшего сравнения полученных данных и последующей оценки состояния микроводорослей прибрежных вод б. Парис и прилегающих акваторий в районе Приморского океанариума.

Исследования проведены на площадке ЦКП «Приморский океанариум», ННЦМБ ДВО РАН (Владивосток).

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов, требующего раскрытия в данной статье.

Список литературы

1. Бегун А.А. Фитопланктон бухты Золотой Рог и Уссурийского залива (Японское море) в условиях антропогенного загрязнения // Известия ТИНРО. 2004. Т.138. С. 320–344.
2. Израэль Ю.А., Цыбань А.В. Обзор экологического состояния морей СССР и отдельных районов Мирового океана за 1989 г. – Л.: Гидрометеиздат, 1990. – 173 с.
3. Киселев И.А. Сезонные изменения фитопланктона в бухте Патрокл Японского моря // Бюллетень Тихоокеанского комитета АН СССР. 1934. №3. С. 45–48.
4. Макаревич П.Р. Структура и функционирование планктонных альгоценозов эстуарных экосистем шельфовых морей: дис...док. биол. наук. – Мурманск, 2004. – 48 с.
5. Николаев И.И. Жизнь растений. Том 3. Водоросли. Лишайники – М.: Просвещение, 1977. – 487 с.
6. Пономарева А.А. Структура и динамика фитопланктона в бухте Парис (залив Петра Великого, Японское море): дис...канд. биол. наук. – Владивосток, 2017. – 171 с.
7. Шульгина М.А. Видовой состав, сезонная и многолетняя динамика количественных параметров диатомовых водорослей рода *Thalassiosira* в заливе Петра Великого, Японское море: автореф. дисс. ... канд. биол. наук. – Владивосток, 2023. – 22 с.
8. Andersen D.M., Andersen P., Bricelj V.M., Cullen J.J., Rensel J.J. Monitoring and management strategies for harmful algal blooms in coastal waters. – Paris, France: Unesco, 2001. – 268 p.
9. Orlova T.Yu. Diversity of potentially toxic microalgae on the east coast of Russia // S. Sun, A.V. Adrianov, K.A. Lutaenko, X. Sun (Eds.). Marine Biodiversity and Ecosystem Dynamics of the North-Western Pacific Ocean. – Beijing: Science Press, 2014. – P. 77–91.
10. Shevchenko O.G., Ponomareva A.A., Shulgina M.A., Orlova T.Yu. Phytoplankton in the Coastal Waters of Russky Island, Peter the Great Bay, Sea of Japan // Botanica Pacifica. 2019. V.8, №1. P. 133–141. DOI: <https://doi.org/10.17581/bp.2019.08112>
11. Shevchenko O.G., Ponomareva A.A., Shulgina M.A., Tevs K.O., Orlova T.Yu. *Skeletonema* species (Bacillariophyta) from the northwestern Sea of Japan: morphology, ecology, seasonal and long-term dynamics // Botanica Marina. 2022. V.65, №3. P. 159–175. DOI: <https://doi.org/10.1515/bot-2021-0102>
12. Skvortzow B.W. Plankton diatoms from Vladivostok Bay // The Philippin Journal of Science. 1931. V.46, №1. P. 77–83.
13. Stonik I.V., Orlova T.Yu. Phytoplankton of the coastal waters off Vladivostok (the North-western part of the East Sea) under Eutrophic Conditions // Ocean and Polar Research. 2002. V.24, №4. P. 359–365.
14. Stonik I.V., Orlova T.Yu., Chikalovets I.V., Chernikov O.V., Litvinova N.G. Diatoms from the northwestern Sea of Japan as producers of domoic acid // Abstracts of 9th IST Asia Pacific meeting on animal, plant and microbial toxins, International Society on Toxicology (IST) (Vladivostok, 4–8 Sep. 2011). – Vladivostok, 2011. – P. 41.

Статья поступила в редакцию 18.06.2025; поступила после доработки 19.08.2025; принята к публикации 28.08.2025

Сведения об авторах

Тевс Кирилл Олегович – м.н.с., Научно-образовательный комплекс «Приморский океанариум» – филиал ННЦМБ им. А.В. Жирмунского ДВО РАН, Россия, Владивосток (“Primorsky Aquarium”, National

Scientific Center of Marine Biology, Far Eastern Branch, RAS, Russia, Vladivostok); tevs.kirill.95@yandex.ru; ORCID – <https://orcid.org/0000-0001-8893-1720>; SPIN-код 8147-0763.

Шевченко Ольга Геннадьевна – к.б.н., с.н.с., Национальный научный центр морской биологии им. А.В. Жирмунского ДВО РАН, Владивосток, Россия (Zhirmunsky National Scientific Center of Marine Biology, Far Eastern Branch, RAS, Russia, Vladivostok), Лаборатория морской микробиоты; доцент, Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет, Владивосток, Россия (Far Eastern State Technical Fisheries University, Russia, Vladivostok); 713553@mail.ru; ORCID – <https://orcid.org/0000-0003-2394-8673>; SPIN-код 8461-4303.

Корреспондентский адрес: Россия, 690041, Владивосток, ул. Пальчевского, д. 17 ННЦМБ ДВО РАН, тел. (423) 231-09-05.

The role of diatoms algae in phytoplankton of coastal waters of the eastern part of Russky Island

Kirill O. Tevs¹, Olga G. Shevchenko^{2,3}

¹“Primorsky Aquarium”, National Scientific Center of Marine Biology, Far Eastern Branch, RAS (Russia, Vladivostok)

²Zhirmunsky National Scientific Center of Marine Biology, Far Eastern Branch, RAS (Russia, Vladivostok)

³Far Eastern State Technical Fisheries University (Russia, Vladivostok)

The article provides data on seasonal changes in species composition and abundance of diatoms in the coastal waters of Paris Bay off the eastern part of Russky Island, the largest island in Peter the Great Bay. Algal blooms recorded during the study period were predominantly composed of the diatoms *Skeletonema dohrnii*, *Skeletonema japonicum*, *Thalassiosira nordenskioeldii* and some *Cyclotella* spp. that accounted for up to 95.6% of the total phytoplankton abundance. Several potentially toxic species of *Pseudo-nitzschia* previously reported from the study area were found year-round in low cell concentrations.

Key words: phytoplankton; diatoms; seasonal dynamics; Russky Island; Sea of Japan

References

1. Anderson D.M., Andersen P., Bricelj V.M., Cullen J.J., Rensel J.J. Monitoring and management strategies for harmful algal blooms in coastal waters. Unesco, Paris, France, 2001. 268 p.
2. Begun A.A. Phytoplankton of the Golden Horn Bay and the Ussuriysky Bay (Sea of Japan) in conditions of anthropogenic pollution. *News from TINRO*. 2004. V.138. P. 320–344. (In Russ.)
3. Izrael Yu.A., Tsyban A.V. Review of the ecological state of the seas of the USSR and certain areas of the World Ocean in 1989. *Gidrometeoizdat*, Leningrad, 1990. 173 p. (In Russ.)
4. Kiselev I.A. Seasonal changes in phytoplankton in the Patroclus Bay of the Sea of Japan. *Bulletin of the Pacific Committee of the USSR Academy of Sciences*. 1934. №3. P. 45–48. (In Russ.)
5. Makarevich P.R. The structure and functioning of planktonic algocenoses of estuarine ecosystems of shelf seas: dissertation...doc. biol. sciences. – Murmansk, 2004. – 48 p. (In Russ.)
6. Nikolaev I.I. Plant life. Volume 3. Algae. Lichens– Moscow: Prosveshchenie Publ., 1977, 487 p. (In Russ.)
7. Orlova T.Yu. Diversity of potentially toxic microalgae on the east coast of Russia. In: S. Sun, A.V. Adrianov, K.A. Lutaenko, X. Sun (Eds.). *Marine Biodiversity and Ecosystem Dynamics of the North-Western Pacific Ocean*. Science Press, Beijing, 2014. P. 77–91.
8. Ponomareva A.A. Phytoplankton structure and dynamics in Paris Bay (Peter the Great Bay, Sea of Japan): PhD Thesis. Vladivostok, 2017. 171 p. (In Russ.)
9. Shevchenko O.G., Ponomareva A.A., Shulgina M.A., Orlova T.Yu. Phytoplankton in the Coastal Waters of Russky Island, Peter the Great Bay, Sea of Japan. *Botanica Pacifica*. 2019. V.8, №1. P. 133–141. DOI: <https://doi.org/10.17581/bp.2019.08112>

10. Shevchenko O.G., Ponomareva A.A., Shulgina M.A., Tevs K.O., Orlova T.Yu. *Skeletonema* species (Bacillariophyta) from the northwestern Sea of Japan: morphology, ecology, seasonal and long-term dynamics. *Botanica Marina*. 2022. V.65, №3. P. 159–175. DOI: <https://doi.org/10.1515/bot-2021-0102>
11. Shulgina M.A. Species composition, seasonal and long-term dynamics of quantitative parameters of diatoms of the genus *Thalassiosira* in Peter the Great Bay, Sea of Japan: abstract. diss. PhD Dissertation abstract. Vladivostok, 2023. 22 p. (In Russ.)
12. Skvortzow B.W. Plankton diatoms from Vladivostok Bay. *The Philippin Journal of Science*. 1931. V.46, №1. P. 77–83.
13. Stonik I.V., Orlova T.Yu. Phytoplankton of the coastal waters off Vladivostok (the North-western part of the East Sea) under Eutrophic Conditions. *Ocean and Polar Research*. 2002. V.24, №4. P. 359–365.
14. Stonik I.V., Orlova T.Yu., Chikalovets I.V., Chernikov O.V., Litvinova N.G. Diatoms from the northwestern Sea of Japan as producers of domoic acid. Abstracts of 9th IST Asia Pacific meeting on animal, plant and microbial toxins, International Society on Toxicology (IST) (Vladivostok, 4–8 Sep. 2011). Vladivostok, 2011. P. 41.

ССЫЛКА НА СТАТЬЮ:

Тевс К.О., Шевченко О.Г. Роль диатомовых водорослей в фитопланктоне прибрежных вод восточной части о-ва Русский // Вопросы современной альгологии. 2025. № 1 (37). P. 224–228. URL: <http://algology.ru/2194>

Tevs K.O., Shevchenko O.G. The role of diatoms algae in phytoplankton of coastal waters of the eastern part of Russky Island. *Voprosy sovremennoi algologii (Issues of modern algology)*. 2025. № 1 (37). P. 224–228. URL: <http://algology.ru/2194>

DOI – [https://doi.org/10.33624/2311-0147-2025-1\(37\)-224-228](https://doi.org/10.33624/2311-0147-2025-1(37)-224-228); EDN – VYGNDE

Секция 5.

Биостратиграфия и палеореконструкции

Состав диатомовых ассоциаций голоценовых отложений северо-западной части Баренцева моря в связи с историей его развития

Diatom assemblages in Holocene sediments of the Barents Sea northwestern part and its environmental history

Агафонова Е.А., Новичкова Е.А., Кравчишина М.Д.

Elizaveta A. Agafonova, Ekaterina A. Novichkova, Marina D. Kravchishina

Институт океанологии имени П.П. Ширинова РАН – ИО РАН (Москва, Россия)

Исследован состав диатомовых ассоциаций голоценовых отложений высокоширотного дрефта Квейтола в северо-западной части Баренцева моря. На основе данных диатомового анализа отложений и радиоуглеродного датирования удалось установить основные палеогеографические события исследуемого района и реконструировать температуру поверхностных вод в голоцене.

Ключевые слова: диатомеи; донные осадки; голоцен; палеогеографические реконструкции

Западная периферия Баренцева моря в течение последнего ледникового периода была подвержена присутствию сплошного покровного оледенения, что привело к формированию ледниково-эрозионных трогов и накапливающихся в них дрефтов (Svendsen et al., 2004; Rebesco et al., 2016). Дрифтовые отложения характеризуются практически полным отсутствием хиатусов и относительно высокими скоростями накопления, и поэтому, представляют собой прекрасные источники палеоэкологической информации (Rebesco et al., 2016).

Колонка АМК-6179, полученная в центральной части высокоширотного дрефта Квейтола (74° 50,687' N, 17° 38,245' E, глубина – 296 м) в северо-западной части Баренцева моря в ходе 75-го рейса научно-исследовательского судна «Академик Мстислав Келдыш» в 2019 г. (Клювиткин и др., 2020) вскрывает оливково-серые и серо-коричневые алевро-пелитовые илы мощностью 705 см, возраст которых не превышает по данным радиоуглеродного датирования с учетом данных магнитостратиграфии 9 тыс.кал.л.

Концентрации диатомовых водорослей существенно изменяются по колонке от 2,5 тыс. ств./г до 1031,8 тыс. ств./г. В интервалах глубин 25–240, 261–340, 381–420, 481–530, 531–550 и 551–570 см диатомовых водорослей обнаружено не было. Состав диатомовых водорослей исследован в 71 образце с интервалом опробования 10 см и представлен 85 таксонами: 70 – морских, 10 – солоноватоводно-морских, 6 – пресноводных. Среди морских видов были выделены следующие группы: ледово-морские виды, типичные для биоценозов морских льдов Арктики (Мельников, 1989; Horner, 1989; Poulin, 1990; Полякова, 1997; von Quillfeldt, 1997; Полякова и др., 2017),

ледово-неритические, планктонные виды, предпочитающие условия холодного морского бассейна у кромки морских льдов (Мельников, 1989; Horner, 1989; von Quillfeldt, 1997; и др.), относительно холодноводные и относительно тепловодные виды, а также морские сублиторальные виды.

В нижней части колонки на глубине 570–701 см концентрации диатомовых водорослей в целом увеличивается сверху вниз практически в три раза с 914,7 тыс. ств./г до 309,6 тыс. ств./г. Рост концентраций не равномерный, выделяется два относительных минимума на глубинах 610 и 670 см, где концентрации диатомовых водорослей составляют 255,6 и 307,1 тыс. ств./г соответственно. В составе ассоциаций диатомовых водорослей практически по всей длине этой части колонки преобладают (до 70,3%) разнообразные сублиторальные морские виды: *Grammatophora serpentina*, *Navicula distans*, *Paralia sulcata*, *Cocconeis californica*, *C. costata* и др. Широко представлены ледово-морские, ледово-неритические и относительно холодноводные виды, суммарные содержания которых изменяются от 7,9 до 87,3%. Максимальных значений число ледово-морских (11,5%) и ледово-неритических (66,7%) видов достигает на глубине 590 см и совпадает с относительным минимумом тепловодных видов (9,2%). Доля относительно тепловодных видов, таких как *Coscinodiscus radiatus*, *C. divisus*, *Thalassionema nitzschioides* и др. изменяется от 8,9 до 28% на глубинах 670 и 620 см соответственно. Содержания в отложениях пресноводных видов не превышает 5%.

Выше по колонке до глубины 480 см, диатомеи в достаточном для статистической обработки количестве были обнаружены лишь в двух образцах – 530 и 550 см (6,5 и 6,7 тыс. кал.л.н. соответственно), где их концентрации составили 61,2 и 82,6 тыс. ств./г. Состав диатомовых ассоциаций представлен преимущественно сублиторальными и относительно тепловодными видами.

Следующий интервал отложений, содержащий диатомовые водоросли – промежуток глубин 420–481 см (5,0–5,8 тыс. кал.л.н.). Концентрации диатомей в отложениях сначала растут с 271,4 до 1031,8 тыс. ств./г в нижних 10 см, затем постепенно снижаются до 851,6 тыс. ств./г и резко опускаются до 2,5 тыс. ств./г в верхней части толщи. Значимым отличием от состава вышеописанных ассоциаций диатомовых водорослей является существенное снижение числа относительно тепловодных видов диатомовых водорослей до 7,7–15,7% и увеличение доли ледово-морских, ледово-неритических и относительно холодноводных видов.

Затем включающие диатомеи отложения появляются на глубинах 340–380 см и 240–260 см. Если в первом интервале глубин концентрации диатомовых водорослей последовательно увеличиваются снизу вверх практически в 10 раз, с 3,9 до 38,0 тыс. ств./г, то во втором наблюдается обратная ситуация, концентрации снижаются снизу вверх со 721,2 до 5,9 тыс. ств./г. Состав диатомовых ассоциаций горизонта 340–380 см характеризуется значительно меньшим числом сублиторальных видов (74,3–45,4%) и увеличение доли относительно холодноводных видов до 41,3% по сравнению с нижележащей толщей. На глубинах 240–260 см снова начинают доминировать морские сублиторальные виды.

В верхней части колонки диатомовые водоросли обнаружены до глубины 20 см, при этом данные отложения скорее всего переотложены из-за процессов современного сноса материала со склонов трога. Концентрации диатомовых водорослей уменьшаются вниз по разрезу с 603,3 до 35,9 тыс. ств./г. До 90% состава ассоциаций диатомовых водорослей представлены сублиторальными видами.

Реконструированные на основе данных диатомового анализа температуры поверхностных вод августа (SSTa) в интервале времени 7,0–8,9 тыс. кал.л.н. в целом возрастали от 1,8 до 3,9°C, при этом удалось выделить холодное событие 8,2 тыс. кал.л.н. (Sarnthein et al., 2003), когда температуры опускались до 2,4°C, а также снижение температур поверхностных вод около 7,0 тыс. кал.л.н. до 2,6 °C. В интервале 7,5–8,1 тыс. кал.л.н. (600–630 см) отмечен рост SSTa, вероятно связанный с увеличением

интенсивности проникновения вод атлантического происхождения, которое также подтверждается значительным ростом доли в составе диатомовых водорослей относительно тепловодных видов. Порядка 6,5 и 6,7 тыс.кал.л.н. значения SSTa составляли 3,5 и 3,6°C соответственно. Реконструированные значения SSTa 5,0-5,8 тыс.кал.л.н. несколько ниже ранее описанных и не превышают 3,0°C. Во второй половине среднего голоцена, 4,4-5,0 тыс.кал.л.н. (420 и 370-380 см) реконструированы наиболее низкие значения SSTa – 0,8–1,8°C, вероятно связанные с установленной миграцией полярного фронта на юг (Voronina et al., 2001), что также подтверждается относительно высокими содержаниями ледово-неритических видов.

Отсутствие диатомовых водорослей в ряде интервалов колонки, по-видимому, связано с изменением интенсивности придонных течений и как следствие перераспределением тонкозернистых частиц по элементам рельефа дна и растворением отдельных створок.

Работа выполнена за счет гранта Российского научного фонда № 24-77-00025, <https://rscf.ru/project/24-77-00025/>, при дополнительной поддержке в рамках государственного задания Минобрнауки России для ИО РАН (тема № FMWE-2024-0020, экспедиционные исследования и отбор проб).

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов, требующего раскрытия в данной статье.

Список литературы

1. Клювиткин А.А., Кравчишина М.Д., Немировская И.А., Баранов Б.В., Коченкова А.И., Лисицын А.П. Исследование седиментосистем европейской Арктики в 75-м рейсе научно-исследовательского судна «Академик Мстислав Келдыш» // *Океанология*. 2020. Т. 60, №3. С. 485–487.
2. Мельников И.А. Экосистема арктического морского льда. – М.: Изд-во АН СССР, 1989. 191 с
3. Полякова Е.И. Арктические моря Евразии в позднем кайнозое. – М.: Научный мир, 1997. – 145 с.
4. Полякова Е.И., Новичкова Е.А., Клювиткина Т.С. Диатомеи и палиноморфы в поверхностных осадках арктических морей и их значение для палеоокеанологических исследований в высоких широтах // Лисицын А.П. (ред.). Система Белого моря. Т. 4. – М.: Научный мир, 2017. – С. 792–851.
5. Horner R. Arctic sea-ice biota // Herman Y. (Ed.). The Arctic Seas. Climatology, Oceanography. Geology, and Biology. New York. Van Nostrand Reinhold Company, 1989. – P. 123–146;
6. Poulin M. Ice Diatoms: the Arctic // Medlin L. and Priddle J. (Eds.). Polar Marine Diatoms. – Cambridge: British Antarctic Survey, Natural Environment Res, 1990. – P. 15–18.
7. Rebesco M., Özmaral A., Urgeles R., Accettella D., Lucchi R., Rütther D., Winsborrow M., Llopart J., Caburlotto A., Lantzsch H., Hanebuth T.J. Evolution of a high-latitude sediment drift inside a glacially-carved trough based on high-resolution seismic stratigraphy (Kveithola, NW Barents Sea) // *Quaternary Science Reviews*. 2016. V.147. P. 178–193
8. Sarthein M., Pflaumann U., Weinelt M. Past extent of sea ice in the northern North Atlantic inferred from foraminiferal paleotemperature estimates // *Paleoceanography*. 2003. V.18. P. 25–31.
9. Svendsen J.I., Henriksen M., Mangerud J., Alexanderson H., Astakhov V.I., Demidov I., Dowdeswell J.A., Funder S., Gataullin V., Polyak L., Hjort C., Kjær K.H., Möller P., Houmark-Nielsen M., Hubberten H.W., Siegert C., Ingólfsson O., Jakobsson M., Larsen E., Lyså A., Lokrantz H., Lunkka J.P., Matiouchkov A., Murray A., Niessen F., Stein R., Nikolskaya O., Saarnisto M., Siegert M.J., Spielhagen R.F. Late Quaternary ice sheet history of Northern Eurasia // *Quaternary Science Reviews*. 2004. V. 23. P. 1229–1271.
10. von Quillfeldt C.H. Distribution of diatoms in the Northern Water Polynya, Greenland // *J. Mar. Systems*. 1997. V. 10. P. 211–240.
11. Voronina E., Polyak L., de Vernal A., Peyron O. Holocene variations of seasurface conditions in the southeastern Barents Sea reconstructed from dinoflagellate cyst assemblages // *J. Quat. Sci*. 2001. V.16. P. 717–726.

Статья поступила в редакцию 18.06.2025; поступила после доработки 19.08.2025; принята к публикации 28.08.2025

Сведения об авторах

Агафонова Елизавета Андреевна – к.г.н., с.н.с., Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН – ИО РАН, Россия, Москва (Shirshov Institute of Oceanology RAS, Russia, Moscow), Лаборатория физико-геологических исследований им. А.П. Лисицына; agafonovaelizaveta@mail.ru; ORCID – <https://orcid.org/0000-0001-5451-9586>.

Новичкова Екатерина Александровна – к.г.-м.н., в.н.с., Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН – ИО РАН, Россия, Москва (Shirshov Institute of Oceanology RAS, Russia, Moscow), Лаборатория физико-геологических исследований им. А.П. Лисицына; enovichkova@ocean.ru; ORCID – <https://orcid.org/0000-0001-5687-1719>.

Кравчишина Марина Даниловна – к.г.-м.н., в.н.с., Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН – ИО РАН, Россия, Москва (Shirshov Institute of Oceanology RAS, Russia, Moscow), Лаборатория физико-геологических исследований им. А.П. Лисицына; kravchishina@ocean.ru; ORCID – <https://orcid.org/0000-0001-9967-2891>.

Корреспондентский адрес: Россия, 117997, Москва, Нахимовский проспект, д. 36, ИОРАН, тел. (499) 124-77-37.

Diatom assemblages in Holocene sediments of the Barents Sea northwestern part and its environmental history

Elizaveta A. Agafonova, Ekaterina A. Novichkova, Marina D. Kravchishina

Shirshov Institute of Oceanology RAS (Russia, Moscow)

This paper presents the results of diatom analysis of Holocene sediments from the the northwestern Barents Sea (high-latitude Kveithola Drift). Main Holocene paleogeographic events of the study area were established by diatom analysis and radiocarbon dating data, we also reconstructed the august sea surface temperatures in the Holocene.

Key words: diatoms; sediments; Holocene; paleogeographic reconstructions

References

1. Horner R. Arctic sea-ice biota. In: Herman Y. (Ed.). The Arctic Seas. Climatology, Oceanography. Geology, and Biology. Van Nostrand Reinhold Company, New York, 1989. P. 123–146.
2. Klyuvitkin A.A., Kravchishina M.D., Nemirovskaya I.A., Baranov B.V., Kochenkova A.I., Lisitzin A.P. Studies of Sediment Systems of the European Arctic during Cruise 75 of the R/V Akademik Mstislav Keldysh // Oceanology. 2020. T. 60. № 3. С. 421–423. DOI: <https://doi.org/10.1134/S0001437020030030>
3. Melnikov I.A. Ecosystem of the Arctic Sea ice. Academy of Sciences of the USSR, Moscow, 1989. 191 p. (In Russ.)
4. Polyakova Ye.I. The Eurasian Arctic Seas During the Late Cenozoic. Scientific World, Moscow, 1997. 145 p. (In Russ.)
5. Polyakova E.I., Novichkova E.A., Klyuvitkina T.S. Diatoms and palynomorphs in surface sediments of the Arctic seas and their significance for paleoceanological research in high latitudes. In: Lisitsyn A.P. (Ed.). The system of the White Sea. V.4. Scientific world, Moscow, 2017. P. 792–851. (In Russ.)
6. Poulin M. Ice Diatoms: the Arctic. Medlin L. and Priddle J. (ed.). Polar Marine Diatoms. British Antarctic Survey, Natural Environment Res, Cambridge, 1990. P. 15–18.
7. Rebesco M., Özmaral A., Urgeles R., Accettella D., Lucchi R., Rütther D., Winsborrow M., Llopart J., Caburlotto A., Lantzsch H., Hanebuth T.J. Evolution of a high-latitude sediment drift inside a glacially-carved trough based on high-resolution seismic stratigraphy (Kveithola, NW Barents Sea). *Quaternary Science Reviews*. 2016. V.147. P. 178– 193
8. Sarthein, M., Pflaumann, U., Weinelt, M. Past extent of sea ice in the northern North Atlantic inferred from foraminiferal paleotemperature estimates. *Paleoceanography*. 2003. V.18. P. 25–1.
9. Svendsen J.I., Henriksen M., Mangerud J., Alexanderson H., Astakhov V.I., Demidov I., Dowdeswell J.A., Funder S., Gataullin V., Polyak L., Hjort C., Kjær K.H., Möller P., Houmark-Nielsen M., Hubberten H.W.,

Siegert C., Ingólfsson O., Jakobsson M., Larsen E., Lyså A., Lokrantz H., Lunkka J.P., Matiouchkov A., Murray A., Niessen F., Stein R., Nikolskaya O., Saarnisto M., Siegert M.J., Spielhagen R.F. Late Quaternary ice sheet history of Northern Eurasia. *Quaternary Science Reviews*. 2004. V.23. P. 1229–1271.

10. von Quillfeldt C.H. Distribution of diatoms in the Northern Water Polynya, Greenland. *J. Mar. Systems*. 1997. V.10. P. 211–240.

11. Voronina E., Polyak L., de Vernal A., Peyron O. Holocene variations of seasurface conditions in the southeastern Barents Sea reconstructed from dinoflagellate cyst assemblages. *J. Quat. Sci.* 2001. V.16. P. 717–726.

ССЫЛКА НА СТАТЬЮ:

Агафонова Е.А., Новичкова Е.А., Кравчишина М.Д. Состав диатомовых ассоциаций голоценовых отложений северо-западной части Баренцева моря в связи с историей его развития // Вопросы современной альгологии. 2025. № 1 (37). P. 229–233. URL: <http://algology.ru/2197>

Agafonova E.A., Novichkova E.A., Kravchishina M.D. Diatom assemblages in Holocene sediments of the Barents Sea northwestern part and its environmental history. *Voprosy sovremennoi algologii (Issues of modern algology)*. 2025. № 1 (37). P. 229–233. URL: <http://algology.ru/2197>

DOI – [https://doi.org/10.33624/2311-0147-2025-1\(37\)-229-233](https://doi.org/10.33624/2311-0147-2025-1(37)-229-233); EDN – JUABUS

Эллиптические пресноводные диатомовые водоросли семейства Aulacoseiraceae Crawford в раннем миоцене Южного Приморья

Elliptical freshwater diatoms of the Aulacoseiraceae Crawford family in the early miocene of Southern Primorye

Авраменко А.С.

Aleksandra S. Avramenko

ФНЦ Биоразнообразие наземной биоты Восточной Азии ДВО РАН (Владивосток, Россия)

Детальное изучение раннемиоценовой диатомовой флоры Южного Приморья с помощью световой и сканирующей электронной микроскопии позволило обнаружить два вида из семейства Aulacoseiraceae, имеющих эллиптическую форму, являющиеся новыми для этого региона: *Alveolophora hachiyaensis* (Tanaka) Houk, Klee et Tanaka и *Aulacoseira elliptica* Tsoy. Полученные данные позволяют расширить таксономический состав диатомовой флоры и дополнить список стратиграфически важных таксонов раннемиоценовой эпохи Южного Приморья.

Ключевые слова: диатомеи; Aulacoseiraceae; ранний миоцен; Южное Приморье

Представители центрического семейства Aulacoseiraceae играли значительную роль в формировании диатомовой пресноводной флоры в миоценовое время (23,03–5,33 млн лет назад) в Южном Приморье (Likhacheva et al., 2021). В настоящее время, в семейство входит восемь родов (Guiry, Guiry, 2025), из них в миоцене в Приморье встречались два: *Aulacoseira* Thwaites и *Alveolophora* Moisseeva et Nevretdinova. Таксоны рода *Aulacoseira* из группы «ргае» с окремнёнными створками являлись доминантами и обладали значительной внутривидовой морфологической вариабельностью (Likhacheva et al., 2021). Тогда как вымершие *Alveolophora* хотя и были представлены незначительным количеством, обладали относительно высокой скоростью видообразования (Авраменко, Черепанова, 2024). Это позволило им стать руководящими ископаемыми таксонами для биостратиграфии неогена (23,03–2,58 млн лет назад) региона. Представители этих двух родов являются важнейшими для понимания эволюции диатомовой флоры Приморья. Этапность их развития положена в основу диатомовой зональной стратиграфии неогена (Моисеева, 1995; Пушкарь и др., 2024).

Для раннемиоценового этапа Восточной Азии считаются характерными центрические диатомовые водоросли, имеющие эллиптическую форму. В Японском море в континентальных отложениях возвышенности Ямато встречены *Aulacoseira ovata*, *A. elliptica* Tsoy (Usoltseva, Tsoy, 2010), плато Уллын – *A. elliptica*, *A. iwakiensis*,

A. hachiyaensis (Tsoy, Usoltseva, 2016); в Японии – *A. iwakiensis* Tanaka (Tanaka, Naguno, 2011), *A. hachiyaensis* Tanaka (позднее переведённый в другой род – *Alveolophora hachiyaensis* (Tanaka) Houk, Klee et Tanaka (Houk et al., 2017)), для Приморья отмечается *A. ovata* Usoltseva et Tsoy (Лихачева, 2015).

Материалом для настоящего исследования послужили образцы, отобранные вблизи г. Синий Утес (Хасанский район, Юго-Западное Приморье) из туфоалевролитов нижней толщи синеутесовской свиты, любезно предоставленные автору Б.И. Павлюткиным и И.Ю. Чекрыжовым (ДВГИ ДВО РАН). Возраст свиты по палеботаническим данным – нижний миоцен (Павлюткин, Петренко, 2010), что подтверждается по U-Pb датированию цирконов – 18–25 млн лет назад (Nechaev et al., 2022). Изучение створок диатомей осуществлялось с помощью светового микроскопа (СМ) Axioskop 40 Carl Zeiss и сканирующего электронного микроскопа (СЭМ) Carl Zeiss Merlin в Центре коллективного пользования «Биотехнология и генетическая инженерия» ФНЦ Биоразнообразия ДВО РАН.

Детальные морфологические исследования с помощью сканирующей электронной микроскопии позволили установить присутствие в нижнемиоценовых отложениях синеутесовской свиты двух видов *Alveolophora hachiyaensis* и *A. elliptica* (рис. 1), ранее не отмечаемых для Приморья. Сравнительный анализ морфологических параметров синеутёсовского таксона с литературными данными весьма сходного вида *A. ovata* (Usoltseva, Tsoy, 2010) позволили установить, что в отложениях синеутесовской свиты встречается *A. elliptica*.

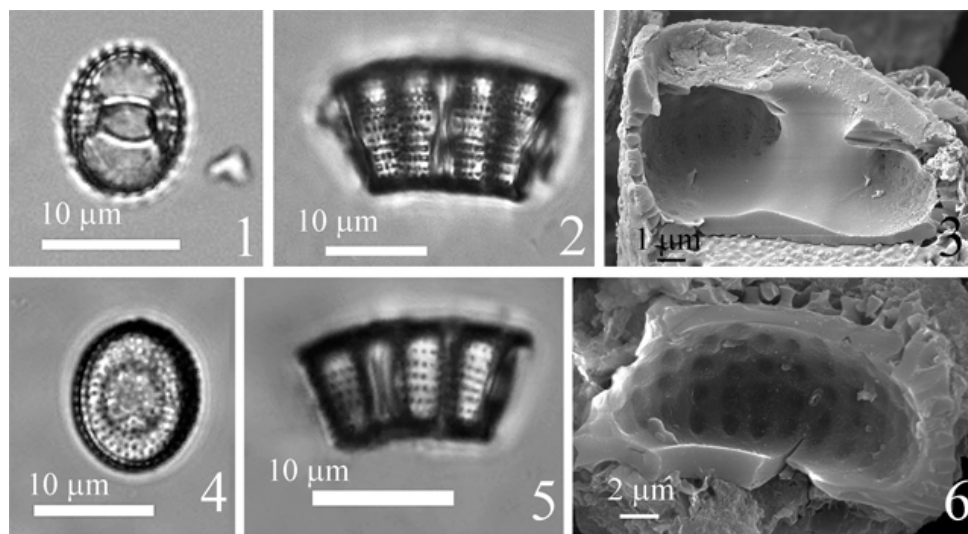


Рис. 1. Эллиптические пресноводные диатомовые водоросли семейства Aulacoseiraceae Crawford в раннем миоцене Южного Приморья: 1–3 – *Alveolophora hachiyaensis* (Tanaka) Houk, Klee et Tanaka, 4–6 – *Aulacoseira elliptica* Tsoy. 1, 2, 4, 5 – СМ; 3, 6 – СЭМ.

Fig. 1. Elliptical freshwater diatom Aulacoseiraceae Crawford in the Early Miocene from South Primorye: 1–3 – *Alveolophora hachiyaensis* (Tanaka) Houk, Klee et Tanaka, 4–6 – *Aulacoseira elliptica* Tsoy. 1, 2, 4, 5 – LM; 3, 6 – SEM.

Активное развитие овальных диатомей можно считать стратиграфическим признаком раннемиоценовых отложений, так как в более молодых отложениях на тихоокеанском побережье представителей семейства Aulacoseiraceae с овальными створками пока не обнаружено. В более молодых, среднемиоценовых отложениях овальная *Aulacoseira capitalina* Titova, Hassan, Usoltseva встречена лишь в Баргузинской впадине, расположенной в южной части Восточной Сибири (Titova et al., 2022).

Таким образом, установленные *Alveolophora hachiyaensis* и *A. elliptica* расширяют таксономический состав раннемиоценовой диатомовой флоры Южного Приморья и

дополняют характеристику соответствующего зонального диатомового комплекса, что позволит осуществлять более объективную корреляцию с одновозрастными отложениями Восточной Азии.

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема № 124012200182-1).

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

Список литературы

1. Авраменко А.С., Черепанова М.В. Виды рода *Alveolophora* (Aulacoseiraceae) в неогеновой диатомовой флоре Южного Приморья // Биота и среда природных территорий. 2023. Т.11, №3. С. 5–19. DOI: https://doi.org/10.25221/2782-1978_2023_3_1.
2. Авраменко А.С., Пушкарь В.С. Изменение климата в Южном Приморье на границе плиоцен-плейстоцена как важнейшего стратиграфического рубежа позднего кайнозоя // Вестник Северо-Восточного научного центра ДВО РАН. 2024. № 3. С. 8–18. DOI: 10.34078/1814-0998-2024-3-8-18.
3. Лихачева О.Ю. Диатомеи рода *Aulacoseira* из отложений синеутесовской свиты Приморья (нижний миоцен) // Вопросы современной альгологии. 2015. № 3 (10). URL: <http://algology.ru/821> (дата обращения: 26.05.2025)
4. Моисеева А.И. Расчленение континентальных отложений неогена Дальнего Востока по диатомеям // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 1995. Т.3, №5. С. 92–103.
5. Павлюткин Б.И., Петренко Т.И. Стратиграфия палеоген-неогеновых отложений Приморья. – Владивосток: Дальнаука, 2010. – 164 с.
6. Пушкарь В.С., Авраменко А.С., Черепанова М.В., Лихачева О.Ю. Усовершенствование зональной диатомовой шкалы неогена Приморья (Россия) // Тихоокеанская геология. 2024. Т.43, №5. С. 5–21. DOI: 10.30911/0207-4028-2024-43-5-5-21.
7. Guiry M.D., Guiry G.M. AlgaeBase. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway. 2025. <http://www.algaebase.org> (дата обращения: 26.05.2025).
8. Houk V., Klee R., Tanaka H. Atlas of freshwater centric diatoms with a brief key and descriptions. Second emended edition of Part I and II. Melosiraceae, Liparogyraceae, Paraliaceae and Aulacoseiraceae // Fottea. 2017. 17 (Supplement). P. 1–616.
9. Likhacheva O. Yu., Avramenko A.S., Usoltseva M.V., Pushkar V.S. Freshwater centric diatoms from Middle Miocene deposits of the Khanka Depression, Primorye Territory (Far East of Russia) // Botanica Pacifica. 2021. V.10, № 2. P. 3–19.
10. Nechaev V.P., Dai S., Chekryzhov I.Yu., Tarasenko I.A., Zin'kov A.V., Moore T.A. Origin of the tuff parting and associated enrichments of Zr, REY, redox-sensitive and other elements in the Early Miocene coal of the Siniy Utyes Basin, southwestern Primorye, Russia // International Journal of Coal Geology. 2022. V.250. ID 103913. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.coal.2021.103913>
11. Tanaka H., Nagumo T. *Aulacoseira iwakiensis* sp. nov., a new elliptical *Aulacoseira* species, from an Early Miocene sediment, Japan // Diatom. 2011. V.27. P. 1–8.
12. Titova L.A., Hassan A.I., Usoltseva M.V. *Aulacoseira capitalina* sp. nov. (Bacillariophyta) from the Middle Miocene sediments of the Barguzin Valley, Baikal Rift Zone (Russia) // Acta Biologica Sibirica. 2022. V.8. P. 571–582. DOI: 10.14258/abs.v8.e35
13. Tsoy I.B., Usoltseva M.V. Miocene freshwater diatoms from the eastern slope of the submarine *Ulleung plateau* (Krishtofovich Rise) in the Sea of Japan // Stratigraphy and geological correlation. 2016. V.24, №3. P. 276–293. DOI: 10.1134/S0869593816020064
14. Usoltseva M.V., Tsoy I.B. Elliptical species of the freshwater genus *Aulacoseira* in Miocene sediments from Yamato Rise (Sea of Japan) // Diatom Research. 2010. V.25, №2. P. 397–415. DOI: 10.1080/0269249X.2010.9705859
15. Wang, P., Zhao Q., Jian Z., Cheng X., Huang W., Nian J., Wang J., Li Q., Li B., Sun X. Thirty-million-year deep-sea records in the South China Sea // Chinese Science Bulletin. 2003. V.48, №23. P. 2524–2535.

Статья поступила в редакцию 18.06.2025; поступила после доработки 22.08.2025; принята к публикации 28.08.2025

Сведения об авторе

Авраменко Александра Сергеевна – к.г.-м.н., н.с., ФНЦ Биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии ДВО РАН, Россия, Владивосток (Federal Scientific Center of the East Asia Terrestrial Biodiversity, Far Eastern Branch, RAS, Russia, Vladivostok); avramenko@biosoil.ru; ORCID – <https://orcid.org/0009-0009-3837-743X>; SPIN-код 6658-4620.

Корреспондентский адрес: Россия, 690022, Владивосток, пр-т 100-летия Владивостока, д. 159, ФНЦ Биоразнообразия ДВО РАН, тел. (423) 2-310-410.

Elliptical freshwater diatoms of the Aulacoseiraceae Crawford family in the early miocene of Southern Primorye

Aleksandra S. Avramenko

FSC of the East Asia Terrestrial Biodiversity, Far Eastern Branch, RAS (Russia, Vladivostok)

Using light and scanning electron microscope observations of Early Miocene diatom flora from South Primorye has revealed two species *Alveolophora hachiyaensis* (Tanaka) Houk, Klee et Tanaka and *Aulacoseira elliptica* Tsoy (Aulacoseiraceae) with elliptical valve faces, which are new for this region. New data expand the list of stratigraphically important taxa of the Early Miocene from Southern Primorye.

Key words: Diatoms; Aulacoseiraceae; Early Miocene; South Primorye

References

1. Avramenko A.S., Cherepanova M.V. The species of *Alveolophora* (Aulacoseiraceae) in the Neogene diatom flora of Southern Primorsky Krai. *Biota and environment of natural areas*. 2023. T.11, №3. C. 5–19. DOI: https://doi.org/10.25221/2782-1978_2023_3_1 (In Russ.)
2. Avramenko A.S., Pushkar V.S. Climate Changes in Southern Primorye at the Pliocene-Pleistocene Border as the Most Important Stratigraphic Boundary of the Late Cenozoic. *Bulletin of the North-East Science Center*. 2024. № 3. C. 8–18. DOI: 10.34078/1814-0998-2024-3-8-18 (In Russ.)
3. Guiry M.D., Guiry G.M. AlgaeBase. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway. 2025. <http://www.algaebase.org> (date: 26.05.2025).
4. Houk V., Klee R., Tanaka, H. Atlas of freshwater centric diatoms with a brief key and descriptions. Second emended edition of Part I and II. Melosiraceae, Liparogyraceae, Paraliaceae and Aulacoseiraceae. *Fottea*. 2017. 17 (Supplement). P. 1–616.
5. Likhacheva O.Yu. The diatoms of the genus *Aulacoseira* from the Sineutesovskaya suite deposits (Primorye, Lower Miocene). *Issues of modern algology*. 2015. № 3 (10). URL: <http://algology.ru/821> (date: 26.05.2025)
6. Likhacheva O. Yu., Avramenko A.S., Usoltseva M.V. and Pushkar V.S. Freshwater centric diatoms from Middle Miocene deposits of the Khanka Depression, Primorye Territory (Far East of Russia). *Botanica Pacifica*. 2021. V.10, №2. P. 3–19.
7. Moiseeva A.I. Dissection of continental deposits of the Neogene of the Far East by diatoms. *Stratigraphy. Geological correlation*. 1995. V.3, №5. P. 92–103. (In Russ.)
8. Nechaev V.P., Dai S., Chekryzhov I.Yu., Tarasenko I.A., Zin'kov A.V., Moore T.A. Origin of the tuff parting and associated enrichments of Zr, REY, redox-sensitive and other elements in the Early Miocene coal of the Siniy Utyes Basin, southwestern Primorye, Russia. *International Journal of Coal Geology*. 2022. V.250. ID 103913. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.coal.2021.103913>
9. Pavlyutkin B.I., Petrenko T.I. Stratigraphy of Paleogene–Neogene sediments in Primorye. *Dalnauka, Vladivostok*, 2010. 164 p. (In Russ.)
10. Pushkar V.S., Avramenko A.S., Cherepanova M.V., Likhacheva O.Yu. Improvement to the Zonal Diatom Scale of the Neogene in Primorye (Russia). *RJ of Pacific Geology*. 2024. T.43, №5. C. 5–21. DOI: 10.30911/0207-4028-2024-43-5-5-21 (In Russ.)
11. Tanaka H., Nagumo T. *Aulacoseira iwakiensis* sp. nov., a new elliptical *Aulacoseira* species, from an Early Miocene sediment, Japan. *Diatom*. 2011. V.27. P. 1–8.
12. Titova L.A., Hassan A.I., Usoltseva M.V. *Aulacoseira capitalina* sp. nov. (Bacillariophyta) from the Middle Miocene sediments of the Barguzin Valley, Baikal Rift Zone (Russia). *Acta Biologica Sibirica*. 2022. V.8. P. 571–582. DOI: 10.14258/abs.v8.e35
13. Tsoy I.B., Usoltseva M.V. Miocene freshwater diatoms from the eastern slope of the submarine Ulleung plateau (Krishtofovich Rise) in the Sea of Japan. *Stratigraphy and geological correlation*. 2016. V.24, №3. P. 276–293. DOI: 10.1134/S0869593816020064

14. Usoltseva M.V., Tsoy I.B. Elliptical species of the freshwater genus *Aulacoseira* in Miocene sediments from Yamato Rise (Sea of Japan). *Diatom Research*. 2010. V.25, №2. P. 397–415. DOI: 10.1080/0269249X.2010.9705859
15. Wang, P., Zhao Q., Jian Z., Cheng X., Huang W., Nian J., Wang J., Li Q., Li B., Sun X. Thirty-million-year deep-sea records in the South China Sea. *Chinese Science Bulletin*. 2003. V.48, №23. P. 2524–2535.

ССЫЛКА НА СТАТЬЮ:

Авраменко А.С. Эллиптические пресноводные диатомовые водоросли семейства Aulacoseiraceae Crawford в раннем миоцене Южного Приморья // Вопросы современной альгологии. 2025. № 1 (37). P. 234–238. URL: <http://algology.ru/2199>

Avramenko A.S. Elliptical freshwater diatoms of the Aulacoseiraceae Crawford family in the early miocene of Southern Primorye. *Voprosy sovremennoi algologii (Issues of modern algology)*. 2025. № 1 (37). P. 234–238. URL: <http://algology.ru/2199>

DOI – [https://doi.org/10.33624/2311-0147-2025-1\(37\)-234-238](https://doi.org/10.33624/2311-0147-2025-1(37)-234-238); EDN – KAWUDT

Изменения окружающей среды в позднем плейстоцене-голоцене в северо-западной части Тихого океана, выявленные на основе диатомового анализа

Diatom evidence of the Northwestern Pacific environment changed during the late Pleistocene-Holocene

Артемова А.В., Цой И.Б., Обрезкова М.С.

Antonina V. Artemova, Ira B. Tsoy, Maria S. Obrezkova

*Тихоокеанский океанологический институт имени В.И. Ильичева – ТОИ ДВО РАН
(Владивосток, Россия)*

Представлены результаты детального исследования диатомовых комплексов плейстоцена и голоцена из осадков северо-западной части Тихого океана, Охотского и Берингова моря. Эколого-стратиграфическое расчленение осадков, основанное на данных микропалеонтологического и литогеохимических анализов, показало, что изменения в палеосообществах диатомей отражают изменения циркуляции водных масс и ледовитости бассейнов, и, как следствие, биопродуктивность поверхностных вод.

Ключевые слова: диатомовые водоросли; плейстоцен; голоцен; поздний дриас; бёллинг; аллерёд; средний дриас; продуктивность; палеоклимат

Диатомовые водоросли служат надежным показателем палеоокеанографической истории Тихоокеанского региона. Чтобы лучше понять характер и диапазон палеоэкологических изменений в этом регионе, нами были изучены диатомовые комплексы двух ледниково-межледниковых циклов (охватывающие последние 130 тыс. лет) Тихого океана и примыкающих к нему Берингова и Охотского морей. Комплексы одновозрастных диатомовых водорослей были использованы для оценки переменного влияния морского льда и океанических течений, а также для биопродукционных характеристик поверхностных вод, как реакции на климатические изменения.

Материалом для исследования послужили керны донных осадков, отобранные в экспедициях ТОИ ДВО РАН. Возрастная модель кернов была построена с помощью AMS датирования, записей $\delta^{18}\text{O}$, магнитной восприимчивости осадка, тефрохронологии и изменения цветковых параметров осадка (Artemova et al., 2017; Gorbarenko et al., 2024, 2025). Для верификации результатов диатомового анализа были использованы данные изотопно-геохимических и литолого-геохимических исследований.

Были исследованы 8 кернов из Охотского, Берингова морей и северо-западной части Тихого океана (СЗТО), в которых был определен таксономический состав диатомей. Для отображения палеоклиматических тенденций, диатомовые водоросли были объединены в экологические группы, что позволило восстановить: время усиленного поступления питательных веществ в фотическую зону, закономерности развития диатомовых водорослей, сукцессию видов во времени для каждого водоема (рис. 1).

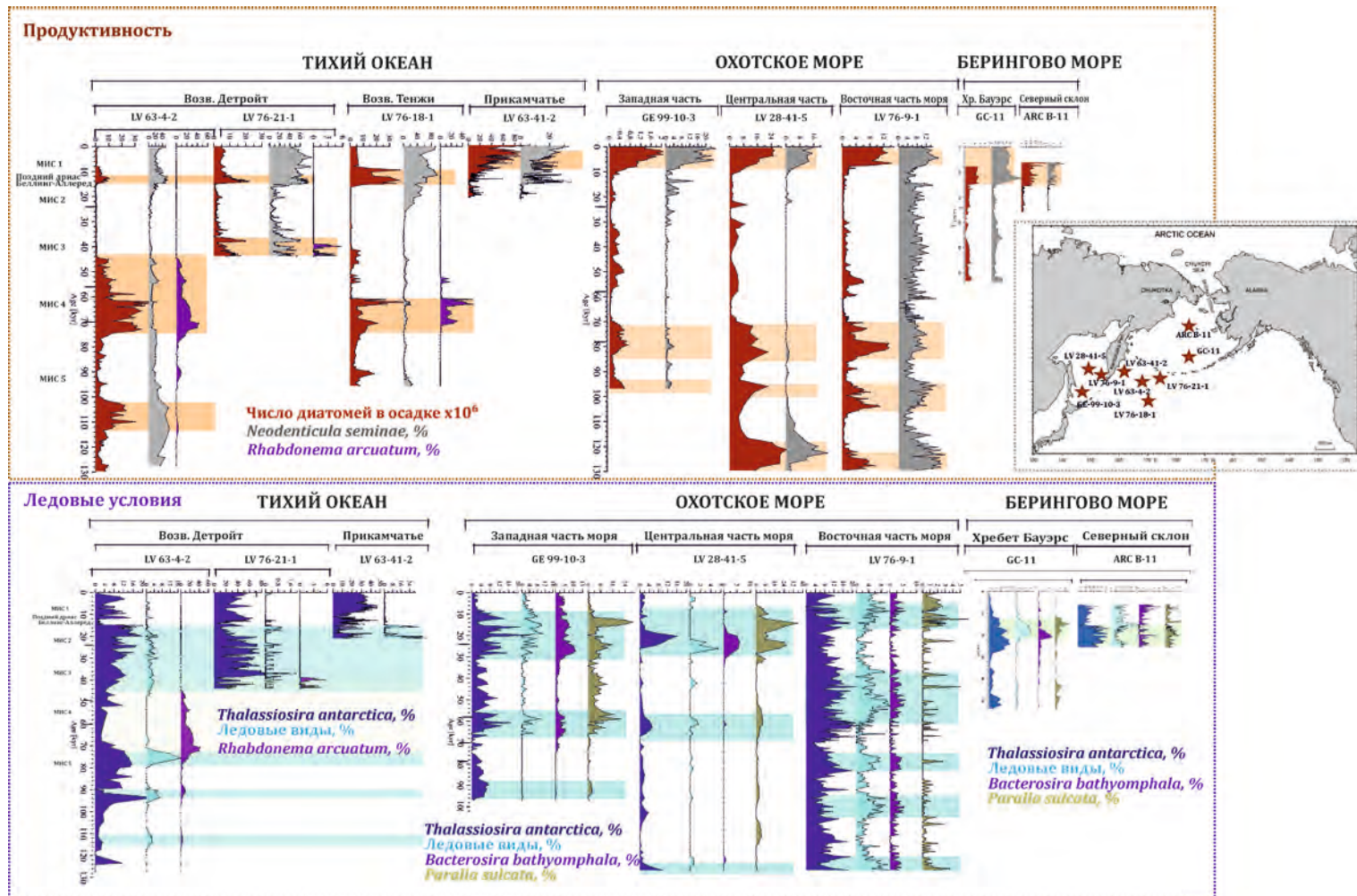


Рис. 1. Изменения окружающей среды в северо-западной части Тихого океана за последние 130 тыс. лет по данным диатомового анализа. Розовым цветом выделены периоды высокой продуктивности диатомей. Голубым цветом выделены периоды высокой ледовитости.

Fig. 1. Diatom evidence of the Northwestern Pacific environment changed during the last 130 kyr. Periods of high diatom productivity are highlighted in pink. Periods of high ice cover are highlighted in light blue.

Сопоставление диатомовых комплексов и продуктивности диатомовых водорослей в СЗТО, Охотском и Беринговом морях позволило выделить периоды смены гидробиологических условий, таких как: увеличение продолжительности ледовитости, периоды таяния льда и распреснение поверхностного слоя воды, изменение океанологической циркуляции, ведущей к увеличению или снижению поставок питательных веществ. Были выделены периоды поступления большого объема льда, связанного с дрейфом айсбергов (вероятней всего сходящих с ледников Камчатки).

Во время плейстоценового потепления (морская изотопная стадия (МИС) 5.5) рост продуктивности диатомей наступил в Охотском море чуть раньше, чем в других районах. В голоцене же продуктивность диатомей быстрее росла в Беринговом море. Повышение биопродуктивности окраинных морей в межледниковые периоды чаще всего связано с длительностью безледного сезона при отступании границы морских льдов на север (на это указывает снижение числа ледовых видов в диатомовых комплексах). Кроме того, продуктивность зависит от привноса биогенных элементов в результате интенсификации вертикальной циркуляции, или при усилении речного стока. Эти процессы способствуют поступлению питательных веществ в верхний фотический слой из промежуточных вод и шельфовых зон, постепенно затапливаемых в ходе подъема уровня моря. Опираясь на результаты диатомового анализа, можно отметить значительное повышение уровня моря и интенсивное поступление тихоокеанских теплых вод далеко на северо-восток в Берингово и в Охотское моря.

Периоды похолоданий и снижения продукции диатомей наступали параллельно в двух окраинных морях. Таксономический состав диатомей и доминирующие виды ледниковых периодов схожи в обоих бассейнах, но во время теплых эпох – флористические комплексы имеют значительные отличия в процентном соотношении таксонов. В период с 35 до 14,7 тыс. л.н. во всех бассейнах зафиксированы самые суровые ледовые условия.

В отличие от Берингова и Охотского морей, продуктивность диатомовых водорослей в СЗТО была значительно выше во время МИС 4 и МИС 3. Вероятно, это связано с регулярным поступлением биогенов (особенно железа) из источников, отсутствующих в современное время.

Уникальный диатомовый комплекс с доминированием криоперифитонного вида *Rhabdonema arcuatum* был сформирован в северной части Тихого океана 69-45 тыс. л.н. Высокая продуктивность диатомей в этом комплексе, вероятнее всего поддерживалась за счет поступления большого количества биогенных микроэлементов из тающего льда. Наличие в осадках *Rhabdonema arcuatum* и материала ледового разнота, позволяет предполагать распространение айсбергов и морских льдов в западной части Берингова моря и проникновение их с течениями в Тихий океан. Выделены 2 сценария развития диатомовых водорослей во время потеплений бёллинг и аллерёд: тихоокеанско-берингоморский и охотоморский.

Как показывают данные диатомового и геохимических анализов, заметное увеличение продуктивности и доминирование диатомовых в морском планктоне в Беринговом море и СЗТО произошло около 14,7 тыс. л.н. В Охотском море наступление благоприятных для развития диатомей условий – запаздывало из-за сложной ледовой обстановки. Морской диатомовый планктон стал основным источником углерода в осадках Охотского моря после 9,5 тыс. л.н.

Работа выполнена в рамках госзаданий ТОИ ДВО РАН (№ 124022100084-8 и 124072000018-9).

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов, требующего раскрытия в данной статье.

Список литературы

1. Artemova A., Gorbarenko S., Vasilenko Y., Shi X., Liu Y., Chen M.-Te. Palaeoceanography changes in the Okhotsk Sea during Late Pleistocene and Holocene according to diatoms // *Quaternary International*. 2017. V. 459. P. 175–186. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2017.10.002>
2. Gorbarenko S.A., Shi X., Bosin A.A., Liu Y., Vasilenko Yu.P., Yanchenko E.A., Derkachev A.N., Kirichenko I.S., Artemova A.V., Velivetskaya T.A., Psheneva O.Yu. Millennial-scale changes in the environment, ice conditions, and deep-water ventilation at the Detroit–Tenji Seamounts, Northwest Pacific, over the last 43 kyr // *Quaternary Science Reviews*. 2024. V. 325. ID 108472. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2023.108472>
3. Gorbarenko S.A., Artemova A.V., Psheneva O.Yu., Vagina N.K., Shi X., Bosin A.A., Vasilenko Yu.P., Yao Z., Liu Y., Yanchenko E.A., Novoselova Yu.V., Zou J. Orbital-millennial-centennial evolution of paleoceanography and sea ice in the northwestern Pacific during the LGM-Holocene inferred from micropaleontological, geochemical and lithological proxies // *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 2025. V. 667. ID 112862. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2025.112862>

Статья поступила в редакцию 18.06.2025; поступила после доработки 22.08.2025; принята к публикации 28.08.2025

Сведения об авторах

Артемова Антонина Валериевна – к.г.-м.н., в.н.с., Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева Дальневосточного отделения РАН, Россия, Владивосток (Il'ichev Pacific Oceanological Institute FEB RAS, Russia, Vladivostok); artemova@poi.dvo.ru; ORCID – <https://orcid.org/0000-0002-6815-0633>; SPIN-код 6805-2834.

Цой Ира Борисовна – д.г.-м.н., г.н.с., Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева Дальневосточного отделения РАН, Россия, Владивосток (Il'ichev Pacific Oceanological Institute FEB RAS, Russia, Vladivostok); tsoy@poi.dvo.ru; ORCID – <https://orcid.org/0000-0003-4261-4302>; SPIN-код 1832-0450.

Обрезкова Мария Сергеевна – к.г.-м.н., в.н.с., Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева Дальневосточного отделения РАН, Россия, Владивосток (Il'ichev Pacific Oceanological Institute FEB RAS, Russia, Vladivostok); obrezkova@poi.dvo.ru; ORCID – <https://orcid.org/0000-0002-5884-5001>; SPIN-код 9564-3197.

Корреспондентский адрес: Россия, 690041, Владивосток, ул. Балтийская, д. 43, ТОИ ДВО РАН, тел. (423) 231-1400.

Diatom evidence of the Northwestern Pacific environment changed during the late Pleistocene-Holocene

Antonina V. Artemova, Ira B. Tsoy, Maria S. Obrezkova

Il'ichev Pacific Oceanological Institute FEB RAS (Russia, Vladivostok)

The results of a detailed study of Pleistocene and Holocene diatom assemblages from sediments of the Pacific Ocean, the Sea of Okhotsk and the Bering Sea are presented. Ecological and stratigraphic subdivision of sediments based on micropaleontological and lithogeochemical analyses have shown that changes in diatom paleocommunities reflect changes in the circulation of water masses and ice cover of basins, and, as a consequence, the bioproductivity of surface waters.

Key words: diatoms; Pleistocene; Holocene; Younger Dryas; Bølling; Allerød; Old Dryas; productivity; paleoclimate

References

1. Artemova A., Gorbarenko S., Vasilenko Y., Shi X., Liu Y., Chen M.-Te. Palaeoceanography changes in the Okhotsk Sea during Late Pleistocene and Holocene according to diatoms. *Quaternary International*. 2017. V. 459. P. 175–186. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2017.10.002>

2. Gorbarenko S.A., Shi X., Bosin A.A., Liu Y., Vasilenko Yu.P., Yanchenko E.A., Derkachev A.N., Kirichenko I.S., Artemova A.V., Velivetskaya T.A., Psheneva O.Yu. Millennial-scale changes in the environment, ice conditions, and deep-water ventilation at the Detroit–Tenji Seamounts, Northwest Pacific, over the last 43 kyr. *Quaternary Science Reviews*. 2024. V. 325. ID 108472. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2023.108472>

3. Gorbarenko S.A., Artemova A.V., Psheneva O.Yu., Vagina N.K., Shi X., Bosin A.A., Vasilenko Yu.P., Yao Z., Liu Y., Yanchenko E.A., Novoselova Yu.V., Zou J. Orbital-millennial-centennial evolution of paleoceanography and sea ice in the northwestern Pacific during the LGM-Holocene inferred from micropaleontological, geochemical and lithological proxies. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 2025. V. 667. ID 112862. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2025.112862>

ССЫЛКА НА СТАТЬЮ:

Артемova А.В., Цой И.Б., Обрезкова М.С. Изменения окружающей среды в позднем плейстоцене-голоцене в северо-западной части Тихого океана, выявленные на основе диатомового анализа // Вопросы современной альгологии. 2025. № 1 (37). P. 239–243. URL: <http://algology.ru/2202>

Artemova A.V., Tsoy I.B., Obrezkova M.S. Diatom evidence of the Northwestern Pacific environment changed during the late Pleistocene-Holocene. *Voprosy sovremennoi algologii (Issues of modern algology)*. 2025. № 1 (37). P. 239–243. URL: <http://algology.ru/2202>

DOI – [https://doi.org/10.33624/2311-0147-2025-1\(37\)-239-243](https://doi.org/10.33624/2311-0147-2025-1(37)-239-243); EDN – KRUYLN

Диатомовые водоросли в позднеголоценовых отложениях озёр Енисейской Сибири

Late Holocene diatoms in sediment core from lakes of Yenisei Siberia

Болобанщикова Г.Н.¹, Рогозин Д.Ю.^{1,2}

Galina N. Bolobanshchikova, Denis Yu. Rogozin

¹Обособленное подразделение ФИЦ КНЦ СО РАН «Институт биофизики СО РАН» – (ИБФ СО РАН) (Красноярск, Россия)

²Сибирский Федеральный Университет (Красноярск, Россия)

На протяжении последнего десятилетия активно исследуется малоизученный в плане биостратиграфии северо-восток Красноярского края, а именно – Эвенкийский район, где в изобилии присутствуют небольшие, в основном глубоководные озера, расположенные вдоль течения местных рек (Подкаменная Тунгуска, Верхняя Лакура, Кимчу). В одном из таких водоёмов, озере Пеюнгда, был взят керн донных отложений длиной почти 1,5 м, датировка которого включает в себя 2480 год до н.в., захватывающий переход от северогриппианского яруса голоценового периода к мегхалайскому ярусу, и исследован методом диатомового анализа.

Ключевые слова: диатомеи; донные осадки; голоцен; озеро Пеюнгда; Эвенкия; Красноярский край

Озеро Пеюнгда (60°37,174' СШ 101°38,442' ВД) – расположено в 12 км к северо-западу от оз. Заповедное, что в 60 км от посёлка Ванавара. Озеро имеет почти правильную округлую форму диаметром около 600 м, Максимальная глубина озера приблизительно 35 м. Через оба озера протекает небольшая река Верхняя Лакура, приток реки Подкаменная Тунгуска (Болобанщикова, 2024). Керн донных отложений оз. Пеюнгда был отобран в сентябре 2022 г. Образцы донных отложений проходили стандартные пробоподготовку на диатомовый анализ по отработанной методике с использованием 30% H₂O₂ (Bolobanshchikova, 2018) и последующие подсчёт и анализ данных (Давыдова, 1985).

Для построения диаграмм и кластерного анализа использовали Tilia Software 3.0.3 (Grimm, E., 2004). Для определения видовой принадлежности диатомовых использовали устоявшийся набор определителей и систематических сводок (Bolobanshchikova, 2023). Эколого-географическая характеристика давалась по отношению к местообитанию, pH воды, по географическому распространению, солёности, и реофильности (Баринова, 2006).

Результаты выявили в оз. Пеюнгда – 222 таксона, среди которых преобладают космополитные виды, индифферентные по отношению к солёности, предпочитающие щелочную реакцию воды и подвижность водных масс. Кластерный анализ позволил разделить донные отложения на 5 стратиграфических зон (рис. 1).

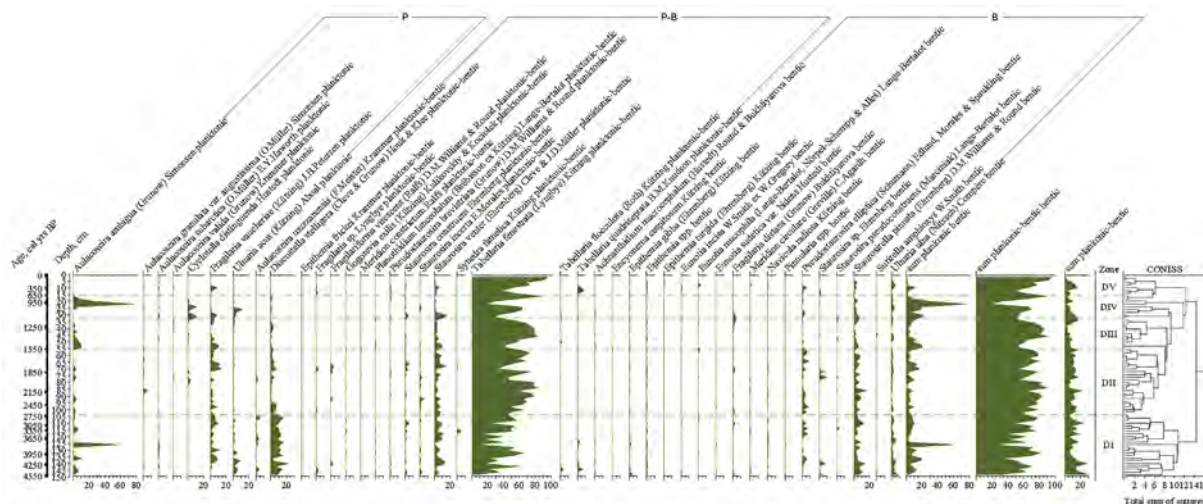


Рис. 1. Распределение диатомовых водорослей в донных отложениях озера Пеюнгда (DI-DV обозначены зоны).

Fig. 1. The distribution of diatoms in the bottom sediments of lake Peyungda (has been examined with designated DI-DV zones).

Зона DI (4480-3686 BP) Увеличение доли планктонных видов за счёт существенного возрастания доли *Aulacoseira ambigua* (Grunow) Simonsen говорит о том, что, скорее всего, по сравнению с современным состоянием, озеро находилось на стадии более мелкого, более минерализованного водоёма (Давыдова, 1985). Уменьшение планктонно-бентосных видов *Tabellaria sensu lato*, *Ulnaria ulna* (Nitzsch) Compère и планктонной *Ulnaria acus* (Kützing) Aboal – вида-обрастателя (Барина, 2006), вероятно, говорит об уменьшении объёма погружного субстрата (в т.ч., растений макрофитов), необходимых для развития этих диатомей. Свою роль может играть и увеличение минерализации водоёма, которая служит барьером для развития этих галофобных диатомовых. Высокая доля *Discostella stelligera* (Cleve & Grunow) Houk & Klee может указывать на стагнацию в озере и тенденцию к эвтрофикации (Трифонов, 1990). Увеличение доли мелких бесшовных, пеннатных видов *Staurosira sensu lato* может об образовании в озере мелководных участков прибрежной зоны, что является следствием понижения уровня водоёма.

Зона DII (3686-2672BP) Увеличению доли видов *Aulacoseira sensu lato* благоприятствует постоянное перемешивание водной толщи, позволяющее им удерживаться в фотической зоне (Лудикова, 2021). Увеличение в середине зоны доли видов-обрастателей стояче-текучих вод: галофоба *T. fenestrata* и алкалифила *Fragilaria vaucheriae* (Kützing) J.B. Petersen вероятно свидетельствует о массовом притоке воды в озеро и снижении его минерализации. Происходит всплеск доли планктонного галофила проточных вод *Cyclotella distinguenda* Hustedt, что может свидетельствовать об увеличении поступления в водоём биогенного вещества с притоком воды и об удлинении периода вегетации за счёт защелачивания водоёма (Глезер, 1974). Продолжающийся прирост доли мелких бесшовных видов *Staurosira sensu lato* может говорить об увеличении иловых прибрежных масс, в которых эти виды предпочитают развиваться (Давыдова, 1985).

Зона DIII (2672-1186BP) Уменьшение доли *A. ambigua* может говорить об очередном переходе озера из состояния мелководного, минерализованного в стадию более глубоководного. Произошедшее к концу предыдущей зоны резкое падение планктонно-бентосных видов за счёт снижения доли *T. fenestrata*, в этот период реверсивно – её доля вновь возрастает, вероятно, за счёт увеличения проточности озера.

Присутствие в отложениях в этот период речного обрастателя *Meridion circulare* (Greville) C. Agardh, является индикатором интенсивности притока воды именно из реки Верхняя Лакура.

Зона DIV (1186-458BP) Рекордный рост *Aulacoseira ambigua* скорее всего связан с массивным обмелением озера. Это может быть обусловлено существенным уменьшением притока воды, скорее всего связанного с увеличением температурного режима и уменьшением уровня осадков (климатический оптимум раннего Средневековья?)

Зона DV (458-0BP) Хотя, после предыдущего периода, эта зона и начинается с возвращения к массовому биоразнообразию, с середины зоны тотальное увеличение доли галофобного обрастателя стояче-текучих *T. fenestrata* нивелирует этот процесс. Несмотря на удаленность и недоступность озёр таёжной зоны Тунгусского заповедника для влияния человека, наблюдаемое в современный период развития олиготрофного озера Пеюнга эвтрофизирование, является прямым следствием антропогенного фактора (Жузе, 1974; Давыдова, 1985). В первую очередь это связано с увеличением средних температур на Земле, вызванных глобальным потеплением климата, ведущих к таянию льдов вечной мерзлоты, залегающих под местом нахождения озера. Как следствие мы можем наблюдать снижение биоразнообразия.

Работа выполнена при поддержке гранта РНФ № 22-17-00185 (продление) <https://rscf.ru/project/22-17-00185>.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов, требующего раскрытия в данной статье.

Список литературы

1. Барина С.С., Медведева Л.А., Анисимова О.В. Биоразнообразие водорослей-индикаторов окружающей среды. – Тель-Авив: Pilies Studio Press, 2006. – 498 с.
2. Глезер З.И., Жузе А.П., Макарова И.В., Шешукова-Порецкая В.С. (ред.) Диатомовые водоросли СССР (ископаемые и современные). – Л.: Наука, 1974. – 403 с.
3. Давыдова Н.Н. Диатомовые водоросли-индикаторы природных условий водоемов в голоцене. – Л.: Наука. Ленингр. отд-ние, 1985. – 253 с.
4. Лудикова А.В., Баумер М., Федоров Г.Б., Меллес М. Палеолимнология оз. Большого щучьего (Полярный Урал) в позднем плейстоцене-голоцене по данным диатомового анализа // Материалы II Всерос. науч. конф. «Пути эволюции и географии», посв. памяти проф. А.А.Величко. М., 2021. С. 202–206.
5. Трифонова И.С. Экология и сукцессия озерного фитопланктона. – Л.: Наука. Ленингр. отд-ние, 1990. – 184 с.
6. Bolobanshchikova G.N., Kulikovskiy M.S., Rogozin D.Yu. Diatoms in the bottom sediments of two closely located lakes in Khakassia // J. Siberian Federal University. Biol. 2018. №11 (4). P. 321–332. DOI: <https://doi.org/10.17516/1997-1389-0075>.
7. Bolobanshchikova G.N., Palagushkina O.V., Rogozin D.Y. Diatom Complexes in Modern Bottom Sediments of Lakes of the Central Tunguska Plateau, Evenkia // Contemporary Problems of Ecology. 2023. №16(2). P. 103–117. DOI: <https://doi.org/10.1134/S199542552302004X>.
8. Bolobanshchikova G.N., Rogozin D.Y. Paleoenvironmental reconstruction of climate by diatoms from sediments of three deep freshwater lakes of Evenkia (Siberia, Russia) // Limnology and Freshwater Biology. 2024. №4. P. 256–261. DOI: 10.31951/2658-3518-2024-A-4-256
9. Grimm E. Tilia software 2.0.2. Springfield, Illinois State Museum Research and Collection Center, 2004.

Статья поступила в редакцию 18.06.2025; поступила после доработки 02.09.2025; принята к публикации 06.09.2025

Сведения об авторах

Болобанищикова Галина Николаевна – м.н.с., обособленное подразделение ФИЦ КНЦ СО РАН – Институт биофизики СО РАН, Россия, Красноярск (FRC KSC SB RAS – IBP SB RAS, Russia, Krasnoyarsk); ibp@ibp.ru; ORCID – <https://orcid.org/0000-0003-4368-5209>; SPIN-код 5082-0921.

Рогозин Денис Юрьевич – д.б.н., зам. директора по научной работе, обособленное подразделение ФИЦ КНЦ СО РАН – Институт биофизики СО РАН, Россия, Красноярск (FRC KSC SB RAS – IBP SB RAS,

Russia, Krasnoyarsk); профессор, Сибирский федеральный университет – СФУ, Россия, Красноярск (Siberian Federal University, Russia, Krasnoyarsk), кафедра биофизики; ibp@ibp.ru; ORCID – <https://orcid.org/0000-0002-9350-2936>; SPIN-код 3654-5790.

Корреспондентский адрес: Россия, 660036, Красноярск, Академгородок, д. 50, стр. 50, ИБФ СО РАН, тел. (391) 290-75-79.

Late Holocene diatoms in sediment core from lakes of Yenisei Siberia

Galina N. Bolobanshchikova¹, Denis Yu. Rogozin^{1,2}

¹FRC KSC SB RAS – IBP SB RAS (Russia, Krasnoyarsk)

²Siberian Federal University (Russia, Krasnoyarsk)

Over the past decade poorly studied in terms of biostratigraphy the north-east of Krasnoyarsk Krai has been actively studied. Namely, the Evenki region, where small, mostly deep-water lakes located along the local rivers (Podkamennaya Tunguska, Verkhnyaya Lakura, Kimchu) are abundant. In one of these reservoirs, Lake Peyungda, a core of bottom sediments almost 1,5 m long was taken, the dating of which includes 2480 BC, capturing the transition from the North Grippian stage of the Holocene period to the Meghalayan stage, and examined by diatom analysis.

Key words: Diatoms; bottom sediments; Holocene; Lake Peyungda; Evenkia; Krasnoyarsky Krai

References

1. Barinova S.S., Medvedeva O.V., Anisimova O.V. Bioraznoobrazie vodoroslej-indikatorov okruzhayushhej sredy'. Russkoe izd-vo "Pilies Studio", Tel'-Aviv, 2006. 498 p. (In Russ.)
2. Glezer Z.I., Zhuse A.P., Makarova I.V., Sheshukova-Poretskaya V.S. (Eds.) Diatoms of the USSR (fossil and modern). Nauka, Leningrad, 1974. 403 p. (In Russ.)
3. Davydova N.N. Diatoms-indicators of natural conditions of reservoirs in the Holocene. Nauka, Leningrad, 1985. 253 p. (In Russ.)
4. Ludikova A.V., Bowmer M., Fedorov G.B., Milles M. Paleolimnology of Lake Baikal. Bolshoy Shchuchy (Polar Urals) in the Late Pleistocene-Holocene according to diatom analysis. Proceedings of the II All-Russian Scientific Conf. "The ways of evolution and geography", posv. in memory of Professor A.A.Velichko. Moscow, 2021. P. 202–206. (In Russ.)
5. Trifonova I.S. Ecology and succession of lake phytoplankton. Nauka, Leningrad, 1990. 184 p. (In Russ.)
6. Bolobanshchikova G.N., Kulikovskiy M.S., Rogozin D.Yu. Diatoms in the bottom sediments of two closely located lakes in Khakassia. *J. Siberian Federal University. Biol.* 2018. №11 (4). P. 321–332. DOI: <https://doi.org/10.17516/1997-1389-0075>.
7. Bolobanshchikova G.N., Palagushkina O.V. Rogozin D.Y. Diatom complexes in modern bottom sediments of lakes of the Central Tunguska Plateau, Evenkia. *Contemporary Problems of Ecology*. 2023. №16 (2). P. 103–117. DOI: <https://doi.org/10.1134/S199542552302004X>.
8. Bolobanshchikova G.N., Rogozin D.Y. Paleoenvironmental reconstruction of climate by diatoms from sediments of three deep freshwater lakes of Evenkia (Siberia, Russia). *Limnology and Freshwater Biology*. 2024. №4. P. 256–261. DOI: 10.31951/2658-3518-2024-A-4-256
9. Grimm E. Tilia software 2.0.2. Springfield, Illinois State Museum Research and Collection Center, 2004.

ССЫЛКА НА СТАТЬЮ:

Болобанщикова Г.Н., Рогозин Д.Ю. Диатомовые водоросли в позднеголоценовых отложениях озёр Енисейской Сибири // Вопросы современной альгологии. 2025. № 1 (37). P. 244–247. URL: <http://algology.ru/2140>

Bolobanshchikova G.N., Rogozin D.Yu. Late Holocene diatoms in sediment core from lakes of Yenisei Siberia. *Voprosy sovremennoi algologii (Issues of modern algology)*. 2025. № 1 (37). P. 244–247. URL: <http://algology.ru/2140>

DOI – [https://doi.org/10.33624/2311-0147-2025-1\(37\)-244-247](https://doi.org/10.33624/2311-0147-2025-1(37)-244-247); EDN – KVTWFN

Магнитостратиграфические данные в определении возраста маркирующих диатомовых уровней в палеогене Камчатки

Magnetostratigraphic data in age determination of diatom marker levels in the Paleogene of Kamchatka

Гладенков А.Ю., Казанский А.Ю.

Andrey Yu. Gladenkov, Alex Yu. Kazansky

Геологический институт РАН (Москва, Россия)

Представлены данные по датированию уровней появления и/или исчезновения стратиграфически важных таксонов диатомовых водорослей, обнаруженных в верхнеэоценовой-олигоценовой части стратиграфического разреза морского кайнозоя Западной Камчатки в бухте Квачина. Среди таких таксонов *Rocella gelida*, *Lisitzinia ornata*, *Rhizosolenia oligocaenica*, *R. miocenica*, *Thalassiosira nansenii* и другие. Результаты получены при анализе материалов по магнитостратиграфии. Абсолютный возраст диатомовых уровней определен в интервале от субхрона C13r (35,102–33,726 млн лет) до субхрона C9r (27,859–27,439 млн лет) на основе корреляции выделенных в разрезе магнитозон со Шкалой геомагнитной полярности. Это первые подобные датировки, полученные для разрезов Камчатки.

Ключевые слова: диатомеи; палеоген; Западная Камчатка; магнитостратиграфия; биостратиграфические уровни; возраст

Диатомовые водоросли относятся к одной из важных ортостратиграфических групп микроорганизмов, которая используется для биостратиграфического расчленения и корреляции морских осадочных толщ верхнего кайнозоя, широко развитых в северной части Тихого океана и районах ее обрамления. При проведении таких работ используется разработанная для олигоцена-квартера Северной Пацифики зональная шкала по диатомеям. Подразделения этой шкалы включают биогоризонты, основанные на диатомовых датированных уровнях, которые в интервале от верхней части нижнего миоцена до плейстоцена напрямую скоррелированы со Шкалой геомагнитной полярности в разрезах скважин глубоководного бурения, что позволило определить их точный возраст. Однако данные по корреляции олигоценовых уровней с магнитостратиграфической шкалой в разрезах региона отсутствовали. Поэтому результаты, впервые полученные по таким корреляциям и датировкам в одном из опорных стратиграфических разрезов морского кайнозоя Камчатки, представляются достаточно важными.

Изученный разрез расположен на западном побережье Камчатки в районе бухты Квачина и включает две согласно залегающие толщи, разделенные на пачки: нижнюю – тигильскую (мощность около 130 м) и верхнюю – белесоватую (мощность около 330 м). Это единственный разрез в Камчатском регионе, в котором прослежена

последовательная смена разновозрастных диатомовых комплексов конца позднего эоцена – позднего олигоцена (Гладенков, 2018, 2019; Gladenkov, 2019). В составе выделенных в верхней части разреза (мощностью около 270 м) ассоциаций отмечен целый ряд важных для биохронологии таксонов. Среди них *Rocella gelida* (Mann) Bukry, *Lisitzinia ornata* Jousé, *Rhizosolenia oligocaenica* Schrader, *R. antarctica* Fenner, *R. miocenica* Schrader *Cavitatus jouseanus* (Sheshukova) Williams, *C. miocenicus* (Schrader) Akiba et Yanagisawa, *Pseudodimerogramma elegans* Schrader, *Odontella sawamurae* Akiba, *Ikebea tenuis* (Brun) Akiba, *Kisseleviella carina* Sheshukova, *Eurossia irregularis* (Greville) Sims, *Thalassiosira nanseni* Scherer, *Asteromphalus symmetricus* Schrader et Fenner, *Cestodiscus kugleri* Lohman, *Sceptroneis humuncia* var. *rondipoda* Scherer. Кроме того, в данном разрезе удалось выявить последовательность палеомагнитных зон, для которых намечена корреляция с верхнеэоценовым–олигоценовым интервалом Шкалы геомагнитной полярности (хронами C17–C6) (Казанский и др., 2021). Абсолютные даты границ хронов магнитной полярности согласно (Geologic..., 2020) были использованы для возрастных оценок границ зон магнитной полярности в разрезе бухты Квачина, сопоставленных с соответствующими хронами. Это позволило оценить скорости осадконакопления для каждой магнитозоны в предположении постоянства такой скорости внутри данного интервала. Построенная таким образом возрастная модель послужила основой для расчета возраста диатомовых уровней в соответствии с их положением в разрезе. Данные, полученные в результате магнитостратиграфических исследований (табл. 1), позволяют оценить возраст уровней появления и/или исчезновения в разрезе стратиграфически важных таксонов диатомей в интервале от субхрона C13r (35,102–33,726 млн лет) до субхрона C9r (27,859–27,439 млн лет).

Таблица 1. Возраст палеогеновых биостратиграфических уровней по диатомеям в разрезе бухты Квачина, рассчитанный на основе полученных данных по магнитостратиграфии

уровень появления (УП) или исчезновения (УИ) таксона диатомей в разрезе	полярность	субхрон	возраст (млн лет)
УП <i>Rocella gelida</i>	обратная	C9r	27,49
УИ <i>Lisitzinia ornata</i> , УП <i>Rhizosolenia miocenica</i>	обратная	C9r	27,54
УП <i>Pseudodimerogramma elegans</i>	обратная	C9r	27,64
УП <i>Lisitzinia ornata</i>	обратная	C9r	27,71
УП <i>Cestodiscus kugleri</i> , УП <i>Sceptroneis humuncia</i> var. <i>rondipoda</i>	обратная	C9r	27,76
УП <i>Cavitatus miocenicus</i>	обратная	C9r	27,85
УП <i>Thalassiosira nanseni</i> , УП <i>Asteromphalus symmetricus</i> , УП <i>Cavitatus jouseanus</i>	прямая	C12n	30,64
УП <i>Rhizosolenia oligocaenica</i> , УП <i>R. antarctica</i>	обратная	C12r	32,30
УП <i>Eurossia irregularis</i>	обратная	C13r	34,26
УП <i>Odontella sawamurae</i> , УП <i>Kisseleviella carina</i> , УП <i>Ikebea tenuis</i>	обратная	C13r	35, 08

Это первые подобные датировки, полученные с помощью данных по магнитостратиграфии не только для палеогеновых разрезов Камчатки, но Северо-Тихоокеанского региона в целом. Особую важность представляют оценки возраста биостратиграфических уровней, которые используются при зональном расчленении олигоценовых толщ по диатомеям. В первую очередь, к ним относятся уровни появления и исчезновения *Lisitzinia ornata* (возраст которых определен 27,71 млн лет и 27,54 млн лет, соответственно) и появления *Rocella gelida* (27,49 млн лет). Сравнение с опубликованными данными по датировкам этих уровней в скважинах глубоководного бурения в других регионах показывает, что возраст появления *Lisitzinia ornata* близок к

таковому в Южном океане (27,27 млн лет), а появление *Rocella gelida* фиксируется раньше по сравнению с экваториальной Пацификой (~25,08 млн лет) и Южным океаном (26,57 млн лет). Отметим также, что впервые получены оценки возраста уровней появления таксонов, типичных для олигоценовых отложений различных районов, которые могут представлять интерес при биостратиграфических исследованиях. Среди них уровни появления *Thalassiosira nansenii*, *Asteromphalus symmetricus* (30,64 млн лет), *Pseudodimerogramma elegans* (27,64 млн лет) и *Rhizosolenia miocenica* (27,54 млн лет).

Работа выполнена в рамках темы государственного задания Геологического института РАН, г. Москва (№ АААА-А 21-121011590055-6).

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов, требующего раскрытия в данной статье.

Список литературы

1. Гладенков А.Ю. Ярусы олигоцена и граница между палеогеном и неогеном на Западной Камчатке – новые данные по диатомеям // Неоген и кватер России: стратиграфия, события и палеогеография. – Москва: ГЕОС, 2018. – С. 23–29.
2. Гладенков А.Ю. Характеристика морской олигоценовой диатомовой флоры опорного разреза кайнозоя Западной Камчатки // Вопросы современной альгологии. 2019. № 2 (20). С. 205–209. DOI: [https://doi.org/10.33624/2311-0147-2019-2\(20\)-205-209](https://doi.org/10.33624/2311-0147-2019-2(20)-205-209) (дата обращения: 15.06.2025)
3. Казанский А.Ю., Водовозов В.Ю., Гладенков А.Ю., Гладенков Ю.Б., Трубин В.М. Магнитостратиграфия опорного разреза морского кайнозоя Западной Камчатки (бухта Квачина) // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 2021. Т.29, №1. С. 99–115. DOI: <https://doi.org/10.31857/S0869592X21010257>
4. Geologic Time Scale 2020. Gradstein F.M., Ogg J.G., Schmitz M.D., Ogg G.M. (eds.) – Elsevier BV, 2020. – 1357 p.
5. Gladenkov A.Yu. New data on diatoms from the marine Cenozoic section of West Kamchatka at the Kvachina Bay // Paleontological Journal. 2019. V.53, №8. P. 799–802. DOI: <https://doi.org/10.1134/S0031030119080069>

Статья поступила в редакцию 18.06.2025; поступила после доработки 20.08.2025; принята к публикации 28.08.2025

Сведения об авторах

Гладенков Андрей Юрьевич – д.г.-м.н., г.н.с., зав. лабораторий, Геологический институт РАН, Россия, Москва (Geological Institute RAS, Russia, Moscow), Лаборатория биостратиграфии и палеогеографии океанов; agladenkov@ilran.ru; ORCID – <https://orcid.org/0000-0002-3378-2155>; SPIN-код 8579-1139.

Казанский Алексей Юрьевич – д.г.-м.н., в.н.с., Геологический институт РАН, Россия, Москва (Geological Institute RAS, Russia, Moscow), Лаборатория палеомагнетизма; kazansky_alex@mail.ru; ORCID – <https://orcid.org/0000-0002-8840-0978>; SPIN-код 8151-3812.

Корреспондентский адрес: Россия, 119017, Москва, Пыжевский пер., д. 7, ГИН РАН, тел. (495) 953-18-19

Magnetostratigraphic data in age determination of diatom marker levels in the Paleogene of Kamchatka

Andrey Yu. Gladenkov, Alex Yu. Kazansky

Geological Institute RAS (Russia, Moscow)

Data on dating of levels of the first and/or last occurrences of stratigraphically-important diatom taxa found in the uppermost Eocene to Oligocene part of the marine Cenozoic stratigraphic section of

West Kamchatka at Kvachina Bay are presented. Among these taxa are *Rocella gelida*, *Lisitzinia ornata*, *Rhizosolenia oligocaenica*, *R. miocenica*, *Thalassiosira nansenii*, and others. The results were obtained by analyzing materials on magnetostratigraphy. Absolute age of diatom datum levels is determined between Subchron C13r (35,102–33,726 Ma) and Subchron C9r (27,859–27,439 Ma) based on correlation of magnetozones recognized in the section with Geomagnetic Polarity Time Scale. These are the first age dating obtained for sections of Kamchatka.

Key words: diatoms; Paleogene; West Kamchatka; magnetostratigraphy; biostratigraphic levels; age

References

1. Gladenkov A.Yu. Yarusy oligocena i granitsa mezhdru paleogenom i neogenom na Zapadoi Kamchatke – novye dannye po diatomeyam [Oligocene stages and the boundary between Paleogene and Neogene in West Kamchatka – new data on diatoms]. In: A.Yu. Gladenkov (Ed.) Neogen i kvarter Rossii: stratigraphia, sobytiya i paleogeographia [Neogene and Quaternary of Russia: stratigraphy, events and paleogeography]. GEOS, Moscow, 2018. P. 23–29. (In Russ.)
2. Gladenkov A.Yu. Characteristic of marine Oligocene diatom flora from the Cenozoic key section of West Kamchatka. *Issues of modern algology*. 2019. № 2 (20). P. 205–209. URL: <http://algology.ru/1485>. DOI: [https://doi.org/10.33624/2311-0147-2019-2\(20\)-205-209](https://doi.org/10.33624/2311-0147-2019-2(20)-205-209) (date: 15.06.2025)
3. Kazansky A.Yu., Vodovozov V.Yu., Gladenkov A.Yu., Gladenkov Yu.B., Trubikhin V.M. Magnetostratigraphy of West Kamchatka marine Cenozoic key section (Kvachina Bay). *Stratigraphy and Geological Correlation*. 2021. V.29, №1. P. 104–119. DOI: <https://doi.org/10.1134/S0869593821010044>
4. Geologic Time Scale 2020. Gradstein F.M., Ogg J.G., Schmitz M.D., Ogg G.M. (Eds.) Elsevier BV, 2020. 1357 p.
5. Gladenkov A.Yu. New data on diatoms from the marine Cenozoic section of West Kamchatka at the Kvachina Bay. *Paleontological Journal*. 2019. V.53, №8. P. 799–802. DOI: <https://doi.org/10.1134/S0031030119080069>

ССЫЛКА НА СТАТЬЮ:

Гладенков А.Ю., Казанский А.Ю. Магнитостратиграфические данные в определении возраста маркирующих диатомовых уровней в палеогене Камчатки // Вопросы современной альгологии. 2025. № 1 (37). P. 248–251. URL: <http://algology.ru/2201>

Gladenkov A.Yu., Kazansky A.Yu. Magnetostratigraphic data in age determination of diatom marker levels in the paleogene of Kamchatka. *Voprosy sovremennoi algologii (Issues of modern algology)*. 2025. № 1 (37). P. 248–251. URL: <http://algology.ru/2201>

DOI – [https://doi.org/10.33624/2311-0147-2025-1\(37\)-248-251](https://doi.org/10.33624/2311-0147-2025-1(37)-248-251); EDN – LPWTJE

Диатомовые водоросли в осадках Ното цунами (01.01.2024) в бухте Преображения (Японское море)

Diatom algae in sediments from the tsunami Noto (01.01.2024) in Preobrazheniye Bay (Japan Sea)

Гребенникова Т.А.

Tatyana A. Grebennikova

Тихоокеанский институт географии ДВО РАН (Владивосток, Россия)

Цунами 01.01.2024 было вызвано землетрясением, эпицентр которого находился на п-ове Ното (префектура Исикава), на глубине 16 км. В закрытой бух. Преображения осадочный покров илов образовался на невзломанном припае и сильно консолидированном льде, в краевой части захватывавший берег (до 23 м). По льду ручья, впадающего в бухту, цунами проникло до 680 м от устья. Изучен состав диатомовых водорослей, проанализированы изменения в соотношении экологических групп по профилям. Среди диатомей преобладают эпифиты. Источником материала являлась литораль и сублитораль, где шла активная эрозия донных осадков водой, насыщенной льдинами.

Ключевые слова: цунами; цунамигенные илы; диатомеи; бухта Преображения; юг Дальнего Востока

Осадочный покров цунами был сформирован только в закрытой бух. Преображения, расположенной в 670 км от эпицентра землетрясения полуострова Ното. Глубины на выходе из бухты достигают 11–12 м, во внутренней части – до 5–6 м. Вдоль берега развита литораль шириной до 100 м, около устья ручья – до 300 м. В вершине бухты вдоль ручья тянется низинное болото, на склонах долина также сильно заболочена. Высота волны цунами составляла 20–60 см. В бухте образовался покров илов (мощность до 1,5 см) на припае и сильно консолидированном льде, в краевой части захватывавший берег (от 5 до 23 м). По льду водотока цунами проникло до 680 м от устья, граница максимального заплеска на льду водотока намного превышала зону осадконакопления. Разгрузка материала здесь произошла перед барьером на излучине водотока. В кутовой части бухты линия максимального заплеска лишь на 2–3 м превышала зону с покровом илов. (Разжигаетева и др., 2025).

В осадках цунами обнаружено 202 таксона диатомей, включающих 98 обитателей литоральной зоны моря, 13 пелагических и 91 вид пресноводных диатомей, поступающих в море с речным стоком. Створки сильно изломаны, концентрация варьирует от $1,9$ до $31,1 \times 10^6$ створок/г, максимальная – в осадках, отобранных на льду водотока (т.н. 29/375, 30/376), и в зоне максимального заплеска (т.н. 32/378), минимальная – в линзе осадка, вмерзшего в льдину, вынесенную с верхней сублиторали (т.н. 20/365) (рис.1). Морские диатомеи представлены бентосными (до 97%) и планктонными видами (до 20%). По отношению к солености выделяются: морские (48 таксонов), солоноватоводно-морские (8), солоноватоводные (38),

солонатоводно-пресноводные (17). Большая часть видов малочисленны (<2%) и только 11 видов более обильны. В осадках преобладают бентосные солонатоводные виды (70–84%). Доминируют распространенные в поверхностных осадках прибрежной зоны залива Петра Великого (на глубинах до 22 м) эпифиты *Cocconeis scutellum* (до 59,6%), *C. scutellum* var. *parva* (до 22,3%) (Цой, Моисеенко, 2013). Субдоминантами (<10%) являются часто населяющий макрофиты морского побережья и соленые воды речных эстуариев *Gomphonema exiguum* var. *minutissimum*, *Tryblionella punctata*. Среди морских видов преобладают бентосный *Cocconeis costata* (до 8,6%), населяющий камни и пески на глубинах с 0,3–0,5 м и планктонный *Paralia sulcata* (до 6%); обрастатели *Rhoicosphenia marina* (до 4%), *Ardissonea formosa* (Рябушко, 2014), присутствует обрастатель льда *Pseudogomphonema kamtschaticum* (до 3% т.н. 5/350) (Веркулич и др., 2015). Встречаются фрагменты пелагических диатомей: *Coscinodiscus oculus-iridis*, *C. asteromphalus*, *Thalassionema nitzschioides* и *Thalassiosira gravis*. В составе солонатоводно-пресноводных значительной численности достигают *Tabularia fasciculata* (до 8,1%). Пресноводные виды разнообразны, но малочисленны (<20%). Наиболее часто встречаются *Staurosira venter*, *Staurosirella pinnata*, *Stauroforma exiguiiformis*. В осадках, вмёрзших в лед (20/365; 27/373), в обилии встречены *Gomphonema exiguum* var. *minutissimum* (14,2%) и планктонный *Paralia sulcata* (до 15,4%). Здесь более часто встречаются фрагменты пелагических видов. Выделены следующие закономерности распределения видов в зоне затопления. На профиле в кутовой части бухты (т.н. 2/347–19/365) на припae (т.н. 11/356, 18/363, 17/362, 15/360) концентрация диатомей низкая (6,7–8,4 млн./г). В начале зоны заплеска (19/264) высока доля эпифитов *Cocconeis scutellum* (54,7%), *C. scutellum* var. *parva* (до 22,3%). В точках у берега (т.н. 2/347, 3/348, 4/349, 5/350, 6/351, 7/352, 9/354, 10/355) концентрация диатомей выше (13,1–25,3 млн./г), особенно на участке, где стояла вода (т.н. 7/352) и на максимуме заплеска (т.н. 32/378). Содержание морских видов <10%, за исключением т.н. 3/348, где доминирует планктонный *Paralia sulcata* (14,3%). Содержание пресноводных диатомей увеличивается около границы зоны осадконакопления (до 16,5%, т.н. 1/346–2/347).



Рис. 1. Кутовая часть бухты Преображения с точками наблюдений (т.н.).

Fig. 1. Part of the Preobrazheniye Bay with observation points.

На профиле на северном борту бухты (т.н. 22/368–26/372) более высокая концентрация диатомей (19,2 млн./г) отмечена в осадке на максимальном заплеске (т.н. 22/368), в других пробах – 4–7 млн./г. Доля морских снижается в осадках вглубь суши от 15,4 до 10%, солоноватоводно-пресноводных <6%, пресноводных диатомей <6%.

На профиле по льду реки (т.н. 21/366, 28/374, 29/375, 30/376, 31/377) выделено две зоны, отличающиеся составом доминирующих видов и соотношением групп диатомей. На припае в приустьевой зоне (т.н. 28/374 и 21/366) концентрация диатомей 6,4–10 млн./г. Содержание солоноватоводных видов до 76,3%. Доля морских <13%, солоноватоводно-морских до 1,7%, солоноватоводно-пресноводных видов <8%, выделяются *Tabularia fasciculata*, *Planothidium delicatulum*, населяющие разные субстраты в прибойной зоне на глубинах с 3–5 м (Рябушко, 2014). Содержание пресноводных диатомей <5,4%. В т.н. 29/375, 30/376, 31/377, удаленных от берега моря вглубь суши, концентрация диатомей повышается (20–31 млн./г). Доминируют солоноватоводные диатомей (до 68,3%). Наиболее высокое содержание морских видов отмечено в т.н. 29/375 (22%). Здесь чаще встречаются пелагические диатомей. Доля солоноватоводно-пресноводных увеличивается от 10 до 20,9% у границы зоны осадконакопления (т.н. 29/375, 31/377). Здесь же обнаружено значительное содержание планктонного *Paralia sulcata* (до 6%) и увеличивается содержание пресноводных – 14,3%. Такое распределение групп диатомей и концентрации створок указывает на существование транзитной зоны (т.н. 21/366 и 28/374) и зоны разгрузки более мелких створок (до 10–20 мкм) у излучины реки (т.н. 29/375, 30/376, 31/377).

Учитывая, что основная масса диатомей в цунамигенных осадках, представлена видами-эпифитами, можно предположить, что волна цунами захватывала материал с глубины не более 5 м, т.е. со дна внутренней части бухты. На наиболее удаленной части заплеска на льду водотока происходила дифференциация створок, наиболее мелкие выпали у границы зоны осадконакопления. Количество морских видов снижается по мере продвижения вглубь зоны затопления, пресноводных становится больше.

Работа выполнена в рамках государственных заданий ТИГ ДВО РАН № 125021302113-3.

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

Список литературы

1. Веркулич С.З., Пушина З.В., Дорожкина М.В., Меллес М., Ретемейер Ж. Характеристика природных условий формирования отложений интерстадиала (МИС 3) острова Кинг Джордж (западная Антарктика) на основе изучения ископаемых диатомовых комплексов // Проблемы Арктики и Антарктики. 2015. № 4 (106). С. 109–119.
2. Разжигиева Н.Г., Тюняткин Д.Г., Ганзей Л.А., Гребенникова Т.А., Иванова Е.Д., Путинцев Ю.Р., Жабыко Ю.Ю., Шпачук Д.Р., Стасюк Е.И. Седиментологический эффект Ното цунами (01.01.2024) в условиях ледяного покрова на побережье Японского моря // Океанология. 2025. Т.65, №2. С. 290–303. DOI: 10.30911/0207-4028-2025-44-3-72-89
3. Рябушко Л.И. Диатомовые водоросли (Bacillariophyta) залива Восток Японского моря // Биота и среда заповедников Дальнего Востока. 2014. №2. С. 4–17.
4. Цой И.Б., Моисеенко И.А. Кремнистые микроводоросли в поверхностных осадках залива Петра Великого и прилегающей части Японской котловины // Вестник ДВО РАН. 2013. №6. С. 180–188.
5. Krammer K., Lange-Bertalot H. Bacillariophyceae. Teil 1. Naviculaceae. – Jena: VEB Gustav Fischer Verlag, 1986. – 876 p.

Статья поступила в редакцию 18.06.2025; поступила после доработки 22.08.2025; принята к публикации 28.08.2025

Сведения об авторе

Гребенникова Татьяна Афанасьевна – к.г.н., в.н.с., Тихоокеанский институт географии ДВО РАН, Россия, Владивосток (Pacific Geographical Institute FEB RAS, Russia, Vladivostok); tagrebennikova@mail.ru; ORCID – <https://orcid.org/0000-0002-5805-391X>; SPIN-код 1714-4914.

Корреспондентский адрес: Россия, 690041, Владивосток, ул. Радио, д. 7, ТИГ ДВО РАН, тел. (423) 232-06-72.

**Diatom algae in sediments from the tsunami Noto (01.01.2024)
in Preobrazheniye Bay (Japan Sea)**

Tatyana A. Grebennikova

Pacific Geographical Institute, Far Eastern Branch, RAS (Russia, Vladivostok)

Tsunami 01.01.2024, caused by an earthquake, the epicenter of which was located on the Noto Peninsula (Ishikawa Prefecture), at a depth of 16 km. In the closed Preobrazheniye Bay bay the sedimentary cover of mud was formed on unbroken landfast ice and strongly consolidated ice, in the marginal part capturing the shore (to 23 m). The tsunami penetrated through the ice of the creek flowing into the bay up to 680 m from the mouth. The composition of diatom algae was studied, and changes in the ratio of ecological groups along the profiles were analyzed. Epiphytes predominate among diatoms. The source of material was the littoral and sublittoral, where active erosion of bottom sediments by water saturated with ice floes took place.

Key words: tsunami run-up; tsunami mud; diatoms; Preobrazheniye Bay; southern Far East

References

1. Krammer K., Lange-Bertalot H. Bacillariophyceae. Teil 1. Naviculaceae. VEB Gustav Fischer Verlag, Jena, 1986. 876 p.
2. Razjigaeva, N.G., Tuynyatkin, D.G., Ganzey, L.A. et al. Sedimentological Effect of Noto Tsunami in Ice Cover Conditions of the Sea of Japan Coast. *Oceanology*. 2025. V.65. P. 281–293. DOI: <https://doi.org/10.1134/S0001437024701133>
3. Ryabushko L.I. Diatoms (Bacillariophyta) of the Vostok Bay, Sea of Japan. Biodiversity and Environment of Far East Reserves. 2014. № 2. P. 4–17.
4. Tsoy I.B., Moiseenko I.A. Siliceous microalgae in the surface sediments of Peter the Great Bay and the adjacent part of the Japanese Basin. Bulletin of the FEB RAS. 2013. №6. P. 180–188.
5. Verkulich S.R., Pushina Z.V., Dorozhkina M.V., Mellem S., Rethemeyer J. Characterization of environmental conditions of the interstadial (mis 3) deposits formation in king George Island (West Antarctica) based on the study of fossil diatom assemblages. *Arctic and Antarctic Research*. 2015. № 4(106). P. 109–119.

ССЫЛКА НА СТАТЬЮ:

Гребенникова Т.А. Диатомовые водоросли в осадках Ното цунами (01.01.2024) в бухте Преображения (Японское море) // Вопросы современной альгологии. 2025. № 1 (37). P. 252–255. URL: <http://algology.ru/2188>

Grebennikova T.A. Diatom algae in sediments from the tsunami Noto (01.01.2024) in Preobrazheniye Bay (Japan Sea). *Voprosy sovremennoi algologii (Issues of modern algology)*. 2025. № 1 (37). P. 252–255. URL: <http://algology.ru/2188>

DOI – [https://doi.org/10.33624/2311-0147-2025-1\(37\)-252-255](https://doi.org/10.33624/2311-0147-2025-1(37)-252-255); EDN – MIGHZC

Происхождение маркерных видов диатомовых рода *Actinocyclus* Ehr. из отложений Азовского моря средне- и позднеголоценового возраста

Origin of marker species of diatoms of the genus *Actinocyclus* Ehr. from the of the Middle and Late Holocene deposits of the Sea of Azov

Ковалева Г.В.

Galina V. Kovaleva

Федеральный исследовательский центр Южный научный центр РАН – ЮНЦ РАН
(Ростов-на-Дону, Россия)

В работе проанализированы гипотезы об автохтонности, или аллохтонности наиболее массовых представителей рода *Actinocyclus* Ehr. в средне- и верхнечетвертичных отложениях Азовского моря. Приведены аргументы, подвергающие сомнению гипотезу о том, что створки *Actinocyclus* могут быть переотложенными из миоценовых отложений на побережьях Керченского и Таманского полуостровов.

Ключевые слова: диатомеи; донные отложения; голоцен; новоазовские слои; Азовское море

В результате многолетнего изучения диатомовых водорослей из средне- и верхнечетвертичных отложений Азовского моря были описаны комплексы доминирующих видов (Ковалева, 2019). Для новоазовских отложений (от 3,4–3,1 тыс.л.н. до настоящего времени) на акватории открытой части моря (за исключением Таганрогского залива) отмечено чередование слоев с *Actinocyclus octonarius* Ehrenberg (преимущественно *A. octonarius* var. *ralfsii* (W.Smith) Hendey), *Actinoptychus senarius* (Ehrenberg) Ehrenberg и спорами *Chaetoceros* Ehrenberg. В период фанагорийской регрессии (от 3,4 до 1,9 тыс.л.н.) отмечено наиболее массовое развитие вида и вариететов *A. octonarius*. Из отложений этого возраста были описаны два новых таксона (Гогорев и др., 2018): *A. pseudopodolicus* Kovaleva et Gogorev (рис. 1 б–г) и *Actinocyclus octonarius* var. *tonsurata* Kovaleva et Gogorev (рис. 1 д–ж).

Анализ пространственного распространения *Actinocyclus octonarius* var. *tonsurata* и *A. pseudopodolicus* показал, что они обнаружены во всех районах Азовского моря (рис. 1а). Самые ранние находки этих таксонов приходятся на нижние слои новоазовских отложений (соответствуют началу фанагорийской регрессии, около 3,4–3,1 тыс.л.н.), а их исчезновение из флористических комплексов диатомовых отмечено в период ордынской трансгрессии (от 700 до 400 лет назад). Учитывая ограниченный по времени диапазон их встречаемости, мы рассматриваем *Actinocyclus octonarius* var. *tonsurata* и *A. pseudopodolicus* в качестве индикаторных таксонов, которые маркируют новоазовские слои (Ковалева, 2019; Матишов и др., 2025).

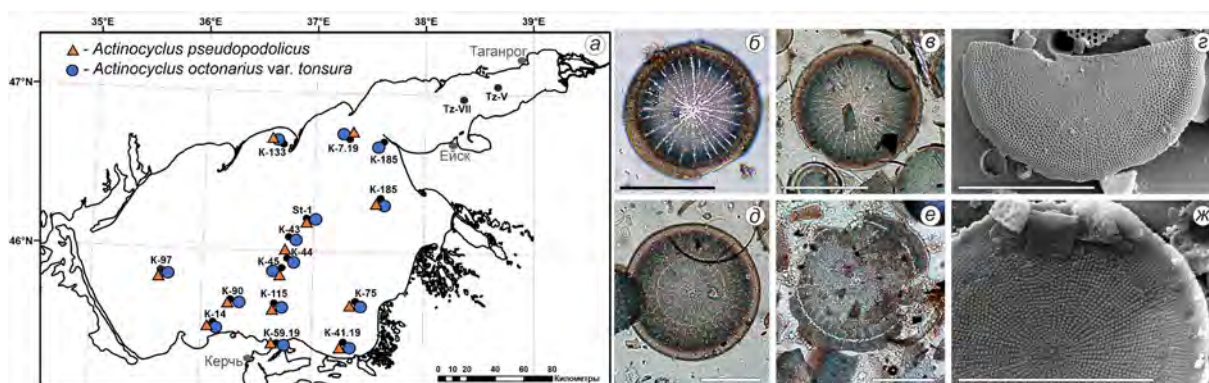


Рис. 1. Карта-схема расположения колонок (а) в которых обнаружены *Actinocyclus pseudopodolicus* (б–г) и *Actinocyclus octonarius* var. *tonsura* (д–ж), (линейка 50 мкм).

Fig. 1. Map of the location of cores (a) in which *Actinocyclus pseudopodolicus* (б–г) and *Actinocyclus octonarius* var. *tonsura* (д–ж) were found (Scale bar 50 µm).

После представления результатов исследования колонок донных отложений из южной части Азовского моря на предыдущей конференции (Ковалева, 2023), в ходе дискуссии, коллегами было высказано предположение о том, что высокая численность створок *Actinocyclus* (включая *A. octonarius* var. *tonsura* и *A. pseudopodolicus*) в донных отложениях Азовского моря может быть связана с их переотложением. Высказана гипотеза о том, что эти виды могли попадать в осадки Азовского моря из осыпающихся миоценовых отложений на берегах Керченского и Таманского полуостровов. Учитывая важное биостратиграфическое значение этих таксонов, мы решили проанализировать гипотезы аллохтонности, или автохтонности *Actinocyclus* в новоазовских слоях.

Аргументом в пользу гипотезы о переотложении является тот факт, что на побережье Керченского и Таманского полуостровов, действительно, существуют многометровые отложения миоценового возраста, которые периодически осыпаются. Миоценовая диатомовая флора неплохо изучена (из-за ограниченного объема мы приводим небольшую часть ссылок на публикации). В отдельных разрезах верхнего мэотиса и понта (Макарова, Козыренко, 1966; Ростовцева, Козыренко, 2006) отмечены слои с доминированием *Actinocyclus octonarius*. Сведений о встречаемости в этих отложениях *A. octonarius* var. *tonsura* и *A. pseudopodolicus* – нет. Из среднесарматских отложений описан вид *Actinocyclus podolicus* (Missuna) Kozzyrenko, некоторое внешнее сходство с которым и дало название *A. pseudopodolicus*. Подробная история таксономических перекомбинаций и изображения *A. podolicus* из коллекции Й. Панточека опубликованы (Ognjanova-Rumenova, Buczkó, 2015). Важно отметить, что несмотря на отдаленное сходство, *A. pseudopodolicus* из голоценовых отложений Азовского моря морфологически существенно отличается от *A. podolicus*. Изображение *A. podolicus* опубликовано и в другом исследовании среднесарматских диатомовых северной части Черного моря (Ольштынская, Мельник, 2014, стр. 21, фото 20–21). Эти данные показывают, что от внимания исследователей миоценовых отложений вряд ли ускользнули бы таксоны, имеющие заметные морфологические отличия от типовой формы и вариантов *A. octonarius*.

Слои с доминированием *A. octonarius* встречаются неравномерно и не во всех разрезах (Ростовцева, Козыренко, 2006), но тем не менее, теоретически они могли попадать в бассейн Азовского и Черного морей при обрушении берегов. Учитывая то, что *A. octonarius* формировал моновидовой комплекс только в слоях верхнего мэотиса и в раннем понте (Ростовцева, Козыренко, 2006), возникает вопрос – почему из осыпей не

переотложились прочие руководящие виды миоценовых отложений Керченского и Таманского полуостровов? Для этих отложений известны вымершие виды (*Achnanthes baldjickii* var. *podolica* Missuna, *Cymatosira savtchenkoi* Proshkina-Lavrenko, *Thalassiosira maeotica* Proshkina-Lavrenko, *Rhaphoneis maeotica* (Milovanova) Sheshukova-Poretskaya, Glezer, *Biddulphia tuomeyi* (Bailey) Roper и пр.), которые легко отличить от видов, общих для миоцена и голоцена. Эти таксоны не встречаются в переотложенном виде в четвертичных отложениях Азовского моря. Не могли же осыпаться только миоценовые породы с *A. octonarius*?

Учитывая, что в голоценовых отложениях Азовского моря доминирование *A. octonarius* отмечено только в новоазовских слоях (нижняя граница 3,4–3,1 тыс. л. н.), то возникает еще один вопрос: неужели миоценовые отложения Керченского и Таманского полуостровов начали разрушаться только 3 тыс. л. н.? Современное Азовское море начало заполняться водами из древнечерноморского бассейна около 7–6,5 тыс. л. н. (Матишов и др., 2025) и логично предположить, что максимальное обрушение берегов должно было происходить именно в период новозвксинской трансгрессии и углубления Керченского пролива. Миоценовые отложения на берегах Керченского пролива продолжают интенсивно осыпаться и в настоящее время, но массового поступления переотложенных видов *Actinocyclus* в верхних слоях колонок донных отложений и современных осадках не наблюдается. Сложно представить, что осыпающиеся отложения мзотиса и понта с *A. octonarius* смывало исключительно в Азовское море, но в четвертичных отложениях Черного моря такие горизонты не найдены.

Так ли уникальны ли были экологические условия, при которых в конце мзотиса – начале понта сформировались слои с *A. octonarius*? Вероятнее всего – нет, поскольку аналогичные слои с доминированием *A. octonarius*, помимо Азовского моря, были обнаружены также в четвертичных отложениях Каспийского (Жаковщикова, 1970) и Балтийского морей (Westman, Sohlenius, 1999). Из этого можно сделать вывод, что в разное время и в различных бассейнах периодически формировались условия (мелководных солоноватоводных водоемов), во время которых вид и разновидности *A. octonarius* продуцировали высокую численность. Приведенные выше факты свидетельствуют, что створки *A. octonarius* в четвертичных отложениях Азовского моря имеют автохтонное происхождение.

Исследование выполнено в рамках проекта РНФ № 23-17-00232. В ходе исследования использовалось оборудование ЦКП ЮНЦ РАН № 501994.

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

Список литературы

1. Гогорев Р.М., Ковалева Г.В., Назаренко А.В. *Actinocyclus pseudopodolicus* sp. nov. и внутривидовой комплекс *A. octonarius* (Bacillariophyta) из голоценовых отложений Азовского моря // Новости систематики низших растений. 2018. Т.52. Вып.1. С. 33–61. DOI: <https://doi.org/10.31111/nsnr/2018.52.1.33>
2. Жаковщикова Т.К. Диатомовые водоросли в колонках донных отложений Каспийского моря // Доклады Академии наук СССР. 1970. Т.190, №4. С. 915–918.
3. Ковалева Г.В. Палеогеография и стратиграфия средне- и верхнечетвертичных отложений Азовского моря по результатам диатомового анализа // Матишов Г.Г. (ред.). Палеогеография Приазовья в голоцене. – Ростов-на-Дону: Изд-во ЮНЦ РАН, 2019. – С. 54–111.
4. Ковалева Г.В. Результаты диатомового анализа колонок донных отложений из южной части Азовского моря и Керченского пролива // Вопросы современной альгологии. Бюллетень. Специальный выпуск. 2023. С. 88–90. URL: <http://algology.ru/2057> (дата обращения 15.06.2025). DOI: [https://doi.org/10.33624/2311-0147-2023-2\(32\)-88-90](https://doi.org/10.33624/2311-0147-2023-2(32)-88-90), EDN – QHKHDC
5. Макарова И.В., Козыренко Т.Ф. Диатомовые водоросли из морских миоценовых отложений юга Европейской части СССР. – Л.: Наука, 1966. – 69 с.

6. Матишов Г.Г., Ковалева Г.В., Коваленко Е.П., Дюжова К.В., Польшин В.В., Титов В.В. Биостратиграфия донных отложений и палеогеография Азовского моря в древне- и новоазовское время // Геоморфология и палеогеография. 2025. Т.56, №1. С. 147–160. DOI: <https://doi.org/10.31857/S2949178925010085>

7. Олиштынская А.П., Мельник А.В. Диатомовые комплексы среднего сармата северной части Черноморского региона // Тектоника і стратиграфія. 2014. Вып. 41. С. 118–124.

8. Ростовцева Ю.В., Козыренко Т.Ф. Особенности позднемиоценового диатомового осадконакопления в Керченско-Таманском прогибе // Вестник Московского университета. Сер. 4: Геология. 2006. №4. С. 20–29.

9. Ognjanova-Rumenova N., Buczkó K. Taxonomical re-investigation of Sarmatian diatoms from NE Bulgaria, hosted in the Pantocsek Collection (Budapest) // Geologica Balcanica. 2015. V.44, №1–3. P. 39–50.

10. Westman P., Sohlenius G. Diatom stratigraphy in five offshore sediment cores from the northwestern Baltic proper implying large scale circulation changes during the last 8500 years // Journal of Paleolimnology. 1999. V.22. P. 53–69.

Статья поступила в редакцию 18.06.2025; поступила после доработки 22.08.2025; принята к публикации 28.08.2025

Сведения об авторе

Ковалева Галина Витальевна – к.б.н., в.н.с., ФИЦ Южный научный центр РАН, Россия, Ростов-на-Дону (Southern Scientific Centre of RAS, Russia, Rostov-on-Don); kovaleva_galina@mail.ru; ORCID – <https://orcid.org/0000-0002-8977-1914>; SPIN-код 8693-0068.

Корреспондентский адрес: Россия, 344006, Ростов-на-Дону, пр. Чехова, 41, ЮНЦ РАН, тел. (863) 250-98-25 (206).

Origin of marker species of diatoms of the genus *Actinocyclus* Ehr. from the of the middle and late holocene deposits of the Sea of Azov

Galina V. Kovaleva

Southern Scientific Centre of RAS (Russia, Rostov-on-Don)

The paper analyzes hypotheses about the autochthony or allochthony of the most abundant representatives of the genus *Actinocyclus* Ehr. in the Middle and Upper Quaternary deposits of the Sea of Azov. Arguments are presented that cast doubt on the hypothesis that *Actinocyclus* valves may be redeposited from Miocene deposits on the coast of the Kerch and Taman Peninsulas.

Key words: Diatoms; bottom sediments; Holocene; New Azov layers; Sea of Azov

References

1. Gogorev R. M., Kovaleva G. V., Nazarenko A. V. 2018. *Actinocyclus pseudopodolicus* sp. nov. and infraspecific complex of *A. octonarius* (Bacillariophyta) from Holocene sediments of the Sea of Azov. *Novosti Sist. Nizsh. Rast.* 52(1). P. 33–61. DOI: <https://doi.org/10.31111/nsnr/2018.52.1.33> (In Russ.)

2. Kovaleva G.V. Paleogeography and stratigraphy of the Middle and Upper Quaternary deposits in the Sea of Azov based on the results of a diatom analysis. In: Matishov G.G. (Ed.) *Paleogeography of the Sea of Azov Region in the Holocene*. SSC RAS, Rostov-on-Don, 2019. P. 54–111. (In Russ.)

3. Kovaleva G.V. Results of diatom analysis of bottom sediment columns from the southern part of the Sea of Azov and the Kerch strait. *Voprosy sovremennoi algologii (Issues of modern algology)*. 2023. №2(32). P. 88–90. URL: <http://algology.ru/2057> (date: 15.06.2025). DOI: [https://doi.org/10.33624/2311-0147-2023-2\(32\)-88-90](https://doi.org/10.33624/2311-0147-2023-2(32)-88-90), EDN – QHKHDC (In Russ.)

4. Makarova I.V., Kozыrenko T.F. Diatoms from marine Miocene sediments of the southern European part of the USSR. Nauka, Leningrad, 1966. 69 p. (In Russ.)

5. Matishov G.G., Kovaleva G.V., Kovalenko E.P., Dyuzhova K.V., Polshin V.V., Titov V.V. Paleogeography and biostratigraphy of the Sea of Azov bottom sediments in the Ancient and New Azov Periods. *Geomorfologiya i Paleogeografiya*. 2025. V.56, №1. P. 147–160. DOI: <https://doi.org/10.31857/S2949178925010085> (In Russ.)
6. Ognjanova-Rumenova N., Buczkó K. Taxonomical re-investigation of Sarmatian diatoms from NE Bulgaria, hosted in the Pantocsek Collection (Budapest). *Geologica Balcanica*. 2015. V.44, №1–3. P. 39–50.
7. Olshtynskaya A.P., Melnik A.V. Diatom complexes of the Middle Sarmatian of the northern part of the Black Sea region. *Tectonics and stratigraphy*. 2014. Is. 41. P. 118–124. (In Russ.)
8. Rostovtseva Yu.V., Kozyrenko T.F. Features of late Miocene diatom sedimentation in the Kerch-Taman trough. *Vestnik Moskovskogo Universiteta, Ser. 4: Geologiya*. 2006. №4. P. 20–29. (In Russ.)
9. Westman P., Sohlenius G. Diatom stratigraphy in five offshore sediment cores from the northwestern Baltic proper implying large scale circulation changes during the last 8500 years. *Journal of Paleolimnology*. 1999. V. 22. P. 53–69.
10. Zhakovshchikova T.K. Diatoms in the columns of bottom sediments of the Caspian Sea. *Reports of the USSR Academy of Sciences*. 1970. V.190, №4. P. 915–918. (In Russ.)

ССЫЛКА НА СТАТЬЮ:

Ковалева Г.В. Происхождение маркерных видов диатомовых рода *Actinocyclus* Ehr. из отложений Азовского моря средне- и позднеголоценового возраста // Вопросы современной альгологии. 2025. № 1 (37). P. 256–260. URL: <http://algology.ru/2205>

Kovaleva G.V. Origin of marker species of diatoms of the genus *Actinocyclus* Ehr. from the of the Middle and Late Holocene deposits of the Sea of Azov. *Voprosy sovremennoi algologii (Issues of modern algology)*. 2025. № 1 (37). P. 256–260. URL: <http://algology.ru/2205>

DOI – [https://doi.org/10.33624/2311-0147-2025-1\(37\)-256-260](https://doi.org/10.33624/2311-0147-2025-1(37)-256-260); EDN – MVEDIX

Диатомовые водоросли из поверхностных осадков Азовского моря

Diatoms from bottom sediments of the Sea of Azov

Ковалева Г.В.¹, Усанова А.В.^{1,2}

Galina V. Kovaleva¹, Alexandra V. Usanova^{1,2}

¹Федеральный исследовательский центр Южный научный центр РАН – ЮНЦ РАН
(Ростов-на-Дону, Россия)

²Южный федеральный университет – ЮФУ (Ростов-на-Дону, Россия)

В статье представлены результаты анализа сообщества диатомовых водорослей из поверхностных осадков Азовского моря. Период исследования (1998, 2019, 2024 гг.) охватывают 25-летний цикл, включающий период нормальной и повышенной солености вод Азовского моря. Результаты диатомового анализа показали, что видовое разнообразие диатомей в 2024 г. увеличилось в 1,5–2 раза, по сравнению с данными 2019 г. Это означает как адаптацию альгофлоры к условиям повышенной солености, так и освоение акватории моря новыми видами морского происхождения.

Ключевые слова: диатомеи; донные отложения; Азовское море

Последние 15 лет экосистема Азовского моря переживает существенную трансформацию, связанную с повышением солености и среднегодовой температуры воды и воздуха (Berdnikov et al., 2023). В условиях продолжающегося с 2007 г. осолонения моря, изучение микроскопических водорослей является важным аспектом мониторинга, позволяя наблюдать многолетние изменения, происходящие в морской экосистеме. Постепенное повышение солености приводит к трансформации видового состава и размерной структуры диатомовых водорослей Азовского моря.

Исследуя створки диатомовых водорослей из поверхностных донных отложений, мы имеем возможность анализировать не сезонные, а многолетние изменения флоры микроводорослей. Проведенные ранее исследования (Ковалева, Гаврилова, 2021, Ковалева и др., 2024) показали перспективность таких исследований. Помимо целей гидробиологического мониторинга, информация об изменениях видового состава сообщества диатомовых водорослей в условиях повышения солености является очень актуальной для палеоэкологических реконструкций. С начала своего существования (около 6,5 тыс.л.н.) как отдельный морской бассейн, Азовское море проходило несколько трансгрессивно-регрессивных этапов (Ковалева, 2019), которые сопровождались изменениями гидролого-гидрохимического режима. Для более точного понимания процессов, происходивших в прошлом, мы изучаем влияние повышения солености в современном Азовском море на изменение видового состава диатомовых водорослей.

Продолжая многолетние исследования (Ковалева, Гаврилова, 2021, Ковалева и др., 2024), проведено сравнение образцов поверхностных донных отложений из разных

районов Азовского моря, отобранных в 1998 г. (до периода осолонения, начавшегося в 2007 г.), 2019 и 2024 г. (рис. 1а).

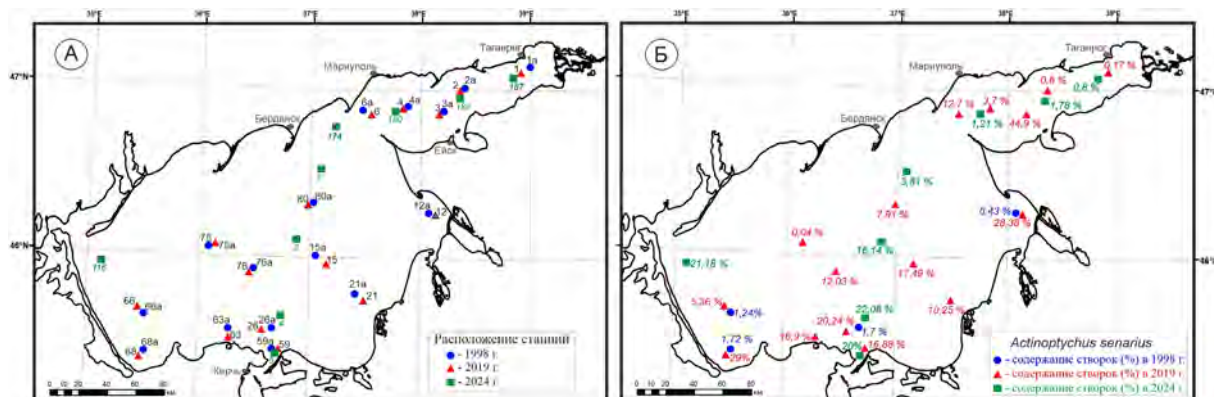


Рис. 1. Карта расположения станций отбора проб (А) и содержание створок *Actinopterychus senarius* (Б) в поверхностных осадках в 1998, 2019 и 2024 гг.

Fig. 1. Map of the location of sampling stations (A) and the abundance of *Actinopterychus senarius* valves in bottom sediments in 1998, 2019 and 2024.

При сопоставлении относительной численности створок наиболее многочисленных (не менее 5% от общего числа створок) таксонов диатомовых водорослей в поверхностных осадках Таганрогского залива в 1998, 2019 и 2024 г. было выявлено, что за последние 25 лет произошла существенная трансформация видового состава кремниевых микроводорослей.

В донных отложениях Таганрогского залива до периода осолонения (1998 г.) самыми массовыми таксонами были представители рода *Chaetoceros* spp. К 2019 г. их численность уменьшилась почти в 2 раза (до 14,6%), а к 2024 году они стали встречаться единично (0,2%). Наоборот, численность представителей морского рода *Thalassiosira* – от 1998 к 2019 г. увеличилась практически в 2 раза (до 30,8%). В 2024 г. суммарная численность *Thalassiosira* sp. и *Thalassiosira ordinaria* Makar. составляла 18 %. Относительную численность *T. ordinaria* учитывали отдельно, поскольку этот вид впервые зарегистрирован в Азовском море, а кроме того, его относительная численность довольно высока (13,9%). Морской крупноразмерный вид диатомовых *Actinopterychus senarius* (Ehrenberg) Ehrenberg в 1998 г. не был отмечен в осадках Таганрогского залива, в 2019 г. его относительная численность достигла 10,5%, но к 2024 г. снова снизилась до 1,9% (рис. 1б), хотя ареал его обитания в Таганрогском заливе расширился до восточной (предельтовой) части.

Численность донных форм (*Staurosira construens* Ehrenberg, *Staurosirella martyi* (Héribaude-Joseph) E.A.Morales & K.M.Manoylov) в 2019 г. выросла до 10–11%, хотя в 1998 г. численность этих таксонов едва достигала 1–3%. В 2024 г. видовой состав кардинально изменился, а доминирующими таксонами среди бентосных форм стали представители рода *Pleurosigma* sp., чья относительная средняя численность достигала 16,8%. Крупноразмерные представители морского рода *Pleurosigma* sp. не типичны для Таганрогского залива, но в 2024 г. в некоторых районах этот таксон был самым массовым. Помимо *Pleurosigma* sp., в 2024 году доминировали таксоны, которые ранее отмечались редко, или вообще не были обнаружены в донных отложениях Таганрогского залива (*Cyclotella tuberculata*, *Coscinodiscus perforatus*, *C. granii*, *Thalassiosira ordinaria*).

В открытой части Азовского моря можно отметить существенное уменьшение роли доминировавших в 1998 и 2019 гг. таксонов (спор *Chaetoceros* и стоматоцист золотистых водорослей). Впервые за весь 25-летний цикл наблюдений отмечено

увеличение относительной численности *Skeletonema costatum* в южной (предпроливной) части Азовского моря. Притом, что в образцах отмечены типичные для этого района моря крупноразмерные морские виды *Thalassiosira eccentrica* (Ehr.) Cleve, *Coscinodiscus* sp., *Actinopterychus senarius*, *Coscinodiscus granii* L.F.Gough, численно преобладали мелкоразмерные створки *S. costatum*.

Общей тенденцией для 2024 и 2019 гг. является продолжающаяся экспансия морского вида диатомовых водорослей *Actinopterychus senarius* (Ehrenberg) Ehrenberg по всей акватории Азовского моря, включая восточную часть залива (рис.1 б). Значимым отличием результатов диатомового анализа образцов 2024 г. стало существенное сокращение в осадках спор *Chaetoceros* spp. и стоматоцист золотистых водорослей, которые ранее были самыми массовыми таксонами в донных отложениях. Если в 2019 г. на долю спор *Chaetoceros* spp. в прикерченском районе приходилось до 30%, то в 2024 г. их количество сократилось до 8–15% от общей численности створок.

В 2024 г. в танатоценозах Таганрогского залива впервые в массе отмечены морские и солоноватоводно-морские диатомовые из рода *Pleurosigma* sp., *Coscinodiscus* sp. Впервые выявлен такой вид, как *Thalassiosira ordinaria* Makarova, ареал обитания которого ранее ограничивался Черным морем (Макарова, 1988). В проведенных ранее таксономических исследованиях рода *Thalassiosira* в Азовском море (Гогорев, Ковалева, 2017) – данный вид выявлен не был. Также впервые в 2024 г. в поверхностных осадках центральной и южной части Азовского моря были обнаружены створки *Shionodiscus caspicus* Gogorev et Kovaleva. Этот вид недавно был описан из планктона Каспийского моря (Gogorev, Kovaleva, 2024). *S. caspicus* не достигал высокой численности (0,5–1,2% от общего числа створок), но встречался на нескольких станциях.

Сообщество микроводорослей к 2024 г. адаптировалось к новым условиям повышенной солености, поскольку, судя по результатам диатомового анализа, видовое разнообразие диатомей в 2024 г. увеличилось в 1,5–2 раза, по сравнению с данными 2019 г. Это может свидетельствовать о том, что сообщество микроводорослей постепенно адаптировалось к происходящим в экосистеме изменениям и трансформировалось.

Работа выполнена в рамках госзадания ЮНЦ РАН (№ 125012000466-3). В ходе исследования использовалось оборудование ЦКП ЮНЦ РАН № 501994.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов, требующего раскрытия в данной статье.

Список литературы

1. Гогорев Р.М., Ковалева Г.В. *Thalassiosira azovica* sp. nov. и другие виды рода *Thalassiosira* (Bacillariophyta) из голоценовых отложений Азовского моря // Новости систематики низших растений. 2017. Т. 51. С. 37–56.
2. Ковалева Г.В. Палеогеография и стратиграфия средне- и верхнечетвертичных отложений Азовского моря по результатам диатомового анализа // Матишов Г.Г. (ред.). Палеогеография Приазовья в голоцене. – Ростов-на-Дону: Изд-во ЮНЦ РАН, 2019. – С. 54–111.
3. Ковалева Г.В., Гаврилова И.Ю. Изменение доминирующих видов и размерной структуры диатомовых водорослей из поверхностных донных отложений Азовского моря на протяжении последних 20 лет // Экология. Экономика. Информатика. Серия: Системный анализ и моделирование экономических и экологических систем. 2021. Т.1, №6. С. 96–103. DOI: 10.23885/2500-395X-2021-1-6-96-103
4. Ковалева Г.В., Назаренко А.В., Усанова А.В. Изменение размерной структуры осадков и видового разнообразия диатомовых водорослей из поверхностных донных отложений Азовского моря // Стратегические проблемы, угрозы и риски Азовского бассейна и Приазовья («Опасные явления – V»): материалы V Международной научной конференции памяти члена-корреспондента РАН Д.Г. Матишова (г. Ростов-на-Дону, 10–14 июля 2024 г.). – Ростов-на-Дону, 2024. – С. 310–316.
5. Макарова И.В. Диатомовые водоросли морей СССР: Род *Thalassiosira* Cl. – Л.: Наука, 1988. – 117 с.

6. Berdnikov S.V., Sorokina V.V., Kleshchenkov A.V., Tyutyunov Yu.V., Kulygin V.V., Kovaleva G.V., Bulysheva N.I. Marine indicators of climatic changes in the Sea of Azov ecosystem // *Journal of Sea Research*. 2023. V. 193. ID 102373. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.seares.2023.102373>

7. Gogorev R.M., Kovaleva G.V. *Shionodiscus caspicus* sp. nov. (Bacillariophyta, Thalassiosiraceae) from the Caspian Sea and four nomenclatural combinations for *Shionodiscus* // *Novosti sistematiki nizshikh rastenii* (Новости систематики низших растений). 2024. Т.58, №1. С. А1–А34. DOI: 10.31111/nsnr/2024.58.1.A1

Статья поступила в редакцию 18.06.2025; поступила после доработки 22.08.2025; принята к публикации 28.08.2025

Сведения об авторах

Ковалева Галина Витальевна – к.б.н., в.н.с., ФИЦ Южный научный центр РАН, Россия, Ростов-на-Дону (Southern Scientific Centre of RAS, Russia, Rostov-on-Don); kovaleva_galina@mail.ru; ORCID – <https://orcid.org/0000-0002-8977-1914>; SPIN-код 8693-0068.

Усанова Александра Витальевна – ФИЦ Южный научный центр РАН, Россия, Ростов-на-Дону (Southern Scientific Centre of RAS, Russia, Rostov-on-Don); Южный федеральный университет – ЮФУ, Россия, Ростов-на-Дону (Southern Federal University, Russia, Rostov-on-Don); a_w_u@mail.ru; ORCID – <https://orcid.org/0009-0001-5231-4445>; SPIN-код 9230-7687.

Корреспондентский адрес: Россия, 344006, Ростов-на-Дону, пр. Чехова, 41, ЮИЦ РАН, тел. (863) 250-98-25 (206).

Diatoms from bottom sediments of the Sea of Azov

Galina V. Kovaleva¹, Alexandra V. Usanova^{1,2}

¹*Southern Scientific Centre of RAS (Russia, Rostov-on-Don)*

²*Southern Federal University (Russia, Rostov-on-Don)*

The article presents the results of the analysis of the diatom community from the bottom sediments of the Sea of Azov. The study period (1998, 2019, 2024) covers a 25-year cycle, including the period of normal and increased salinity of the waters of the Sea of Azov. The results of diatom analysis showed that the species diversity of diatoms in 2024 increased by 1.5 – 2 times, compared to the data of 2019. This means both the adaptation of algal flora to conditions of increased salinity and the development of the sea area by new species of marine origin.

Key words: Diatoms; bottom sediments; Sea of Azov

References

1. Berdnikov S.V., Sorokina V.V., Kleshchenkov A.V., Tyutyunov Yu.V., Kulygin V.V., Kovaleva G.V., Bulysheva N.I. Marine indicators of climatic changes in the Sea of Azov ecosystem. *Journal of Sea Research*. 2023. V.193. ID 102373. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.seares.2023.102373>
2. Gogorev R. M., Kovaleva G. V. *Thalassiosira azovica* sp. nov. and some other *Thalassiosira* species (Bacillariophyta) from Holocene sediments of the Sea of Azov. *Novosti sistematiki nizshikh rastenii*. 2017. V.51. P. 37–56. (In Russ.)
3. Gogorev R.M., Kovaleva G.V. *Shionodiscus caspicus* sp. nov. (Bacillariophyta, Thalassiosiraceae) from the Caspian Sea and four nomenclatural combinations for *Shionodiscus*. *Novosti sistematiki nizshikh rastenii*. 2024. Т.58, № 1. P. А1-А34. DOI: 10.31111/nsnr/2024.58.1.A1
4. Kovaleva G.V. Paleogeography and stratigraphy of the Middle and Upper Quaternary deposits in the Sea of Azov based on the results of a diatom analysis. In: Matishov G.G. (Ed.) *Paleogeography of the Sea of Azov Region in the Holocene*. SSC RAS, Rostov-on-Don. P. 54–111. (In Russ.)
5. Kovaleva G.V., Gavrilova I.Yu. Changes in the dominant species and size structure of diatoms from the surface bottom sediments of the Sea of Azov over the past 20 years. *Ecology. Economy. Informatics. System*

analysis and mathematical modeling of ecological and economic systems. 2021. V.1, №6. P. 96–103. DOI: 10.23885/2500-395X-2021-1-6-96-103 (In Russ.)

6. Kovaleva G.V., Nazarenko A.V., Usanova A.V. Changes in the size structure of sediments and species diversity of diatoms from the surface sediments of the Sea of Azov. Strategic problems, threats and risks of the Azov basin and the Azov region (“Dangerous phenomena – V”): Proceedings of the V Int. Scientific Conf. in memory of Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences D.G. Matishov (Rostov-on-Don, July 10–14, 2024). Rostov-on-Don, 2024. P. 310–316. (In Russ.)

7. Makarova I.V. Diatoms of the seas of the USSR: Genus *Thalassiosira* Cl. Nauka, Leningrad, 1988. 117 p. (In Russ.)

ССЫЛКА НА СТАТЬЮ:

Ковалева Г.В., Усанова А.В. Диатомовые водоросли из поверхностных осадков Азовского моря // Вопросы современной альгологии. 2025. № 1 (37). P. 261–265. URL: <http://algology.ru/2206>

Kovaleva G.V., Usanova A.V. Diatoms from bottom sediments of the Sea of Azov. *Voprosy sovremennoi algologii (Issues of modern algology)*. 2025. № 1 (37). P. 261–265. URL: <http://algology.ru/2206>

DOI – [https://doi.org/10.33624/2311-0147-2025-1\(37\)-261-265](https://doi.org/10.33624/2311-0147-2025-1(37)-261-265); EDN – OQXUNH

Предварительные результаты диатомового анализа донных отложений безымянного озера «Чуна 2/2020» (Мурманская область)

Preliminary results of diatom analysis of bottom sediments from an unnamed lake “Chuna 2/2020” (Murmansk region)

Косова А.Л.¹, Денисов Д.Б.¹, Николаева С.Б.²

Anna L. Kosova, Dmitrii B. Denisov, Svetlana B. Nikolaeva

¹*Институт проблем промышленной экологии Севера КНЦ РАН (Апатиты, Россия)*

²*Геологический институт КНЦ РАН (Апатиты, Россия)*

Представлены результаты комплексного исследования донных отложений безымянного озера «Чуна 2/2020», расположенного в районе палеосейсмодислокации «Чуна» (оз. Экостровская Имандра, Мурманская область). Выявлены два периода снижения общего обилия и видового богатства диатомовых водорослей в литологически однородных донных отложениях. Дифференциация створок по размеру и целостности указывает на их осаждение, в результате взмучивания, возникшего вследствие эрозионных процессов, вызванных палеоземлетрясениями в среднем и позднем голоцене.

Ключевые слова: диатомеи; донные отложения; палеоземлетрясения; голоцен; Имандровская депрессия, Мурманская область

Мурманская область занимает северо-восточную часть Фенноскандинавского (Балтийского) щита. И на основе данных современного сейсмического мониторинга всегда рассматривалась как территория со слабой тектонической и сейсмической активностью. Исследования последних десятилетий существенно изменили эти взгляды. В начале 90-х годов прошлого века стали обнаруживаться и изучаться поздние и послеледниковые разломы и связанные с ними очаги палеоземлетрясений (Lukashov, 1995; Николаева, 2001; Shvarev et al., 2018; Nikolaeva et al., 2021; Николаева, 2024). Появились новые данные о следах палеоземлетрясений в донных отложениях озер (Nikolaeva et al., 2018; Толстобров и др., 2018). При литологическом исследовании внимание направлено на деформации в литологии осадков, которые указывают на нарушения нормальных условий осадконакопления. Следовательно, нарушаются и условия обитания живых организмов, в частности, диатомовых водорослей. Комплексное изучение донных отложений (ДО) с использованием литологического, диатомового и геохронологического анализов позволяет с достаточно высокой надежностью восстановить историю накопления ДО (Shelekhova, Lavrova, 2019; Косова и др., 2020).

В данной работе представлены предварительные результаты комплексного изучения ДО безымянного озера «Чуна 2/2020» (оз. Чунское), расположенного в верхней части западного борта впадины озера Экостровская Имандра (рис.1), в 0,2 км от сеймотектонического ущелья «Чуна» (N 69°34.94'; E 32°29.60').



Рис. 1. Карта расположения безымянного озера в районе палеосейсмодислокации «Чуна».

Fig. 1. Map of the location of the unnamed lake in the area of the paleoseismic dislocation "Chuna".

Подготовка проб донных отложений для диатомового анализа проведена по стандартной общепринятой методике (Давыдова, 1985), по схеме, принятой в ИППЭС КНЦ РАН (Методы..., 2019). Определение диатомей велось с помощью светового микроскопа «Motic BA300» при увеличении в 1000 раз, с применением иммерсионного объектива. Все обнаруженные в препаратах створки водорослей определяли, по возможности, до внутривидовых таксономических категорий согласно определителям (Krammer, Lange-Bertalot, 1988–1991; Krammer, 2003). Классификация уточнялась согласно международной альгологической базе данных (International Algological Database Guiry & Guiry). Постоянные препараты, а также очищенный материал створок диатомовых водорослей хранятся в гербарии Института проблем промышленной экологии Севера ФИЦ КНЦ РАН (Боровичев и др., 2018). Данные о таксономическом составе диатомей и их количестве заносились в базу данных «Водоросли Евро-Арктического региона» (Косова, Денисов, 2018).

В разрезе донных отложений вскрыта следующая последовательность осадков (описание снизу вверх, глубина указана от поверхности воды в озере):

793–800 см – тонкослойные алевриты и пески, с включениями в песок фрагментов разной формы светло-серой глины (2х2,5 см);

772–793 см – алеврит светло-серого цвета с прослоями тонкозернистого серого песка (толщиной 3–3,5 см), с примесью органики (прослой гиттии?);

757–772 см – слоистая толща, состоящая из гиттии и алеврита (прослой 2 мм), контакт с нижележащим слоем четкий, ровный. Переходная зона от гиттии к алевриту;

735–757 см – гиттия от коричневой до светло-коричневой, с включением единичных зерен гравия(!), размерами 0,7х0,4 см (интервал 735–738 см). В этом интервале отмечаются многочисленные фрагменты коры березы разной формы и

размеров от мелких 0,3 см до 1–3 см, растительные остатки и веточки до 0,4 см в поперечном сечении. С уровня 750 см цвет гиттии постепенно становится более светлым. Контакт с нижележащим слоем постепенный, появляются минеральные частицы;

700–735 см – гиттия коричневая неяснослоистая;

600–700 см – гиттия слоистая, коричневая до темно-коричневой, с прослоями темно-бурого цвета (толщиной от 0,5 см до 2–5 см). Слоистость неравномерно распределена по длине интервала. В интервале глубин 664–675 см отмечаются скопления коры березы, растительного детрита, веточек. Переход в подстиляющий слой постепенный;

500–600 см – гиттия коричневая, рыхлая, обводненная, обогащенная растительными остатками. С глубиной появляется неясная слоистость. Контакт с подстиляющим слоем постепенный.

В строении разреза выделяются две основные фации осадков: приледникового озера (алеюриты и пески) и современного пресноводного озера (гиттия), что подтверждается предварительными результатами диатомового анализа.

Методом диатомового анализа изучено 28 образцов, в которых обнаружено 195 видов диатомовых водорослей. Ведущее место по количеству таксонов занимают рода *Eunotia* (25), *Pinnularia* (19), *Cymbella* (9). Численность одно- и двувидовых родов – 36 (или 62 % от общего числа родов). По составу диатомовых комплексов выделено восемь зон развития диатомовых водорослей (рис. 2).

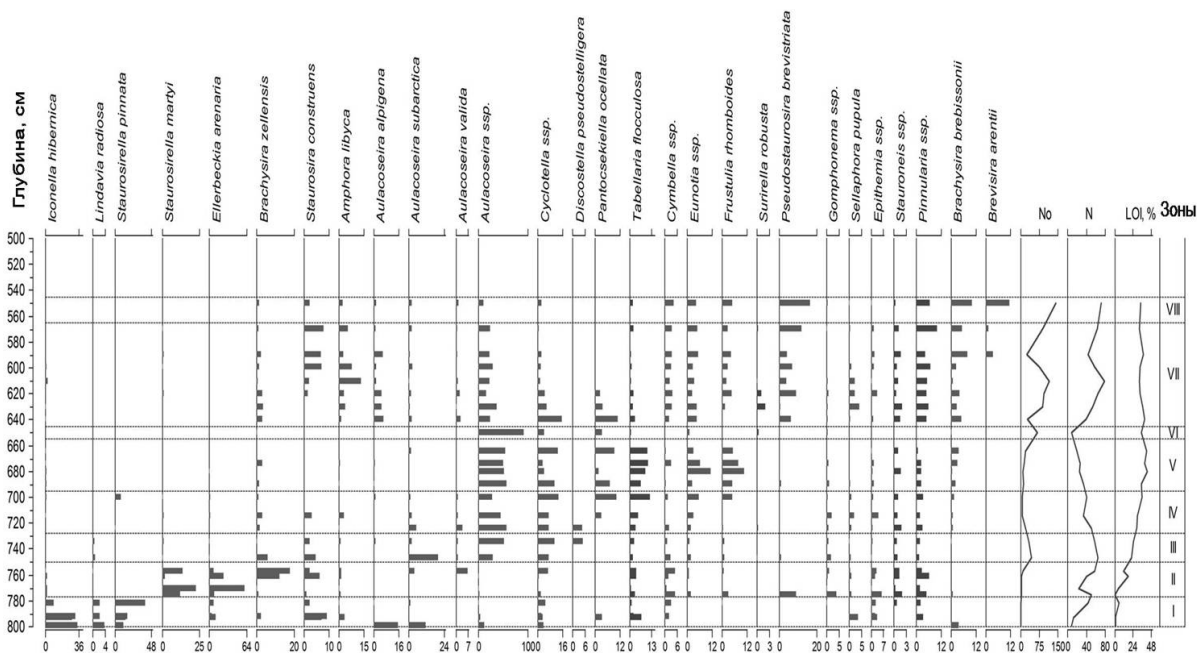


Рис. 2. Распределение массовых видов диатомовых водорослей в донных отложениях безымянного озера «Чуна2/2020» (%), No – обилие створок (млн.ств./г), N – количество видов, LOI – потери при прокаливании (%).

Fig. 2. Distribution of mass species of diatoms in the sediments of the unnamed lake “Chuna 2/2020” (%), No – concentration of valves in dry matter (n valves × g-1), N – number of species, LOI – loss on ignition, %.

Зона I (775–800 см) и зона II (757–772 см) характеризуются низким обилием створок диатомей, которое возрастает от 66 тыс.ств./г до 8 млн.ств./г. Видовое богатство увеличивается к верхней части зоны с 9 до 50 таксонов. В интервале 792–800 см доминируют крупноклеточная *Iconella hibernica* (Ehrb.) Ruck и *Staurosirella pinnata*

(Ehrb.) Williams. Состав диатомей указывает на формирование отложений в условиях слабощелочной реакции среды и низкой продуктивности. В слое 771–772 см в составе диатомовых комплексов 61% приходится на крупноклеточную *Ellerbeckia arenaria* (D.Moore ex Ralfs) Dorofeyuk & Kulikovskiy), которая относится к стенотермным (холодолюбивым) формам. Увеличение показателей видового богатства, общего обилия и содержания органического вещества отражают улучшение климатических условий в конце данного периода.

Зона III (724–748 см) представлена гиттией с различными включениями. На начальном этапе наблюдается значительное увеличение общего обилия створок до 42 млн. ств./г, которое к верхней части зоны снижается до 18 млн. ств./г. Такая же динамика характерна и для видового богатства: с 65 видов снижается до 50. В этот период происходит смена доминирующей группы диатомей: планктонные формы, представленные представителями рода *Aulacoseira*, занимают лидирующее положение и на их долю приходится 60%. Среди бентосных форм преобладают *Brachysira zellensis* (Grunow) Round и *Staurosira construens* Ehrenberg. Отмечается увеличение количества ломаных створок, хорошая сохранность лишь у мелкоклеточных створок.

Зона IV (700–715 см) соотносится с гиттией коричневой неяснослоистой. Общее обилие створок диатомей в отложениях уменьшается до 5 млн. ств./г при сохранении возрастающей динамики содержания органического вещества в отложениях (35%). Видовое богатство снижается до 40 видов. Соотношение планктонных и бентосных видов в слое 700–701 см одинаково и по относительной численности, и по обилию створок. Сохранность створок очень плохая.

Зона V (664–691 см) соответствует гиттии слоистой со скоплениями коры березы, растительного детрита, веточек. Наблюдается увеличение общего обилия створок диатомей до 18 млн. ств./г. При этом видовое богатство продолжает снижаться, в слое 664–665 см обнаружено всего 20 таксонов, из которых на долю планктонных видов приходится 63% и представлены они мелкоклеточными представителями из родов *Aulacoseira* и *Cyclotella*.

Зона VI (650–651 см) 92% планктонные мелкоклеточные представители рода *Aulacoseira*. Видовое богатство представлено 9 видами, из которых целые створки сохранились лишь у *Aulacoseira* sp. Общее обилие составляет 66 млн. ств./г.

Зона VII (570–641 см) характеризуется увеличением общего обилия створок до слоя 610–611 см (116 млн. ств./г) и снижением в вышележащих слоях до 23 млн. ств./г в слое 590–591 см. Сходная динамика наблюдается и для видового богатства. Процентное содержание бентосных форм диатомей возрастает, и с глубины 620–621 см они становятся доминирующей группой. Развиваются *Amphora libyca* Ehrb., *Karayevia laterostrata* (Hustedt) Bukhtiyarova, крупноклеточные диатомей *Surirella robusta* var. *robusta* Ehrb. и *Iconella hibernica*, представители рода *Pinnularia* (*P. biceps* W.Gregory, *P. nodosa* (Ehrenberg) W.Smith). Существенная доля по-прежнему принадлежит планктонным формам, представленным *Aulacoseira* spp. (рис. 2). Сохранность створок хорошая, сохранились целыми даже крупноклеточные створки.

Слой 599–600 см и 590–591 см характеризуются снижением общего обилия (до 23 млн. ств./г) и видового богатства (до 43 видов) диатомей. В слое 590–591 см сохранность створок плохая, целые лишь мелкоклеточные створки. В этих слоях при литологическом анализе были обнаружены растительные фрагменты.

Выше в слое 570–571 см наблюдается восстановление спокойных условий. Вновь увеличивается общее обилие (88 млн. ств./г) и видовое богатство (63 вида) диатомовых водорослей. Доминирует планктонно-бентосный вид *Pseudostaurosira brevistriata* (Grunow) D.M.Williams, развитие которого отмечено в более теплые периоды голоцена (Podritske, Gajewski, 2007). В группу субдоминантов входят бентосные *Amphora libyca*, *Brachysira brebissonii* R.Ross, *Pinnularia interrupta* W.Smith.

Зона VIII (550–561 см). Характеризуется максимальными значениями общего обилия створок (142 млн. ств./г) и видового богатства (71 вид) диатомей по всей колонке. К группе доминантов присоединяются бентосные ацидофильные виды: *Brevisira arentii* (Kolbe) Krammer, *Brachysira brebissonii*. Увеличивается содержание видов, характерных для закисленных озер и болот: *Eunotia* spp., *Frustulia* spp., *Pinnularia* spp. (рис. 2).

Результаты предварительного исследования ДО безымянного озера «Чуна2/2020» показывают, что в двух интервалах колонки донных отложений (664–715 см, 590–591 см) наблюдалась повышенная фрагментация створок, низкие показатели общего обилия и видового богатства диатомовых водорослей. Данные минимумы выделяются в горизонтах донных отложений, состоящих из макро- и микроостатков растений и торфа, не типичных для нормальных условий осадконакопления. Эти горизонты могли образоваться за счет обрушения деревьев и кустарников с близлежащего сбросового уступа в озерную котловину во время землетрясения, которое привело к нарушению условий обитания диатомовых водорослей, особенно бентосных форм, клетки которых прикрепляются к субстрату студенистыми ножками. В дальнейшем, при осаднении донных отложений, происходила дифференциация створок диатомовых водорослей по их размеру и целостности.

Работа выполнена в Институте проблем промышленной экологии Севера КНЦ РАН в рамках темы НИР FMEZ-2025-0061 и в Геологическом институте КНЦ РАН в рамках темы НИР FMEZ-2024-0007.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов, требующего раскрытия в данной статье.

Список литературы

1. Боровичёв Е.А., Денисов Д.Б., Корнейкова М.В., Исаева Л.Г., Разумовская А.В., Химич Ю.Р., Мелехин А.В., Косова А.Л. Гербарий ИППЭС КНЦ РАН // Труды Кольского научного центра РАН. 2018. Т. 9. № 9–6. С. 179–186. DOI: <https://doi.org/10.25702/KSC.2307-5252.2018.9.9.179-186>
2. Давыдова Н.Н. Диатомовые водоросли-индикаторы природных условий водоемов в голоцене. – Л.: Наука. Ленингр. отд-ние, 1985. – 253 с.
3. Косова А.Л., Денисов Д.Б. Водоросли Евро-Арктического региона. Автор. св-во № 2018621734 от 02.11.2018.
4. Косова А.Л., Денисов Д.Б., Николаева С.Б. Таксономическое разнообразие диатомовых комплексов голоценовых донных отложений малых водоемов депрессии озера Имандра // Биосфера. 2020. Т. 12. № 1–2. С. 19–31. DOI: <http://doi.org/10.24855/biosfera.v12i1.538>.
5. Николаева С.Б. Палеосейсмические проявления в северо-восточной части Балтийского щита и их геолого-тектоническая позиция // Геоморфология. 2001. №4. С. 66–74.
6. Николаева С.Б. Палеосейсмодислокации района хребта Муста-Тунтури (СЗ Кольского региона) // Труды Ферсмановской научной сессии ГИ КНЦ РАН. 2024. № 21. С. 190–198. DOI: <https://doi.org/10.31241/FNS.2024.21.023>
7. Толстобров Д.С., Толстоброва А.Н., Колька В.В., Корсакова О.П., Субетто Д.А. Возможные следы голоценовых цунами в озерных отложениях в районе пос. Териберка (Кольский полуостров) // Труды КарНЦ РАН. 2018. № 9. С. 92–102. DOI: <http://doi.org/10.17076/lim865>.
8. Guiry M.D., Guiry G.M. AlgaeBase. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway. 2023. <http://www.algaebase.org> (дата обращения: 10.03.2025).
9. Krammer K. Cymbopleura, Delicata, Navicymbula, Gomphocymbellopsis, Afrocybella // H. Lange-Bertalot (Ed.), Diatoms of Europe, 4. Ruggell: A. R. G. Gantner Verlag K. G., 2003. 530 p.
10. Krammer K., Lange-Bertalot H. Bacillariophyceae, Subwasserflora von Mitteleuropa. V.2(1–4). Stuttgart/ Jena: Gustav Fisher Verlag, 1988–1991.
11. Lukashov A.D. Paleoseismotectonics in the Northern Part of Lake Onega (Zaonezhskij Peninsula, Russian Karelia). – Nuclear Waste Disposal Research Report YST-90. Geological Survey of Finland, Espoo, 1995. – 36 p.

12. Nikolaeva S.B., Nikonov A.A., Shvarev S.V. Late Glacial and Postglacial Faulting in the Russian Part of the Fennoscandian Shield // H. Steffen, O. Olesen, R. Sutinen (Eds). Glacially-Trigged Faulting. – Cambridge University Press, 2021. – P. 246–260. DOI: <https://doi.org/10.1017/9781108779906.018>.

13. Nikolaeva S.B., Nikonov A.A., Shvarev S.V., Rodkin M.V. Detailed Paleoseismogeological Studies in the Side Zone of the Imandra Lake Depression (Kola Region): New Approaches and Results // Russian Geology and Geophysics. 2018. V.59 (6). P.697–708. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rgg.2018.05.008>.

14. Shelekhova T.S., Lavrova N.B. Paleoenvironmental Reconstructions and Sedimentological Evidence of Paleoseismic Activity ca 9000 yr BP in Karelia, NW Russia, Based on Lake Sediment Studies on Mount Vottovaara // Baltica. 2019. V.32 (2). P. 90–201. DOI: <https://doi.org/10.5200/baltica.2019.2.6>.

15. Shvarev S.V., Nikonov A.A., Rodkin M.V., Poleshchuk A.V. The Active Tectonics of the Vuoksi Fault Zone in the Karelian Isthmus: Parameters of Paleoeearthquakes Estimated from Bedrock and Softsediment Deformation Features // Bulletin of the Geological Society of Finland. 2018. V.90. P. 257–273. DOI: <https://doi.org/10.17741/bgsf/90.2.009>.

Статья поступила в редакцию 18.06.2025; поступила после доработки 20.08.2025; принята к публикации 28.08.2025

Сведения об авторе

Косова Анна Львовна – вед. инженер, Институт проблем промышленной экологии Севера – обособленное подразделение ФГБУН ФИЦ «Кольский научный центр РАН» Россия, Апатиты (The Institute of North Industrial Ecology Problems – separate subdivision of the Federal State Budgetary Institution of Science of the Federal Research Centre “Kola Science Centre” (INEP KSC RAS), Russia, Apatity); annkosova1976@yandex.ru; ORCID – <https://orcid.org/0000-0001-5303-5133>; SPIN-код 4226-7929.

Денисов Дмитрий Борисович – к.б.н., в.н.с., Институт проблем промышленной экологии Севера – обособленное подразделение ФГБУН ФИЦ «Кольский научный центр РАН» Россия, Апатиты (The Institute of North Industrial Ecology Problems – separate subdivision of the Federal State Budgetary Institution of Science of the Federal Research Centre “Kola Science Centre” (INEP KSC RAS), Russia, Apatity); proffessuir@gmail.com; ORCID – <https://orcid.org/0000-0001-5403-5661>; SPIN-код 7215-3063.

Николаева Светлана Борисовна – к.г.-м.н., в.н.с., Геологический институт – обособленное подразделение ФГБУН ФИЦ «Кольский научный центр РАН» Россия, Апатиты (Geological Institute – separate subdivision of the Federal State Budgetary Institution of Science of the Federal Research Centre “Kola Science Centre”, Russia, Apatity); s.nikolaeva@ksc.ru; ORCID – <https://orcid.org/0000-0002-6658-0496>; SPIN-код 8357-6095.

Корреспондентский адрес: Россия, 184209, Мурманская обл., Апатиты, мкн. Академгородок, 14а, ИППЭС ФИЦ КНЦ РАН, тел. (81555) 6-10-93.

Preliminary results of diatom analysis of bottom sediments from an unnamed lake “Chuna 2/2020” (Murmansk region)

Anna L. Kosova¹, Dmitrii B. Denisov¹, Svetlana B. Nikolaeva²

¹The Institute of North Industrial Ecology Problems – separate subdivision of the FRC «Kola Science Centre» (INEP KSC RAS) (Russia, Apatity)

²Geological Institute – separate subdivision of the FRC «Kola Science Centre» (Russia, Apatity)

The results of a comprehensive study of bottom sediments of the unnamed lake “Chuna 2/2020”, located in the area of the paleoseismic dislocation “Chuna” (Lake Ekostrovskaya Imandra, Murmansk region) are presented. Two periods of decrease in the overall abundance and species richness of diatoms in lithologically homogeneous bottom sediments have been identified. Differentiation of valves by size and integrity indicates their deposition as a result of resuspension caused by erosional processes caused by paleoeearthquakes in the Middle and Late Holocene.

Key words: Diatoms; sediments; Holocene; paleoeearthquake; Imandra depression, Murmansk region

References

1. Borovichev E.A., Denisov D.B., Korneykova M.V., Isaeva L.G., Razumovskaya A.V., Khimich Yu.R., Melechin A.V., Kosova A.L. Herbarium of INEP KSC RAS. *Proceedings Kola Science Centre*. 2018. V.9, № 9–6. P. 179–186. DOI: <https://doi.org/10.25702/KSC.2307-5252.2018.9.9.179-186> (In Russ.)
2. Davydova N.N. Diatoms-indicators of natural conditions of reservoirs in the Holocene. Nauka, Leningrad, 1985. 253 p. (In Russ.)
3. Guiry M.D., Guiry G.M. AlgaeBase. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway. 2023. <http://www.algaebase.org> (date: 10.03.2025).
4. Kosova A.L., Denisov D.B. Algae of the Euro-Arctic region. Author. CB No. 2018621734. 02.11.2018.
5. Kosova A.L., Denisov L.B., Nikolayeva S.B. Taxonomic diversity of diatom complexes of Holocene bottom sediments of small water bodies within the Lake Imandra depression. *Biosphere*. 2020. V.12, №1–2. P. 19–31. DOI: <http://doi.org/10.24855/biosfera.v12i1.538> (In Russ.)
6. Krammer K. Cymboplectra, Delicata, Navicymbula, Gomphocymbellopsis, Afrocybella. In: H. Lange-Bertalot (ed.), *Diatoms of Europe*, 4. Ruggell: A. R. G. Gantner Verlag K. G., 2003. 530 p.
7. Krammer K., Lange-Bertalot H. Bacillariophyceae, Subwasserflora von Mitteleuropa. V.2(1–4). Gustav Fisher Verlag, Stuttgart, Jena, 1988–1991.
8. Lukashov A.D. Paleoseismotectonics in the Northern Part of Lake Onega (Zaonezhskij Peninsula, Russian Karelia). Nuclear Waste Disposal Research Report YST-90. Geological Survey of Finland, Espoo, 1995. 36 p.
9. Nikolaeva S.B. Paleoseismic dislocations of the northeastern part of the Baltic Shield and their geological-tectonic position. *Geomorfologiya*. 2001. №4. P. 66–74. (In Russ.)
10. Nikolaeva S.B. Paleoseismic dislocations of the Musta-Tunturi ridge area (NW Kola region). *Proceedings of the Fersman Scientific Session of the State Institute of Physics and Technology of the RAS*. 2024. № 21. P. 190–198. DOI: <https://doi.org/10.31241/FNS.2024.21.023> (In Russ.)
11. Nikolaeva S.B., Nikonov A.A., Shvarev S.V. Late Glacial and Postglacial Faulting in the Russian Part of the Fennoscandian Shield. In: H. Steffen, O. Olesen, R. Sutinen (Eds.), *Glacially-Triggered Faulting*. Cambridge University Press, 2021. P. 246–260. DOI: <https://doi.org/10.1017/9781108779906.018>
12. Nikolaeva S.B., Nikonov A.A., Shvarev S.V., Rodkin M.V. Detailed Paleoseismogeological Studies in the Side Zone of the Imandra Lake Depression (Kola Region): New Approaches and Results. *Russian Geology and Geophysics*. 2018. V. 59 (6). P. 697–708. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rgg.2018.05.008>
13. Shelekhova T.S., Lavrova N.B. Paleoenvironmental Reconstructions and Sedimentological Evidence of Paleoseismic Activity ca 9000 yr BP in Karelia, NW Russia, Based on Lake Sediment Studies on Mount Vottovaara. *Baltica*. 2019. V. 32 (2). P. 90–201. DOI: <https://doi.org/10.5200/baltica.2019.2.6>
14. Shvarev S.V., Nikonov A.A., Rodkin M.V., Poleshchuk A.V. The Active Tectonics of the Vuoksi Fault Zone in the Karelian Isthmus: Parameters of Paleoequakes Estimated from Bedrock and Softsediment Deformation Features. *Bulletin of the Geological Society of Finland*. 2018. V.90. P. 257–273. DOI: <https://doi.org/10.17741/bgsf/90.2.009>
15. Tolstobrov D.S., Tolstobrova A.N., Kolka V.V., Korsakova O.P., Subetto D.A. Putative records of the Holocene tsunamis in lacustrine bottom sediments near the Teriberka Settlement (Kola Peninsula, Russia). *Proceedings of the Karelian Scientific Center of the RAS*. 2018. № 9. P. 92–102. DOI: [10.17076/lim865](https://doi.org/10.17076/lim865) (In Russ.)

ССЫЛКА НА СТАТЬЮ:

Косова А.Л., Денисов Д.Б., Николаева С.Б. Предварительные результаты диатомового анализа донных отложений безымянного озера "Чуна 2/2020" (Мурманская область) // Вопросы современной альгологии. 2025. № 1 (37). P. 266–272. URL: <http://algology.ru/2207>

Kosova A.L., Denisov D. B., Nikolaeva S.B. Preliminary results of diatom analysis of bottom sediments from an unnamed lake "Chuna 2/2020" (Murmansk region). *Voprosy sovremennoi algologii (Issues of modern algology)*. 2025. № 1 (37). P. 266–272. URL: <http://algology.ru/2207>

DOI – [https://doi.org/10.33624/2311-0147-2025-1\(37\)-266-272](https://doi.org/10.33624/2311-0147-2025-1(37)-266-272); EDN – QFFFTL

Голоценовые и позднплейстоценовые комплексы диатомовых водорослей из отложений подводного хребта Ширшова

Holocene and Late Pleistocene diatom assemblages from deposits of the Shirsov submarine Ridge

Кузьмина В.А., Артемова А.В.

Vasilina A. Kuzmina, Antonina V. Artemova

*Тихоокеанский океанологический институт имени В.И. Ильичева – ТОИ ДВО РАН
(Владивосток, Россия)*

В работе представлены результаты исследования диатомовых комплексов голоценовых и позднплейстоценовых отложений подводного хребта Ширшова (Берингово море). На основе количественного и качественного анализа выделены диатомовые комплексы, отражающие смену доминирующих видов и экологических групп при смене ледниковых и межледниковых периодов. Анализ диатомовых комплексов позволил выявить три этапа в развитии палеосреды голоцена и позднего плейстоцена, характеризующихся различной температурой, уровнем моря, характером ледовой обстановки и поступлением питательных веществ.

Ключевые слова: диатомеи; донные осадки; голоцен; поздний плейстоцен; Берингово море; хребет Ширшова

Хребет Ширшова расположен в центральной части глубоководной котловины на пути основных течений Берингова моря. Особенности рельефа способствуют усилению вертикального перемешивания воды, что напрямую влияет на поступление питательных веществ, стимулируя биологическую продуктивность и последующий цикл углерода, азота, фосфора и кремния. Этот процесс стимулирует рост диатомовых водорослей, которые являются высокочувствительными индикаторами условий среды (температура воды, солёность, уровень моря, ледовая обстановка, освещённость и концентрация питательных веществ).

Целью исследования была реконструкция изменений палеоокеанологических изменений условий в районе хребта Ширшова в течение голоценового и позднплейстоценового периода на основе диатомового анализа.

Материалом для изучения послужила колонка глубоководных осадков LV76-26-2 (56°58.8750 с.ш., 170°39.4804 в.д.), отобранная в районе хребта Ширшова на глубине 1164,46 м в Российско-Китайской экспедиции ТОИ ДВО РАН в 2016 г. Количественный и качественный анализ диатомовых водорослей выполнен при помощи микроскопа Микмед-6 (увеличение $\times 600$ – $\times 1200$). Видовой состав и концентрация створок сопоставлялись с геохимическими и литологическими данными (хлорин, $C_{org.}$, $CaCO_3\%$, цветность b , $\delta^{13}C$ PDB, $\delta^{18}O$ PDB, данные магнитной восприимчивости осадка и

содержание материала ледового разноса (IRD)). Полученные данные соотносились с результатами предыдущих исследований для реконструкции палеоклиматических условий над подводным хребтом Ширшова в голоцене и позднем плейстоцене.

Состав диатомей в колонке и другие данные отражают три периода: голоцен, поздний дриас и бёллинг/аллерёд. Выявлены разнообразные комплексы диатомей, которые включают в себя холодноводные открыто-океанические виды, тепловодные виды, виды, приуроченные к зоне апвеллинга, виды связанные со льдом, виды шельфовой зоны и вымершие виды. В осадках почти отсутствует ледовый комплекс, который связан с образованием льда в акватории, что говорит о том, что постоянный лёд над этим районом не образовывался, вероятно влияние льда могло происходить посредством его переноса с прибрежной/шельфовой зоны (Алексеева, 2015).

В позднем плейстоцене регрессия моря обернулась частичным или полным осушением шельфа Берингова моря. В это время устья рек приблизились к глубоководной котловине, что увеличивало вынос терригенной взвеси. Кроме того, был увеличен поток осадочного материала, приходящего с припайным льдом/потоком воды на хребет Ширшова (Алексеева и др., 2015; Murdmaa et al., 2019). Это происходило из-за расширения береговой зоны и осушенного шельфа (Алексеева, 2015).

Бёллинг/аллерёд и поздний дриас

В осадках в это время доминируют следующие диатомеи: открыто-океанический холодноводный вид *Thalassiosira antarctica*, *Thalassionema nitzschioides* var. *umitakii*, виды шельфовой зоны *Paralia sulcata*, *Actinopteryx senarius*, вероятно принесённые с шельфа. Также присутствуют переотложенные виды, такие как *Cosmiodiscus insignis*, *Pyxidicula zabelinae*, *Stephanopyxis turris*, которые предположительно попали в осадок из-за эрозии в шельфовых/прибрежных зонах после начала затопления шельфа. Влияние речного стока отражается в наличии пресноводных видов (*Eunotia praerupta*, *Puncticulata radiosa*, *Pinnularia* sp. и др.). Должно быть, таяние ледников в период дегляциации привело к затоплению шельфа и его активной эрозии с последующим выносом вымерших и пресноводных диатомей в район хребта Ширшова.

В голоцене можно выделить разделение комплексов диатомей по переходной зоне 6 тыс. лет назад. В это время прекратилось активное изменение уровня моря, что и сказалось на сокращении выноса в осадок вымерших, шельфовых и пресноводных диатомей.

До 6 тыс. лет. Пик *Rhizosolenia hebetata* приходится как раз на эту переходную зону. Это может указывать на хорошую стратификацию в этом месте в этот период (Cook et al., 2005). Пик вымершего *Pyxidicula zabelinae* может говорить об переотложении осадка. Рост количества видов *Shionodiscus biporus* и *Coscinodiscus marginatus* к концу периода может говорить об увеличении притока теплых вод в данный район и установлении стабильного сообщения с Тихим океаном.

После 6 тыс. лет. Очень низкое присутствие льда. В видовом составе это отражается в сокращении пресноводных, вымерших диатомей и видов шельфовой зоны, в снижении содержания холодноводных видов, особенно *Thalassiosira antarctica*, и полном отсутствии ледовых диатомей. Также это подтверждается низким содержанием IRD.

В это время установилась высокая биопродуктивность акватории, что следует из данных диатомового и геохимических анализов. Отсутствие ледового покрова давало условия для активного развития диатомей с длинным сезоном вегетации. В осадках доминируют открыто-океанические холодноводные виды (*Shionodiscus latimarginatus*, *Thalassiothrix longissima*, *Rhizosolenia hebetata*, *Coscinodiscus marginatus* и др.), а также вид *Neodenticula seminae*, связанный с притоком теплых, богатых питательными веществами, тихоокеанских вод (Okazaki et al., 2005; Miettinen et al., 2013). Отмечено много спор *Chaetoceros*, которые отражают активное поступление питательных веществ в этот период и высокую продуктивность района исследования (Katsuki, Takahashi, 2005).

В комплексе появляются тепловодные виды (*Shionodiscus oestrupii*, *Thalassiosira eccentrica* и др.).

Состав диатомовых водорослей и сопутствующие данные четко фиксируют резкие сдвиги, связанные с изменениями уровня моря, интенсивности вертикального перемешивания и биопродуктивности во всём изученном керне. Наиболее значимая трансформация палеоокеанологических условий произошла на рубеже ~6000 лет назад, когда стабилизация уровня моря, прекращение активной эрозии шельфа, резкое ослабление ледового влияния и установление устойчивой связи с Тихим океаном привели к формированию высокопродуктивной океанической системы над хребтом Ширшова.

Работа выполнена в рамках госзадания ТОИ ДВО РАН (№ 124022100084-8).

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов, требующего раскрытия в данной статье.

Список литературы

1. Алексеева Т., Мурдмаа И., Иванова Е., Овсепян Е., Кузьмина Т., Сейткалиева Э. Осадконакопление на подводном хребте Ширшова (Берингово море) от предпоследнего оледенения до голоцена // Литология и полезные ископаемые. 2015. №5. С. 387–407. DOI: 10.7868/S0024497X1505002X
2. Cook M.S., Keigwin L.D., Sancetta C.A. The deglacial history of surface and intermediate // Deep-Sea Research Part II: Topical water of the Bering Sea: Studies in Oceanography. 2005. V. 52. Is.16–18. P. 2163–2173. DOI: 10.1016/j.dsr2.2005.07.004
3. Katsuki K., Takahashi K. Diatoms as paleoenvironmental proxies for seasonal productivity, sea-ice and surface circulation in the Bering Sea during the late Quaternary // Deep-Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography. 2005. V. 52. Is.16–18. P. 2110–2130. DOI: 10.1016/j.dsr2.2005.07.001
4. Miettinen A., Kog N., Husum K. Appearance of the Pacific diatom *Neodenticula seminae* in the northern Nordic Seas – An indication of changes in Arctic Sea ice and ocean circulation // Marine Micropaleontology. 2013. V.99. P. 2–7. DOI: 10.1016/j.marmicro.2012.06.002
5. Murdmaa I.O., Dorokhova E.V., Ovsepyan E.A., Dara O.M., Nurnberg D. Terrigenous Sedimentation on the Submarine Shirshov Ridge (Bering Sea) during the Last Deglaciation // Lithology and Mineral Resources. 2019. V.54, Is. 2. P. 79–92. DOI:10.1134/S0024490219020068
6. Okazaki Y., Takahashi K., Asahi H., Katsuki K., Hori J., Yasuda H., Sagawa Y., Tokuyama H. Productivity changes in the Bering Sea during the late Quaternary // Deep-Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography. 2005. V.52, Is.16–18. P. 2150–2162. DOI: 10.1016/j.dsr2.2005.07.003

Статья поступила в редакцию 18.06.2025; поступила после доработки 22.08.2025; принята к публикации 28.08.2025

Сведения об авторах

Кузьмина Василина Алексеевна – аспирант, ст. инженер, Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева Дальневосточного отделения РАН, Россия, Владивосток (Il'ichev Pacific Oceanological Institute FEB RAS, Russia, Vladivostok); kuzmina.va@poi.dvo.ru.

Артемова Антонина Валериевна – к.г.-м.н., в.н.с., Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева Дальневосточного отделения РАН, Россия, Владивосток (Il'ichev Pacific Oceanological Institute FEB RAS, Russia, Vladivostok); artemova@poi.dvo.ru; ORCID – <https://orcid.org/0000-0002-6815-0633>; SPIN-код 6805-2834.

Корреспондентский адрес: Россия, 690041, Владивосток, ул. Балтийская, д. 43, ТОИ ДВО РАН, тел. (423) 231-1400.

Holocene and Late Pleistocene diatom assemblages from deposits of the Shirsov submarine Ridge

Vasilina A. Kuzmina, Antonina V. Artemova

Il'ichev Pacific Oceanological Institute FEB RAS (Russia, Vladivostok)

This study presents the results of an investigation of diatom assemblages from Holocene and Late Pleistocene sediments of the Shirsov Ridge (Bering Sea). Based on quantitative and qualitative analysis, diatom assemblages were identified that reflect changes in dominant species and ecological groups during glacial-interglacial transitions. Analysis of the diatom assemblages revealed three stages in the development of the Holocene and Late Pleistocene paleoenvironment, characterized by distinct temperature, sea level, sea ice conditions, and nutrient input.

Key words: diatoms; sediments; Holocene; Late Pleistocene; Bering Sea; Shirshov Ridge

References

1. Alekseeva T.N., Murdmaa I.O., Ivanova E.V., Ovsepyan E.A., Seitkalieva E.A., Kuz'mina T.G. Sedimentation in the submarine Shirshov Ridge area (Bering Sea) during the last 180–185 ka (penultimate glaciation-Holocene). *Lithology and Mineral Resources*. 2015. №5. C. 387–407. DOI: 10.7868/S0024497X1505002X (In Russ.)
2. Cook M. S., Keigwin L. D., Sancetta C. A. The deglacial history of surface and intermediate. *Deep-Sea Research Part II: Topical water of the Bering Sea: Studies in Oceanography*. 2005. V. 52. Is.16–18. P. 2163–2173. DOI: 10.1016/j.dsr2.2005.07.004
3. Katsuki K., Takahashi K. Diatoms as paleoenvironmental proxies for seasonal productivity, sea-ice and surface circulation in the Bering Sea during the late Quaternary. *Deep-Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*. 2005. V.52, Is.16–18. P. 2110–2130. DOI: 10.1016/j.dsr2.2005.07.001
4. Miettinen A., Kog N., Husum K. Appearance of the Pacific diatom *Neodenticula seminae* in the northern Nordic Seas – An indication of changes in Arctic Sea ice and ocean circulation. *Marine Micropaleontology*. 2013. V.99. P. 2–7. DOI: 10.1016/j.marmicro.2012.06.002
5. Murdmaa I.O., Dorokhova E.V., Ovsepyan E.A., Dara O.M., Nurnberg D. Terrigenous Sedimentation on the Submarine Shirshov Ridge (Bering Sea) during the Last Deglaciation. *Lithology and Mineral Resources*. 2019. V.54, Is. 2. P. 79–92. DOI:10.1134/S0024490219020068
6. Okazaki Y., Takahashi K., Asahi H., Katsuki K., Hori J., Yasuda H., Sagawa Y., Tokuyama H. Productivity changes in the Bering Sea during the late Quaternary. *Deep-Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*. 2005. V.52, Is.16–18. P. 2150–2162. DOI: 10.1016/j.dsr2.2005.07.003

ССЫЛКА НА СТАТЬЮ:

Кузьмина В.А., Артемова А.В. Голоценовые и позднплейстоценовые комплексы диатомовых водорослей из отложений подводного хребта Ширшова // Вопросы современной альгологии. 2025. № 1 (37). P. 273–276. URL: <http://algology.ru/2208>

Kuzmina V.A., Artemova A.V. Holocene and Late Pleistocene diatom assemblages from deposits of the Shirsov submarine Ridge. *Voprosy sovremennoi algologii (Issues of modern algology)*. 2025. № 1 (37). P. 273–276. URL: <http://algology.ru/2208>

DOI – [https://doi.org/10.33624/2311-0147-2025-1\(37\)-273-276](https://doi.org/10.33624/2311-0147-2025-1(37)-273-276); EDN – QOLSPD

Этапы развития поймы р.Цукановки (юго-западное Приморье) в малый ледниковый период по данным диатомового анализа

Stages of development of the Tsukanovka River floodplain (South-Western Primorye) during the little ice age by the data of the diatomic analysis

Макарова Т.Р.

Tatiana R. Makarova

Тихоокеанский институт географии ДВО РАН (Владивосток, Россия)

Приведены результаты изучения эколого-таксономического состава диатомовой флоры отложений разреза в пойме р. Цукановки (юго-западное Приморье) с целью выявления закономерностей ее развития в зависимости от климатических изменений разного масштаба и колебаний уровня моря в малый ледниковый период.

Ключевые слова: пойма реки; диатомовые водоросли; малый ледниковый период; гидроклиматические изменения; Приморье

ВВЕДЕНИЕ

Пойма является самой динамичной частью речной долины. Ведущее место в развитии поймы занимают русловые процессы, совместно с почвообразованием и развитием растительности они определяют ее главные ландшафтные черты. Цель данной работы – на основе анализа эколого-таксономического состава диатомовой флоры установить основные этапы развития поймы р. Цукановки (юго-западное Приморье) во время разнонаправленных флуктуаций климата и под влиянием колебаний уровня моря в малом ледниковом периоде.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

На левобережье р. Цукановки в береговом обнажении (2 м над уровнем моря, 1,8 м над урезом воды) зачищен разрез мощностью 1,4 м (42°41' с. ш., 130°46' в. д.), удаленный от устья реки ~ на 1 км. Уклон реки на этом участке составляет 0,002 м/м. Верхняя часть разреза (интервал 0–48 см) представлена антропогенным слоем. Начиная с глубины 48 см, отобрано 46 проб с шагом 2 см. Таксономический состав диатомовых водорослей и экологические характеристики отдельных видов определялись с использованием литературных источников (Krammer, 2000; Харитонов, 2010). Диатомовая диаграмма построена с помощью программы TILIA v. 2-0-41 (Grimm, 2004).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Река Цукановка образуется слиянием нескольких притоков, стекающих с Чёрных гор, и впадает в бухту Экспедиции (залив Посъета Японского моря). Ее длина 29 км, площадь бассейна составляет 175 км². В дельтовой зоне р. Цукановка неоднократно меняла русло, образуя сеть рукавов, их остатки представлены несколькими старицами. Абсолютная высота здесь меняется от 0 до 3 м.

Список диатомей насчитывает 131 вид диатомовых водорослей, из них 119 пресноводных и 12 солоноватоводных и морских видов. В составе пресноводных диатомей по местообитанию наиболее разнообразны донные виды (60), меньше видов обрастания (49), а планктонных и временно планктонных 10 видов. Из обнаруженных диатомовых по географическому распространению существенно преобладают космополиты (85), гораздо меньше бореальных (11) и арктобореальных (11) видов. По отношению к рН среды преобладающей группой являются циркумнейтральные виды (49), немного меньше алкалифилов (45), ацидофилов – 21; по отношению к солености 75 вида – индифференты, 19 – галофобы, 9 – галофилы. Среди морских и солоноватоводных диатомей преобладают бентосные виды (9), планктонных – 3 вида.

По приуроченности к местообитанию диатомей разделены на две экологические группы. Озерно-реофильные диатомей, объединяющие виды, обитающие как в стоячих, так и в текучих водах, показывают речное влияние и являются аллохтонными. Стабильную встречаемость из этой группы диатомей имеют обрастатели *Ulnaria ulna*, *Encyonema silesiacum*, *Epithemia adnata* и планктонные *Aulacoseira distans*, *A. italica*, *Tabellaria flocculosa*. Почвенные виды способны обитать при незначительном увлажнении и даже переносить временные осушки. В эту группу входят циркумнейтральные по отношению к рН среды и индифферентные по отношению к солености космополиты *Luticola mutica*, *Diadesmis contenta*, *Pinnularia borealis*, *Hantzschia amphioxys*. Наиболее высокого обилия в осадках достигает *Hantzschia amphioxys*, отличающийся высокой приспособляемостью к обитанию в разного рода биотопах, включая влажную почву и лужи. В осадках изученных разрезов в отдельных слоях содержание *Hantzschia amphioxys* достигает 40%, что может свидетельствовать об автохтонном развитии этого вида. Изменение в составе диатомей позволило выделить в разрезе 8 комплексов.

Комплекс 1 (инт. 134–140 см). Преобладает группа озерно-реофильных диатомей (83,4%). Доминируют временно планктонные *Melosira varians*, характерный для слаботекучих и стоячих эвтрофных вод, *Tabellaria flocculosa*, характерный для болот, а также обрастатели *Ulnaria ulna*, *Encyonema silesiacum*. Сумма почвенных диатомей достигает 7,7%. По отношению к солености доминируют индифференты (до 68%), по отношению к рН среды – циркумнейтральные виды и алкалифилы. Комплекс отражает существование эвтрофного озера в пойме реки. Формирование пойменных отложений началось после спуска воды из пресноводного озера, обусловленного понижением уровня моря в малый ледниковый период.

Комплекс 2 (инт. 114–134 см). Преобладает группа аллохтонных видов (до 88%). Доминируют планктонные *Aulacoseira distans*, *A. italica*, субдоминантами выступают обрастатели *Ulnaria ulna*, *Epithemia adnata*, *Encyonema silesiacum*. Доля почвенных видов увеличивается до 15%, среди них преобладает *Hantzschia amphioxys*. Содержание болотных диатомей составляет 13%, что указывает на слабую заболоченность долины. По отношению к солености доминируют индифференты (до 85%), по отношению к рН среды – циркумнейтральные виды и алкалифилы. К вершине комплекса увеличивается до 29% содержание бореальных и арктобореальных видов, что указывает на формирование осадков в холодных климатических условиях конца XIV–XV вв. н. э. Комплекс отражает прохождение частых наводнений. Об этом свидетельствует и появление в результате размыва нижележащих отложений морских (*Triblionella*

granulata) и солоноватоводных (*Navicula peregrina*, *Gyrosigma spenserii*) диатомей (до 3%).

Комплекс 3 (инт. 112–114 см). Особенностью этого комплекса является повышение доли почвенных диатомей до 21%. Отсутствуют морские и солоноватоводные виды диатомей. Все это указывает на снижение частоты наводнений и существование здесь редкозатапливаемой поймы.

В комплексе 4 (инт. 106–112 см) снижается содержание почвенных видов диатомей до 10,5%, болотных диатомей повышается до 19%. Отмечены солоноватоводно-морские *Auliscus sculptus*, *Pinnunavis yarrensis* и солоноватоводный *P. elegans*. В интервале 110–112 см снижается количественное и видовое (почти в 2–3 раза по сравнению с рядомлежащими слоями) содержание диатомей, что может свидетельствовать об интенсивном разбавлении вследствие сильных наводнений, то есть комплекс соответствует усилению частоты наводнений в этот период.

Комплекс 5 (инт. 102–106 см). Количество почвенных диатомей возрастает до 38%, болотных диатомей уменьшается до 5,7%. Отсутствуют морские и солоноватоводные виды диатомей. В интервале 104–106 см хотя и снижается общее видовое и количественное содержание диатомей, но сильно возрастает количество почвенных. Комплекс свидетельствует о снижении частоты наводнений и существовании здесь редкозатапливаемой поймы.

Комплекс 6 (инт. 80–102 см) характеризуется уменьшением содержания почвенных видов до 15% и увеличением болотных видов до 17%. Присутствуют морской *Triblionella granulata*, солоноватоводно-морский *Pinnunavis yarrensis* и солоноватоводный *Diploneis interrupta*. Повышается количество ацидофилов (до 30%). В интервалах 80–86 и 90–96 см резко снижается количественное и видовое (почти в 2–3 раза по сравнению с рядомлежащими слоями) содержание диатомей. Все это свидетельствует об интенсивном разбавлении вследствие сильных наводнений, то есть комплекс соответствует усилению частоты наводнений в этот период.

Комплекс 7 (инт. 66–80 см). Содержание почвенных диатомей возрастает до 27%, количество болотных диатомей остается на достаточно высоком уровне. Отсутствуют морские и солоноватоводные виды диатомей. Это указывает о снижении частоты наводнений и существовании здесь редкозатапливаемой заболоченной поймы.

В комплексе 8 (инт. 48–66 см) уменьшается количество почвенных диатомей до 16%, болотных до 4% к кровле слоя, увеличивается содержание планктонных видов до 24%. Во всем интервале присутствуют морские и солоновато-морские виды (до 4,6%). Комплекс отражает прохождение частых наводнений.

ВЫВОДЫ

Изучение диатомовых водорослей в отложениях поймы р. Цукановка позволило выделить несколько этапов ее развития в зависимости от мелкомасштабных изменений климата и колебаний уровня моря. Нестабильность климатических условий обусловило особенности гидрологического режима, что выразилось в частых сменах комплексов диатомей.

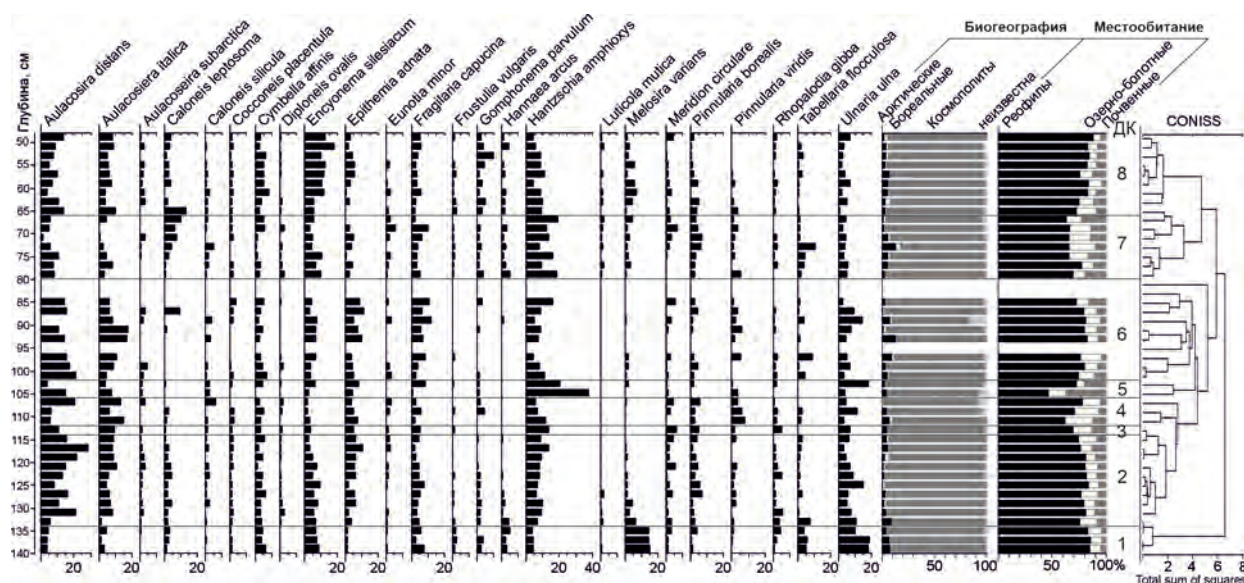


Рис. 1. Диатомовая диаграмма отложений поймы р. Цукановки.

Fig. 1. Diatom diagram of sediments of the floodplain of the Tsukanovka River.

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

Список литературы

1. Харитонов В.Г. Конспект флоры диатомовых водорослей (Bacillariophyceae) Северного Охотоморья. – Магадан: СВНЦ ДВО РАН, 2010. – 189 с.
2. Grimm E. Tilia software 2.0.2. Springfield: Illinois State Museum Research and Collection Center. 2004.
3. Krammer K. Diatoms of Europe. V.1: The Genus Pinnularia. – Königstein: A.R.G. Gantner Verlag. Kommanditgesellschaft, 2000. – 703 p.

Статья поступила в редакцию 18.06.2025; поступила после доработки 25.08.2025; принята к публикации 28.08.2025

Сведения об авторе

Макарова Татьяна Ростиславовна – к.г.н., с.н.с., Тихоокеанский институт географии ДВО РАН, Россия, Владивосток (Pacific Geographical Institute FEB RAS, Russia, Vladivostok); mctatiana@mail.ru; ORCID – <https://orcid.org/0000-0003-2412-8714>; SPIN-код 1999-8602.

Корреспондентский адрес: Россия, 690041, Владивосток, ул. Радио, д. 7, ТИГ ДВО РАН, тел. (423) 232-06-72.

Stages of development of the Tsukanovka River floodplain (South-Western Primorye) during the little ice age by the data of the diatomic analysis

Tatiana R. Makarova

Pacific Geographical Institute, Far Eastern Branch, RAS (Russia, Vladivostok)

The results of studying the ecological and taxonomic composition of the diatom flora of the sediments of the section in the floodplain of the Tsukanovka River (southwestern Primorye) are

presented in order to identify patterns of its development depending on climatic changes of different scales and fluctuations in sea level in the little ice age.

Key words: lakes; diatoms; little ice age; hydroclimatic changes; Primorye

References

1. Grimm E. Tilia software 2.0.2. Springfield: Illinois State Museum Research and Collection Center. 2004.
2. Kharitonov V.G. Synopsis of the flora of diatoms (Bacillariophyceae) The Northern Okhotsk Sea. SVNTS FEB RAS, Magadan, 2010. 189 p.
3. Krammer K. Diatoms of Europe. V.1: The Genus Pinnularia. A.R.G. Gantner Verlag, Kommanditgesellschaft, Königstein, 2000. 703 p.

ССЫЛКА НА СТАТЬЮ:

Макарова Т.Р. Этапы развития поймы р.Цукановки (юго-западное Приморье) в малый ледниковый период по данным диатомового анализа // Вопросы современной альгологии. 2025. № 1 (37). P. 277–281. URL: <http://algology.ru/2209>

Makarova T.R. Stages of development of the Tsukanovka River floodplain (South-Western Primorye) during the little ice age by the data of the diatomic analysis. *Voprosy sovremennoi algologii (Issues of modern algology)*. 2025. № 1 (37). P. 277–281. URL: <http://algology.ru/2209>

DOI – [https://doi.org/10.33624/2311-0147-2025-1\(37\)-277-281](https://doi.org/10.33624/2311-0147-2025-1(37)-277-281); **EDN** – QTNVEP

Ассоциации диатомовых водорослей голоценовых отложений в Северной Атлантике (район хребта Рейкьянес)

Diatom assemblages in holocene sediments of the North Atlantic (Reykjanes ridge area)

Мельникова А.А.

Anna A. Melnikova

Институт океанологии имени П.П. Шириова РАН – ИО РАН (Москва, Россия)

В работе представлены результаты диатомового анализа голоценовых отложений из района хребта Рейкьянес Северной Атлантики. Всего было проанализировано 20 образцов, охватывающих последние 10,8 тыс. лет. Установлена закономерная смена холодноводных и тепловодных комплексов, отражающая климатические колебания голоцена. В начале голоцена (10,8 тыс. лет назад) Арктический фронт находился вблизи района отбора керна, что подтверждается максимальным содержанием *Rhizosolenia styliformis*. Периоды потепления (9,3–8,7 и 6,8–4,9 тыс. лет назад) характеризуются увеличением доли *Shionodiscus oestrupii*, в то время как события похолодания, особенно 8,2–7,3 тыс. лет назад, сопровождаются ростом численности *Rhizosolenia hebetata*.

Ключевые слова: диатомеи; голоцен; палеоокеанология; Северная Атлантика; хребет Рейкьянес

Район хребта Рейкьянес в Северной Атлантике представляет собой ключевую зону для палеоокеанологических исследований благодаря своему положению в пределах Субполярного фронта – области контакта тёплых североатлантических и холодных полярных вод. Эта зона играет важную роль в формировании гидрологических и климатических условий всего Северо-Атлантического региона и чувствительно реагирует на колебания циркуляции Атлантической меридиональной опрокидывающей циркуляции (АМОС) (Delworth, Zeng, 2016).

Цель работы – оценка палеоклиматических условий в районе хребта Рейкьянес Северной Атлантики по данным о распределении диатомей в донных морских осадках.

В рамках данного исследования было проанализировано 20 образцов, отобранных с интервалом в 5 см из осадочной колонки АМК-325 длиной 100 см. Керна колонки был извлечен в точке с координатами 58°26,2' с.ш., 31°42,2' з.д. к югу от Исландии, у подножия центральной части хребта Рейкьянес, в ходе четвертого рейса научно-исследовательского судна «Академик Мстислав Келдыш» в 1982 г. Глубина моря в точке отбора составляла 1820 м. Отложения представлены илисто-пелитовыми известковистыми илами. Согласно данным радиоуглеродного датирования (^{14}C), возраст нижних горизонтов колонки составляет 10,8 тыс. календарных лет назад, что

соответствует первой морской изотопной стадии (МИС 1) и охватывает голоцен (Купцов и др., 1990). Подготовка проб для исследования диатомовых водорослей проводилась в Институте океанологии им. П.П. Ширшова РАН (ИОРАН) согласно стандартной методике, представленной в руководстве «Диатомовые водоросли СССР» (1974). Количественное определение численности и видовая идентификация диатомей проводились с использованием светового микроскопа ZEISS Primo Star iLED при увеличении $\times 1000$, с применением метода, разработанного Battarbee в 1973 г.

В течение всего изучаемого периода общее количество диатомовых водорослей оставалось достаточно высоким, колеблясь в диапазоне от 0,7 до 2,2 млн. ств./г. Наименьшие значения были отмечены примерно 7,8 тыс. лет назад, а также в интервале от 2,2 до 1,4 тыс. лет назад. В промежутке между 5,8 и 4 тыс. лет назад численность диатомей оставалась практически стабильной, после чего наблюдалось постепенное снижение к позднему голоцену. В составе диатомовых ассоциаций насчитывается 27 морских видов, из которых 19 являются океаническими, 6 – некритическим, а 2 – сублиторальными.

В диатомовых сообществах исследуемого района наибольшую долю в течение голоцена демонстрировал северо-бореальный вид *Rhizosolenia styliformis*, содержание которого варьировало от 60% до 30–35%. Наиболее резкое снижение численности этого вида наблюдается в интервале 10,8–7,3 тыс. лет назад – с 62% до 32%, после чего его доля стабилизировалась в пределах 35–50%.

Для количественной оценки и палеоэкологической интерпретации было отобрано восемь наиболее распространенных и экологически значимых видов. По температурным предпочтениям они сгруппированы как относительно тепловодные (*Nitzschia bicaipitata*, *Proboscia alata*, *Roperia tessellata*, *Shionodiscus oestrupii*) и холодноводные (*Thalassiosira antarctica*, *Th. hyalina*, *Rhizosolenia hebetata*, *Actinocyclus curvatulus*).

На протяжении всей колонки прослеживается закономерная смена комплексов: в нижней части разреза (до 6,8 тыс. лет назад) преобладают холодноводные виды с максимальной долей до 45%, тогда как в верхней части увеличивается доля тепловодных форм, достигающая пика до 42%. Ведущим теплолюбивым видом является *Shionodiscus oestrupii*, максимальная доля которого составляла 14–16% в начале среднего голоцена, увеличиваясь до 23–30% в период 6,3–2,2 тыс. лет назад. За ним следует *Proboscia alata* (до 8%). Остальные – *Roperia tessellata* и *Nitzschia bicaipitata* – встречаются в небольших количествах. Среди холодолюбивых доминирует *Rhizosolenia hebetata*, численность которой достигала пика в интервале 8,2–7,3 тыс. лет назад (до 40%). *Thalassiosira antarctica* встречается лишь в интервале времени от 10,8–6,8 тыс. лет назад (до 4%), затем полностью исчезает. Остальные виды *Actinocyclus curvatulus* (8%) и *Thalassiosira hyalina* (4%) распространены в течение всего интервала времени.

В начале голоцена (10,8 тыс. лет назад) Арктический фронт находился вблизи района отбора керн, что подтверждается максимальными содержанием *Rhizosolenia styliformis* (до 62%), указывающего на взаимодействие атлантических и арктических водных масс в данный период (Коç Karpuz, Schrader, 1990). Данный интервал сопровождается высокой численностью полярного планктонного вида фораминифер *Neogloboquadrina pachyderma* sin. (>70%), что является характерной чертой зоны современного Арктического фронта в Северных морях (Eynaud, 2011). В интервале 10,8–6,8 тыс. лет назад доминировали холодолюбивые диатомей, с пиком около 8,2–7,3 тыс. лет назад, совпадающим с резким увеличением *Rhizosolenia hebetata* и *Thalassiosira antarctica*, характерных для субарктических широт, и одновременным снижением теплолюбивых форм. Это, вероятно, связано с усилением холодного Лабрадорского течения в Субполярном круговороте и, как следствие, ослаблением теплых Северо-Атлантических течений. Данное похолодание в АМК-325 совпадает с событием 8,2 тыс. лет назад, но восстановление «оптимальных» условий здесь затянулось почти на тысячу лет.

Максимум относительно тепловодных форм наблюдается около 6 тыс. лет назад и сопровождается сокращением *Rhizosolenia hebetata* (до 5%) и ростом *Shionodiscus oestrupii* (до 30%). В дальнейшем их численность постепенно снижается. Это соответствует общему понижению температур в ходе неогляциации. В интервале 2–1,5 тыс. лет назад наблюдается кратковременное усиление относительно холодноводных форм (до 16%), вероятно обусловленное усилением Лабрадорского течения.

Работа выполнена при поддержке гранта РНФ 24-17-00044 и в рамках государственного задания Министерства образования и науки для Института Океанологии им. П.П. Шишова РАН №FMWE-2024-002.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов, требующего раскрытия в данной статье.

Список литературы

1. Диатомовые водоросли СССР (ископаемые и современные). Том 1. // Глезер З.И., Жузе А.П., Макарова И.В., Прошина-Лавренко А.И. (отв. ред.), Шешукова-Порецкая В.С. – Л.: Наука, 1974. – 403 с.
2. Купцов В.М., Бартенева Л.И., Палкина А.М. Радиоуглеродные датировки института океанологии им. П.П. Шишова АН СССР // Бюллетень Комиссии по изучению четвертичного периода, 1990. № 59. С. 188–202.
3. Battarbee R.W. A new method for the estimation of absolute microfossil numbers, with reference especially to diatoms // Limnology and Oceanology. 1973. № 18(4). P. 647–653.
4. Delworth T.L., Zeng F. The impact of the North Atlantic oscillation on climate through its influence on the Atlantic meridional overturning circulation. // J. Clim. 2016. V.29. P. 941–962.
5. Eynaud F. Planktonic foraminifera in the Arctic: potentials and issues regarding modern and Quaternary populations // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2011. V.14. ID 012005. DOI: 10.1088/1755-1315/14/1/012005
6. Koç Karpuz N., Schrader H. Surface sediment diatom distribution and Holocene paleotemperature variations in the Greenland, Iceland and Norwegian Sea // Paleoceanography. 1990. V.5. P. 557–580. DOI: 10.1029/PA005i004p00557

Статья поступила в редакцию 18.06.2025; поступила после доработки 02.09.2025; принята к публикации 06.09.2025

Сведения об авторах

Мельникова Анна Александровна – лаборант, Институт океанологии им. П.П. Шишова РАН – ИО РАН, Россия, Москва (Shirshov Institute of Oceanology RAS, Russia, Moscow); anmel01-09@mail.ru.

Корреспондентский адрес: Россия, 117997, Москва, Нахимовский проспект, д. 36, ИОРАН, тел. (499) 124-77-37.

Diatom assemblages in holocene sediments of the North Atlantic (Reykjanes ringe area)

Anna A. Melnikova

Shirshov Institute of Oceanology RAS (Russia, Moscow)

This study presents the results of diatom analysis of Holocene sediments from the Reykjanes Ridge area in the North Atlantic. A total of 20 samples were analyzed, covering the past 10.8 thousand years. A consistent succession of cold-water and warm-water diatom assemblages was identified, reflecting Holocene climate fluctuations. At the beginning of the Holocene (10.8 ka BP), the Arctic Front was located near the core site, as indicated by the high abundance of *Rhizosolenia styliformis*. Warm periods (9.3–8.7 and 6.8–4.9 ka BP) are characterized by an increased presence of *Shionodiscus*

oestrupii, while cooling events – especially between 8.2 and 7.3 ka BP – are marked by a rise in *Rhizosolenia hebetata* abundance.

Key words: diatoms; Holocene; paleoceanology; the North Atlantic; the Reykjanes ringe

References

1. Battarbee R.W. A new method for the estimation of absolute microfossil numbers, with reference especially to diatoms. *Limnology and Oceanology*. 1973. № 18(4). P. 647–653.
2. Delworth T.L., Zeng F. The impact of the North Atlantic oscillation on climate through its influence on the Atlantic meridional overturning circulation. *J. Clim.* 2016. V.29. P. 941–962.
3. Eynaud F. Planktonic foraminifera in the Arctic: potentials and issues regarding modern and Quaternary populations. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. V.14. ID 012005. DOI: 10.1088/1755-1315/14/1/012005
4. Glezer Z.I., Zhuse A.P., Makarova I.V., Proshkina-Lavrenko A.I., Sheshukova-Poretskaya V.S. Diatoms of the USSR (fossil and modern). V.1. Nauka, Leningrad, 1974. 403 p.
5. Koç Karpuz N., Schrader H. Surface sediment diatom distribution and Holocene paleotemperature variations in the Greenland, Iceland and Norwegian Sea. *Paleoceanography*. 1990, V.5. P. 557–580. DOI: 10.1029/PA005i004p00557
6. Kuptsov V.M., Barteneva L.I., Palkina A.M. Radiocarbon dating of the P.P. Shirshov Institute of Oceanology of the Academy of Sciences USSR. *Bulletin of the Commission for the Study of the Quaternary Period*. 1990. № 59. P. 188–202.

ССЫЛКА НА СТАТЬЮ:

Мельникова А.А. Ассоциации диатомовых водорослей голоценовых отложений в Северной Атлантике (район хребта Рейкьянес) // Вопросы современной альгологии. 2025. № 1 (37). P. 282–285. URL: <http://algology.ru/2210>

Melnikova A.A. Diatom assemblages in holocene sediments of the North Atlantic (Reykjanes ringe area). *Voprosy sovremennoi algologii (Issues of modern algology)*. 2025. № 1 (37). P. 282–285. URL: <http://algology.ru/2210>

DOI – [https://doi.org/10.33624/2311-0147-2025-1\(37\)-282-285](https://doi.org/10.33624/2311-0147-2025-1(37)-282-285); EDN – SIKPKG

Микроводоросли в поверхностных осадках Карского моря

Microalgae in the surface sediments of the Kara Sea

Новичкова Е.А., Агафонова Е.А.

Ekaterina A. Novichkova, Elizaveta A. Agafonova

Институт океанологии имени П.П. Ширшова РАН – ИО РАН (Москва, Россия)

Исследован состав ассоциаций ископаемых микроводорослей в поверхностных донных осадках Карского моря. Установлены основные закономерности распределения палиноморф и диатомовых водорослей во внешней и внутренней шельфовых зонах. В северной части Карского моря отмечено наличие видов-индикаторов поступления североатлантических вод в Арктику.

Ключевые слова: палиноморфы; диноцисты; диатомеи; донные осадки; Карское море

Карское море, характеризующееся обильным речным стоком в летний период и формированием больших объемов морского льда зимой, наряду с другими арктическими морями оказывает существенное влияние на ледово-гидрологический баланс Северного Ледовитого океана (Gordeev, 2000). Исследование палиноморф, содержащих более устойчивый к растворению спорополенин в составе своих оболочек, позволяет изучать обстановки осадконакопления в течение большого интервала времени, а также реконструировать ледово-гидродинамический режим моря и динамику поступления пресных вод (Mudie et al., 2020). Данные по распределению диатомовых водорослей, многие из которых служат источником питания для гетеротрофных видов динофлагеллат, дополняют сведения о составе микроводорослей в поверхностных осадках моря. Диатомовые водоросли – одни из самых чутких индикаторов изменения океанических условий, таких как температура поверхностных вод и морской ледяной покров (Диатомовые водоросли СССР, 1974; Полякова, 1997).

Материал для данного исследования был отобран в 59-м рейсе НИС «Академик Мстислав Келдыш» в 2011 году (рис. 1). Объектом изучения стали остатки микроводорослей (цисты динофлагеллат (диноцисты), пресноводные зеленые водоросли и диатомеи), а также споры и пыльца растений из поверхностного (0–1 см) слоя донных осадков. Выполнена стандартная техническая обработка 15 лиофилизированных проб для анализа палиноморф и диатомовых водорослей (de Vernal et al., 2010; Диатомовые водоросли СССР, 1974).

Исследование поверхностных донных осадков в прибрежных областях моря показало, что наибольшую долю от общего состава палиноморф занимают споры и пыльца наземных растений (до 94%). На долю морских диноцист приходится от 1 до 30%, в то время как содержание пресноводных зеленых водорослей в отдельных приустьевых пробах может достигать 43%. Обратная ситуация отмечена для состава палиноморф в донных осадках, отобранных на краю шельфовой зоны около северного

окончания Новой Земли. Здесь отмечено максимальное содержание диноцист в осадках (до 92%), а зеленые водоросли представлены в ассоциациях от 1 до 10%. Содержание спор и пыльцы в пробах по-прежнему велико (7–70%), однако оно существенно меньше, чем в прибрежной зоне.

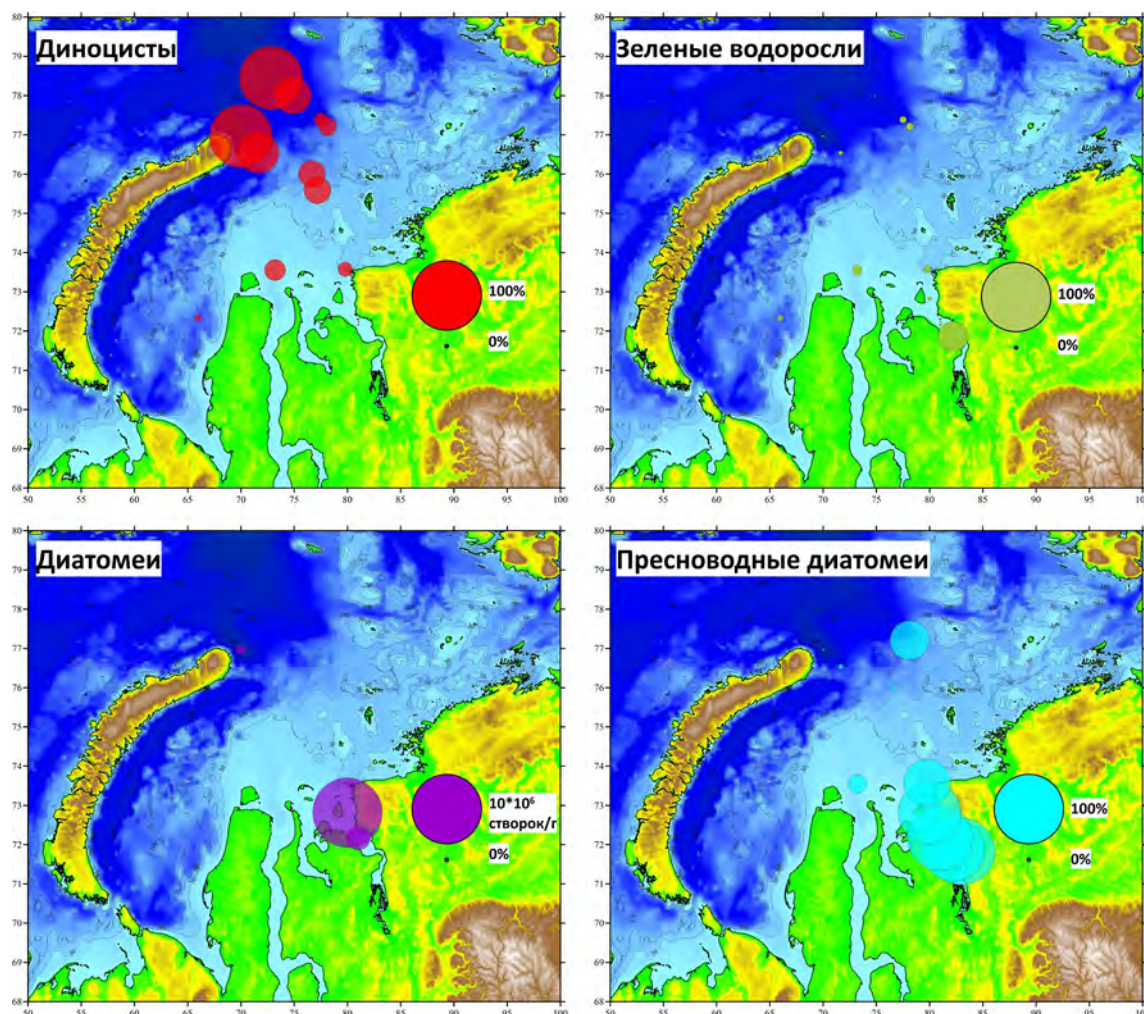


Рис. 1. Распределение диноцист и зеленых водорослей (в % от общего состава палиноморф), общих концентраций диатомовых водорослей (количество створок/г) и пресноводных диатомей (в % от общего состава диатомовых ассоциаций) в поверхностных осадках Карского моря.

Fig. 1. The distribution of dinocysts and green algae (% of the total palynomorph composition), the total concentration of diatoms (valves /g) and the % of freshwater diatoms in the diatom assemblages in the surface sediments of the Kara Sea.

Диноцисты представлены в осадках 22 видами и видовыми группами. Их общие концентрации сильно варьируются (от 0 до 46 тыс. ед./г) в зависимости от типа осадков и района моря. Минимальные концентрации диноцист отмечены в зоне влияния р. Енисей, где в основном отобраны песчаные отложения, а максимальные концентрации приурочены к пелитовым осадкам южного окончания желоба Св. Анны. Для ассоциаций диноцист зоны внутреннего шельфа характерны гетеротрофные виды *Echinidinium karaense* и *Islandinium minutum* (суммарно около 60%), распространенные в Арктике в районах с устойчивым ледовым покровом (Zonneveld et al., 2013). Для северной части моря в зоне внешнего шельфа в составе ассоциации присутствует автотрофный космополитный вид *Operculodinium centrocarpum* (12–50%). Данный вид широко распространен в Северной Атлантике и считается в Арктике индикатором распространения североатлантических вод на восток (de Vernal et al., 2020).

Состав диатомовых ассоциаций представлен 139 видами и разновидностями, из них 39 морских, 97 пресноводных и 3 вымерших, переотложенных вида. Максимальные концентрации диатомовых водорослей зафиксированы на устьевом взморье р. Енисея (9,9 млн ств./г), минимальные были характерны для зоны внешнего шельфа (0,01–0,03 млн ств./г). В осадках внутреннего шельфа, за исключение устьевого взморья р. Оби, большая часть (67–96%) состава диатомовых ассоциаций представлена преимущественно планктонными пресноводными видами (*Aulacoseira ambigua*, *A. granulata*, *A. italica* и др.) В области внешнего шельфа в составе сообществ диатомовых водорослей начинают доминировать морские, в основном ледово-морские, ледово-неритические и относительно холодноводные виды, также отмечено наличие единичных створок вида *Coscinodiscus asteromphalus*, распространение которого в арктических морях ограничено воздействием североатлантических вод (Полякова, 1988).

Таким образом, исследование ассоциации палиноморф в поверхностных осадках Карского моря показало, что большую роль в ее составе играют остатки наземной растительности. Пресноводные зеленые водоросли встречаются во всех частях моря, однако их максимальные концентрации приурочены к приустьевым участкам. Ассоциации морских диноцист, характерные для сообществ внутреннего шельфа, представлены гетеротрофными холодноводными видами, широко распространенными в Арктике. В сообществе диноцист внешнего шельфа большую долю занимают космополитные автотрофные виды, ассоциирующиеся с поступлением трансформированных североатлантических вод. Состав сообществ и распределение диатомовых водорослей в осадках внутренней шельфовой зоны напрямую связаны с влиянием обильного речного стока. Вне устьевых областей р. Енисей и р. Оби в осадках начинают доминировать морские виды, отмеченное присутствие *Coscinodiscus asteromphalus* что также свидетельствует о поступлении трансформированных вод атлантического происхождения в северную часть Карского моря.

Работа выполнена за счет гранта Российского научного фонда № 24-17-00044, https://rscf.ru/prjcard_int?24-17-00044, при дополнительной поддержке в рамках государственного задания Минобрнауки России для ИО РАН (тема № FMWE-2024-0020, экспедиционные исследования и отбор проб).

Экспедиционные работы выполнены с использованием оборудования уникальной научной установки «НИС «Академик Мстислав Келдыш»» в составе ЦКП «Научный флот ИО РАН», <http://rv.ocean.ru/flot/abf/nis-akademik-mstislav-keldyish>. Авторы благодарят экипаж и научный состав и, особенно, М.Д. Кравчишину, за отбор проб донных осадков.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов, требующего раскрытия в данной статье.

Список литературы

1. Диатомовые водоросли СССР (ископаемые и современные). Т. 1. / Под ред. А.И. Прошкиной-Лавренко. – Л.: Наука, 1974. – 403 с.
2. Полякова Е.И. Диатомеи арктических морей СССР и их значение при исследовании донных осадков // Океанология. 1988. Т. 28, № 2. С. 286–291.
3. Полякова Е.И. Арктические моря Евразии в позднем кайнозое. – М.: Научный мир, 1997. – 145 с.
4. de Vernal A., Henry M., Bilodeau G. Micropaleontological preparation techniques and analyses. – Les Cah. du GEOTOP, 2010. – P. 1–32.
5. de Vernal A., Radi T., Zaragosi S., Van Nieuwenhove N., Rochon A., Allan E., De Schepper S., Eynaud F., Head M.J., Limoges A., Londeix L., Marret F., Matthiessen J., Penaud A., Pospelova V., Price A., Richerol T. Distribution of common modern dinoflagellate cyst taxa in surface sediments of the Northern Hemisphere in relation to environmental parameters: The new n=1968 database // Mar. Micropaleontol. 2020. V. 159. ID 101796. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.marmicro.2019.101796>

6. Gordeev V.V. River input of water, sediment, major ions, nutrients and trace metals from Russian territory to the Arctic Ocean // В кн.: The Freshwater Budget of the Arctic Ocean. Lewis E.L., Jones E.P., Lemke P., Prowse T. D., Wadhams P. (Ред.) – Dordrecht: Kluwer Academic Publisher, 2000. – P. 297–322.

7. Mudie P.J., Marret F., Gurdebeke P.R., Hartman J.D., Reid P.C. Marine dinocysts, acritarchs and less well-known NPP: tintinnids, ostracod and foraminiferal linings, copepod and worm remains // Geological Society, London, Special Publications. 2020. V. 511. P. 159–232. DOI: <https://doi.org/10.1144/SP511-2020-55>

8. Zonneveld K.A.F., Marret F., Versteegh G.J.M., Bogus K., Bonnet S., Bouimetarhan I., Crouch E., de Vernal A., Elshanawany R., Edwards L., Esper O., Forke S., Grösfeld K., Henry M., Holzwarth U., Kieft J.-F., Kim So-Y., Ladouceur S., Ledu D., Chen L., Limoges A., Londeix L., S.-H. Lu, Mahmoud M.S., Marino G., Matsouka K., Matthiessen J., Mildenhal D.C., Mudie P., Neil H.L., Pospelova V., Qi Yu., Radi T., Richerol T., Rochon A., Sangiorgi F., Solignac S., Turon J.-L., Verleye T., Yan Wang, Wang Z., Young M. Atlas of modern dinoflagellate cyst distribution based on 2405 data points // Rev. Palaeobot. Palynol. 2013. V.191. P. 1–197. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.revpalbo.2012.08.003>

Статья поступила в редакцию 18.06.2025; поступила после доработки 02.09.2025; принята к публикации 06.09.2025

Сведения об авторах

Новичкова Екатерина Александровна – к.г.-м.н., в.н.с., Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН – ИО РАН, Россия, Москва (Shirshov Institute of Oceanology RAS, Russia, Moscow), Лаборатория физико-геологических исследований им. А.П. Лисицына; enovichkova@ocean.ru; ORCID – <https://orcid.org/0000-0001-5687-1719>.

Агафонова Елизавета Андреевна – к.г.н., с.н.с., Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН – ИО РАН, Россия, Москва (Shirshov Institute of Oceanology RAS, Russia, Moscow), Лаборатория физико-геологических исследований им. А.П. Лисицына; agafonovaelizaveta@mail.ru; ORCID – <https://orcid.org/0000-0001-5451-9586>.

Корреспондентский адрес: Россия, 117997, Москва, Нахимовский проспект, д. 36, ИОРАН, тел. (499) 124-77-37.

Microalgae in the surface sediments of the Kara Sea

Ekaterina A. Novichkova, Elizaveta A. Agafonova

Shirshov Institute of Oceanology RAS (Russia, Moscow)

The composition of fossil microalgae in surface sediments from the Kara Sea was investigated. The distribution of palynomorphs and diatoms in the outer and inner shelf zones was analysed. The presence of indicator species associated with inflow from North Atlantic waters into the Arctic was noted in the northern part of the Kara Sea.

Key words: palynomorphs; dinocysts; diatoms; bottom sediments; Kara Sea

References

1. de Vernal A., Henry M., Bilodeau G. Micropaleontological preparation techniques and analyses. Les Cah. du GEOTOP, 2010. P. 1–32.

2. de Vernal A., Radi T., Zaragosi S., Van Nieuwenhov N., Rochon A., Allan E., De Schepper S., Eynaud F., Head M.J., Limoges A., Londeix L., Marret F., Matthiessen J., Penaud A., Pospelova V., Price A., Richerol T. Distribution of common modern dinoflagellate cyst taxa in surface sediments of the Northern Hemisphere in relation to environmental parameters: The new n=1968 database. *Mar. Micropaleontol.* 2020. V. 159. ID 101796. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.marmicro.2019.101796>

3. Diatoms of the USSR (fossil and modern). V. 1. In: A.I. Proshkina-Lavrenko (Ed.). Nauka, Leningrad, 1974. 403 p.

4. Gordeev V.V. River input of water, sediment, major ions, nutrients and trace metals from Russian territory to the Arctic Ocean. *In: The Freshwater Budget of the Arctic Ocean*. Lewis E.L., Jones E.P., Lemke P., Prowse T. D., Wadhams P. (Eds.) Kluwer Academic Publisher, Dordrecht, 2000. P. 297–322.
5. Mudie P.J., Marret F., Gurdebeke P.R., Hartman J.D., Reid P.C. Marine dinocysts, acritarchs and less well-known NPP: tintinnids, ostracod and foraminiferal linings, copepod and worm remains. *Geological Society, London, Special Publications*. 2020. V.511. P. 159–232. DOI: <https://doi.org/10.1144/SP511-2020-55>
6. Polyakova E.I. Diatoms of the Arctic seas of the USSR and their significance in the study of bottom sediments. *Oceanology*. 1988. V.28, No. 2. P. 286–291.
7. Polyakova Ye.I. The Eurasian Arctic Seas during the Late Cenozoic. Scientific World, Moscow, 1997. 145 p.
8. Zonneveld K.A.F., Marret F., Versteegh G.J.M., Bogus K., Bonnet S., Bouimetarhan I., Crouch E., de Vernal A., Elshanawany R., Edwards L., Esper O., Forke S., Grøsfjeld K., Henry M., Holzwarth U., Kieft J.-F., Kim So-Y., Ladouceur S., Ledu D., Chen L., Limoges A., Londeix L., S.-H. Lu, Mahmoud M.S., Marino G., Matsouka K., Matthiessen J., Mildenhall D.C., Mudie P., Neil H.L., Pospelova V., Qi Yu., Radi T., Richerol T., Rochon A., Sangiorgi F., Solignac S., Turon J.-L., Verleye T., Yan Wang, Wang Z., Young M. Atlas of modern dinoflagellate cyst distribution based on 2405 data points. *Rev. Palaeobot. Palynol.* 2013. V.191. P. 1–197. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.revpalbo.2012.08.003>

ССЫЛКА НА СТАТЬЮ:

Новичкова Е.А., Агафонова Е.А. Микроводоросли в поверхностных осадках Карского моря // Вопросы современной альгологии. 2025. № 1 (37). P. 286–290. URL: <http://algology.ru/2198>

Novichkova E.A., Agafonova E.A. Microalgae in the surface sediments of the Kara Sea. *Voprosy sovremennoi algologii (Issues of modern algology)*. 2025. № 1 (37). P. 286–290. URL: <http://algology.ru/2198>

DOI – [https://doi.org/10.33624/2311-0147-2025-1\(37\)-286-290](https://doi.org/10.33624/2311-0147-2025-1(37)-286-290); EDN – SJDDVL

Исследования четвертичной среды в Восточной части Берингии (полуостров Сьюард, Аляска) по озерным отложениям с помощью диатомового анализа

Studies of the quaternary environment in Eastern Beringia (Seward Peninsula, Alaska) from lake sediments using diatom analysis

Палагушкина О.В.¹, Андреев А.², Бискаборн Б.², Херцшу У.²

Olga V. Palagushkina, Andrei Andreev, Boris Biskaborn, Ulrike Herzschuh

¹Казанский (Приволжский) федеральный университет (Казань, Россия)

²Институт полярных и морских исследований Альфреда Вегенера (Потсдам, Германия)

Изучены диатомовые комплексы колонки донных отложений возрастом 31800 лет озера Сальмон (полуостров Сьюард, Аляска). Определено 114 таксонов рангом ниже рода, выделено 6 диатомовых зон. На протяжении своего развития озеро оставалось пресноводным. От плейстоцена к голоцену происходило планомерное увеличение числа видов, сопровождавшееся сменой доминантов. При этом вид *Pliocaenicus costatus* отмечался только в единственной позднеплейстоценовой зоне, когда в озере индизировался самый высокий уровень воды.

Ключевые слова: диатомеи; озеро, донные осадки; плейстоцен, голоцен; Берингия; Аляска

Исследования палеосреды Берингии, особенно в ее центральной части, на сухопутном мосту между Сибирью и Северной Америкой, представляют интерес в области палеоклиматологии, палеоокеанографии, археологии, палеоэкологии и экологии (Elias et al., 1996; Hopkins, 1959; 1967; 1982). Ширина континентального шельфа между Чукоткой и Аляской составляла до 2000 км в ширину с севера на юг. Во время ледниковых времен мелководные арктические шельфы образовывали сушу между Сибирью и Северной Америкой (так называемую Берингию). После повышения уровня моря с конца последнего оледенения до его современного состояния остатки Берингии сохранились в арктических низменностях Северо-Восточной Сибири, Аляски и Канады. Полуостров Сьюард (северо-запад Аляски) расположен недалеко от центральной части бывшего Берингова моста, здесь исследования вечной мерзлоты были сосредоточены на современной и голоценовой (Lenz et al., 2016) динамике термокарстовых озер, в то время как более старые записи деградации вечной мерзлоты и развития озер во время межстадиальных интервалов последнего ледникового периода, изучались редко (Lenz et al., 2016, Palagushkina et al., 2017). В районе озера Сальмон на юго-западе полуострова Сьюард отчетливо видны ледниковые отложения, образованные четырьмя ледниковыми наступлениями плейстоценового возраста (Reger et al., 1995). Многие исследования показывают, что пресноводные диатомовые водоросли являются хорошими

индикаторами современных экологических условий и используются для реконструкции динамики окружающей среды в прошлом, особенно в северных бореальных регионах (Solovieva et al., 2005), где другие водные биоиндикаторы менее распространены (Палагушкина и др., 2012).

Основной целью данного исследования являлось изучение четвертичной среды в восточной части Берингии по отложениям озера Сальмон (юг полуострова Сьюард, Аляска) с использованием диатомовых водорослей в качестве индикаторов с последующей реконструкцией палеоклиматических и экологических изменений в плейстоцене и голоцене. Климатические условия на полуострове Сьюард, Аляска, типичны для Субарктики; характеризуются продолжительной холодной зимой и коротким прохладным летом, также полуостров подстилается прерывистой вечной мерзлотой в южной части и сплошной вечной мерзлотой в северной части, где мощность вечной мерзлоты достигает 100 м.

В процессе экспедиционных исследований 2022 г., проводимых Институтом полярных и морских исследований Альфреда Вегенера (Германия), из озера Сальмон (137 м над уровнем моря) был взят керн длиной 17,5 м, географические координаты места отбора 64.91021° с.ш., 164.99223° з.д. Установленный возраст нижнего горизонта донных отложений составляет около 30 тыс. лет назад. Техническая обработка 36 образцов донных отложений на диатомовый анализ проводилась в 2024 г. с использованием метода водяной бани (Battarbee, 1986) в лаборатории Института полярных и морских исследований Альфреда Вегенера. Для изготовления постоянных препаратов использовалась высокопреломляющая смола Naphrax. При определении видового состава использовались отечественные и зарубежные определители. Подсчет створок диатомей проводился в постоянных препаратах по параллельным трансектам до 300-500 штук с использованием светового микроскопа и иммерсионной среды. Эколого-географическая характеристика диатомовых давалась по отношению к местообитанию, солености, pH воды, по географическому распространению, температурной приуроченности и реофильности (Барина и др., 2006).

В видовом составе донных отложений было обнаружено 114 таксонов рангом ниже рода двух классов (13 – центрические, 101 – пеннатные). Статистический анализ позволил выделить шесть, отличающихся друг от друга зон.

Зона I – 31800–27000 лет назад. В пределах этой позднеплейстоценовой зоны было отмечено 24 вида с преобладанием доли створок космополитных планктонных холодолюбивых видов, предпочитающих для развития стоячие воды, по отношению к факторам солености и pH преобладали индифференты. Обилие створок планктонных видов косвенно указывает на высокий уровень воды в озере. Доминантом зоны был вид *Cyclotella bodanica* Eulens. in Grun. и только в пределах этой зоны отмечался *Pliocenicus costatus* (Log., Lupik. Et Churs.) Flower, Ozornina et Kuzmina.

Зона II – 27000–24800 лет назад. В пределах данной зоны было определено 50 видов, при этом доля створок планктонных видов заметно уменьшилась, преобладали створки бентосных, индифферентных к течению и солености видов, заметно увеличилась доля створок бореальных алкалофильных галофобных видов с доминантом *Fragilaria leptostauron* (Ehrb.) Hust. В верхней части зоны в числе доминантов появляется *Stephanodiscus alpinus* Grun. Среди субдоминантов можно отметить *Aulacoseira subarctica* (O. Müll.) Haworth.

Зона III – 24800–21200 лет назад. Число видов увеличилось до 68 с сохранением доминирования створок бентосных видов, предпочитающих стоячие водоемы, доля створок холодолюбивых видов постепенно сократилась. По отношению к фактору солености отмечено возрастание доли створок галофильных видов, по отношению к pH среды преобладают створки видов, предпочитающих щелочную реакцию. Доминантами зоны являются *Stephanodiscus alpinus* Grun, *Aulacoseira subarctica* (O. Müll.) Haworth,

Cyclotella radiosa (Grun.) Lemm., *Fragilaria pinnata* Ehrb., *Navicula pupula* Kütz., *Diploneis finnica* (Ehrb.) Cl.

Зона IV – 21200–5500 лет назад – в переходной от плейстоцена к раннему голоцену зоне определено 84 вида с преобладанием створок бентосных видов, в пределах этой зоны впервые отмечены створки теплолюбивого вида *Achnanthes lanceolata* (Bréb.) Grun. Заметно возросла доля створок галофобов, став самой высокой во всей колонке. По отношению к рН среды преобладают створки индифферентных видов. По географической приуроченности преобладают створки бореальных видов (самая высокая доля в колонке). Среди доминантов отмечены *Fragilaria leptostauron*, *Aulacoseira subarctica*, *A. ambigua* (Grun.) Simons. Вид *Stephanodiscus alpinus* становится субдоминантом.

Зона V – 5500–2000 лет назад, было определено 65 видов, по-прежнему доминируют створки бентосных, индифферентных к температуре таксонов, высока доля створок видов, предпочитающих стоячие водоемы, постепенно снижается доля створок галофобов, сохраняются высокие доли створок алкалифильных, алкалибионтных, бореальных и космополитных видов.

В зоне VI – 2000–1001 лет назад было отмечено 54 вида, здесь преобладают створки бентосных видов, предпочитающих водоемы со стоячей водой, отмечена большая доля створок галофобных, алкалифильных бореальных и космополитных видов. Доминантами зоны являются *Fragilaria leptostauron*, *Aulacoseira ambigua*, субдоминантом *A. subarctica*.

В целом за указанный исторический промежуток происходило планомерное увеличение числа видов, сопровождавшееся сменой доминантов. Так вид *Pliocenicus costatus* отмечался только в единственной позднеплейстоценовой зоне. Предполагаем, что на протяжении своего развития озеро оставалось пресноводным, а самый высокий уровень воды отмечался в позднем плейстоцене. Работы по реконструкции палеоклиматических и экологических изменений в плейстоцене и голоцене Восточной Берингии продолжаются.

Работа выполнена при поддержке ДААД по программе: Research Stays for University Academics and Scientists, 2024 (57693448) DAAD.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов, требующего раскрытия в данной статье.

Список литературы

1. Барина С.С., Медведева Л.А., Анисимова О.В. Биоразнообразие водорослей-индикаторов окружающей среды. – Тель-Авив: Pilies Studio, 2006. – 498 с.
2. Battarbee R.W. Diatom Analysis // B.E. Berglund (Ed.) Handbook of Holocene Palaeoecology and Palaeohydrology. – Wiley & Sons, 1986. – P. 527–570.
3. Elias S.A., Short S.K., Nelson C.H., Birks H.H. Life and times of the Bering land Bridge // Nature. 1996. V.382. P. 60–63.
4. Hopkins D.M. Cenozoic history of the Bering Land Bridge // Science. 1959. V.129. P. 1519–1528.
5. Hopkins D.M. (ed.). The Bering Land Bridge. – Stanford, Stanford University press, 1968. – 495 p.
6. Hopkins D.M. Aspects of the paleogeography of Beringia during the late Pleistocene // D.M. Hopkins, J.V. Matthews Jr., C.E. Schweger, S.B. Young (Ред.) – Paleoeology of Beringia, Academic Press, New York, 1982. – P. 3–28.
7. Lenz J., Wetterich S., Jones B.M., Meyer H., Bobrov A., Grosse G. Evidence of multiple thermokarst lake generations from an 11 800-year-old permafrost core on the northern Seward Peninsula, Alaska // Boreas. 2016. P. 584–602. DOI: <http://doi.org/10.1111/bor.12186>
8. Palagushkina O.V., Nazarova L.B., Wetterich S., Schirrmeister L. Diatoms of Modern Bottom Sediments in Siberian Arctic // Contemporary Problems of Ecology. 2012. V.5, №4. P. 413–422.
9. Palagushkina O., Wetterich S., Biskaborn B., Nazarova L., Lenz J., Schwamborn G., Schirrmeister L., Grosse G. Diatom records and tephra mineralogy in pingo deposits of Seward Peninsula, Alaska // Palaeo3. 2017. V.479. P. 1–15. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.palaeo>

10. Reger R.D., Hopkins D.M. Stratigraphy and implications of a lake side section Glacial Lake southwestern Kigluaik Mountains Seward Peninsula, Alaska, Short Notes on Alaska // *Geology*. 1995. P.47–52.

11. Solovieva N., Jones V.J., Nazarova L., Brooks S.J., Birks H.J.B., Grytnes J.-A., Appleby P.G., Kauppi T., Kondratenok B., Renner I., Ponomarev V. Paleolimnological evidence for recent climatic change in lakes from the northern Urals, Arctic Russia // *Journal of Paleolimnology*. 2005. V.33(4). P. 463–482. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10933-005-0811-3>

Статья поступила в редакцию 18.06.2025; поступила после доработки 02.09.2025; принята к публикации 06.09.2025

Сведения об авторах

Палагушкина Ольга Викторовна – к.б.н., доцент, Казанский (Приволжский) федеральный университет, Россия, Казань (Kazan (Volga Region) Federal University, Russia, Kazan); olpalagushkina@gmail.com; ORCID – <https://orcid.org/0000-0002-8131-0216>; SPIN-код 9734-3735.

Андреев Андрей (Andreev Andrei) – Институт полярных и морских исследований Альфреда Вегенера, Германия, Потсдам (Alfred Wegener Institute for Polar and Marine Research, Germany, Potsdam); aandreev@awi.de; ORCID – <https://orcid.org/0000-0002-8745-9636>.

Херциу Ульрика (Herzschuh Ulrike) – Институт полярных и морских исследований Альфреда Вегенера, Германия, Потсдам (Alfred Wegener Institute for Polar and Marine Research, Germany, Potsdam); ulrike.herzschuh@awi.de; ORCID – <https://orcid.org/0000-0003-0999-1261>.

Бискаборн Борис (Biskaborn Boris) – Институт полярных и морских исследований Альфреда Вегенера, Германия, Потсдам (Alfred Wegener Institute for Polar and Marine Research, Germany, Potsdam); Boris.Biskaborn@awi.de; ORCID – <https://orcid.org/0000-0003-2378-0348>.

Корреспондентский адрес: Россия, 420008, Казань, Кремлевская, 18, КФУ, тел. (843) 292-72-16.

Studies of the quaternary environment in Eastern Beringia (Seward Peninsula, Alaska) from lake sediments using diatom analysis

Olga V. Palagushkina¹, Andrei Andreev², Boris Biskaborn², Ulrike Herzschuh²

¹Kazan (Volga Region) Federal University (Russia, Kazan)

²Alfred Wegener Institute for Polar and Marine Research (Germany, Potsdam)

Diatom assemblages from a 31,800-year-old sediment column from Salmon Lake (Seward Peninsula, Alaska) were studied. 114 taxa below the genus rank were identified, and 6 diatom zones were distinguished. Throughout its development, the lake remained freshwater. From the Pleistocene to the Holocene, there was a systematic increase in the number of species, accompanied by a change in dominants. At the same time, the species *Pliocaenicus costatus* was noted only in a single late Pleistocene zone, when the highest water level was indicated in the lake.

Key words: Diatoms; lake; bottom sediments; Pleistocene; Holocene; Beringia; Alaska

References

1. Barinova S.S., Medvedeva L.A., Anisimova O.V. Biodiversity of algae-environmental indicators. Pilies Studio, Tel Aviv, 2006. 498 p. (In Russ.)
2. Battarbee R.W. Diatom Analysis. In: B.E. Berglund (Ed.) Handbook of Holocene Palaeoecology and Palaeohydrology. Wiley & Sons, 1986. P. 527–570.
3. Elias S.A., Short S.K., Nelson C.H., Birks H.H. Life and times of the Bering land Bridge. *Nature*. 1996. V.382. P. 60–63.
4. Hopkins D.M. Cenozoic history of the Bering Land Bridge. *Science*. 1959. V.129. P. 1519–1528.
5. Hopkins D.M. (Ed.). The Bering Land Bridge. Stanford, Stanford University press, 1968. 495 p.
6. Hopkins D.M. Aspects of the paleogeography of Beringia during the late Pleistocene // D.M. Hopkins, J.V. Matthews Jr., C.E. Schweger, S.B. Young (Eds.) Paleogeography of Beringia, Academic Press, New York, 1982. P. 3–28.

7. Lenz J., Wetterich S., Jones B.M., Meyer H., Bobrov A., Grosse G. Evidence of multiple thermokarst lake generations from an 11 800-year-old permafrost core on the northern Seward Peninsula, Alaska. *Boreas*. 2016. P. 584–602. DOI: <http://doi.org/10.1111/bor.12186>
8. Palagushkina O.V., Nazarova L.B., Wetterich S., Schirrmeister L. Diatoms of Modern Bottom Sediments in Siberian Arctic. *Contemporary Problems of Ecology*. 2012. V.5, №4. P. 413–422.
9. Palagushkina O., Wetterich S., Biskaborn B., Nazarova L., Lenz J., Schwamborn G., Schirrmeister L., Grosse G. Diatom records and tephra mineralogy in pingo deposits of Seward Peninsula, Alaska. *Palaeo3*. 2017. V.479. P. 1–15. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.palaeo>
10. Reger R.D., Hopkins D.M. Stratigraphy and implications of a lake side section Glacial Lake southwestern Kigluaik Mountains Seward Peninsula, Alaska, Short Notes on Alaska. *Geology*. 1995. P.47–52.
11. Solovieva N., Jones V.J., Nazarova L., Brooks S.J., Birks H.J.B., Grytnes J.-A., Appleby P.G., Kauppila T., Kondratenok B., Renner I., Ponomarev V. Paleolimnological evidence for recent climatic change in lakes from the northern Urals, Arctic Russia. *Journal of Paleolimnology*. 2005. V.33(4). P. 463–482. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10933-005-0811-3>

ССЫЛКА НА СТАТЬЮ:

Палагушкина О.В., Андреев А., Бискаборн Б., Херцшух У. Исследования четвертичной среды в Восточной части Берингии (полуостров Сьюард, Аляска) по озерным отложениям с помощью диатомового анализа // Вопросы современной альгологии. 2025. № 1 (37). P. 291–295. URL: <http://algology.ru/2211>

Palagushkina O.V., Andreev A., Biskaborn B., Herzsuh U. Studies of the quaternary environment in Eastern Beringia (Seward Peninsula, Alaska) from lake sediments using diatom analysis. *Voprosy sovremennoi algologii (Issues of modern algology)*. 2025. № 1 (37). P. 291–295. URL: <http://algology.ru/2211>

DOI – [https://doi.org/10.33624/2311-0147-2025-1\(37\)-291-295](https://doi.org/10.33624/2311-0147-2025-1(37)-291-295); EDN – UWPCCO

Диатомеи в истории биогенного кремненакопления в Арктике

Diatoms in the history of biogenic silica accumulation in the Arctic

Полякова Е.И.

Yelena I. Polyakova

*Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,
географический факультет (Москва, Россия)*

Рассмотрена роль диатомей в эволюции биогенного кремненакопления в Северной полярной области в процессе формирования Арктического океана. Поздний мел и палеоген характеризовались накоплением диатомитов в эпиконтинентальных морях Северной Евразии и прилегающих низменностях. Увеличение притока атлантических вод в Арктический океан в раннем-среднем миоцене привело к установлению в нем строгой стратификации водных масс, сокращению содержания кремнезема в поверхностных водах океана, растворению опаловых створок диатомей после окончания вегетации и практически полному их исчезновению в неогеновых и четвертичных глубоководных осадках.

Ключевые слова: диатомовые водоросли; биогенное кремненакопление; Арктика; диатомовая стратиграфия; кайнозой

В современном морском кремненакоплении более 90% приходится на долю диатомовых водорослей (Лисицын, 1966, 1978). Фактором, диктующим появление зон высокой продуктивности диатомовых водорослей, является поступление в зону фотосинтеза достаточного количества биогенных элементов из глубинных слоев океана. Это происходит в зонах апвеллингов и океанской дивергенции, а также областям формирования мощных циклонических круговоротов, вызывающих подъём глубинных вод. Максимальное содержание опала в осадках с образованием диатомовых илов характерно для Охотского и Берингова морей, а также для южной зоны дивергенции, охватывающей сплошной полосой южное полушарие между 45° и 65° ю.ш., где накапливается более 80% всего биогенного кремнезема Мирового океана (Лисицын, 1966, 1978; DeMaster, 2019; Hays et al., 2021).

Диатомовый планктон является также важным климатообразующим фактором нашей планеты, как один из основных участников так называемого «биологического углеродного насоса», являясь ведущим биологическим механизмом в системе Земли, позволяющим удалять CO₂ из углеродного цикла на очень длительный период (Treguer et al., 2000; Романкевич, Ветров, 2021), что определяет особый интерес к изучению биогенного кремненакопления в прошлом. Полярные и субполярные регионы особенно благоприятными для поглощения углерода, так как более холодные воды способны удерживать больше CO₂, а самый высокий уровень поглощения на единицу площади установлен в Северной Атлантике и Северном Ледовитом океанах.

По геологическим масштабам времени диатомовые водоросли появились сравнительно недавно, однако успели стать одной из важнейших групп фотосинтезирующих организмов на планете. Их эволюционное появление могло быть связано с катастрофическим массовым вымиранием организмов в конце пермского периода (~ 250 млн лет назад), в результате которого освободились многочисленные морские экологические ниши (Falkowski et al., 2004). На ранней «пластичной стадии развития» клетки диатомовых водорослей не образовывали кремниевого «панциря», однако в этот период сформировались основные эволюционные ряды (Jouse, 1978; Николаев, 1984; Round et al., 1990; Стрельникова, 1992). Самые ранние известные ископаемые кремниевые остатки диатомей относятся к ранней юре (~ 185 млн лет назад), а в позднем мелу началось формирование обширных площадей диатомовых илов во многих районах Мирового океана.

До недавнего времени оставалось загадкой каким образом у диатомовых водорослей возникли уникальные способности строить кремниевые панцири? А также почему у диатомей наблюдались чрезвычайно быстрые скорости видообразования? Ответ был получен в результате молекулярно-генетических исследований только на рубеже 20-го и 21-го веков, благодаря которым обнаружено большое число генов, явно заимствованных диатомеями у различных прокариот: цианобактерий, протеобактерий, архей (Medlin et al, 1997 и др.). Эти гены значительно расширили биохимические и физиологические возможности диатомей, участвуют в построении их ажурных кремниевых створок, а также являются одной из главных причин быстрого видообразования диатомовых водорослей и их эволюционного успеха.

В кайнозое диатомовые водоросли стали играть ключевую роль в регулировании биогеохимического круговорота кремния в Мировом океане, обладая уникальным механизмом поглощения из воды и отложения диоксида кремния в наноструктурах их панцирей («биологический насос») (Falkowski et al., 2004 и др.). Возрастание продуктивности диатомей и их роли в биогенном кремненакоплении в океане связывают с обильным выносом кремнезема с речным стоком и аэрозолями, что было вызвано усилением речного стока за счет роста крупнейших горных систем, таких как Гималаи, Анды и другие, а также ландшафтно-климатическими изменениями, сопровождавшимися расширением лугопастбищных биомов и эволюционной радиацией трав (Lazarus et al., 2014).

Продуктивность и географическое распространение диатомовых водорослей в кайнозое были связаны, прежде всего, с перестройкой океанской термогалинной циркуляции с широтной на преимущественно меридиональную, тектонически обусловленными открытиями и закрытиями океанических проходов (пролив Дрейка, океан Тетис, Панамский перешеек и др.), сопровождавшимися глобальными климатическими изменениями. В результате океанский термогалинный конвейер в близком современному виде с формированием придонных вод в Антарктике и глубинных вод в Северной Атлантике сформировался к концу миоцена. Отражением этой перестройки являлось перераспределение зон биокремнистых осадков в Мировом океане с широким поясом тропических биокремнистых осадков к расширению зон биокремнистого осадконакопления в высоких широтах (Barron, Baldauf, 1989; Baldauf, Barron, 1990; Sherer et al., 2007).

Биогенное кремненакопление в Северной полярной области в позднем мелу и кайнозое претерпело кардинальные изменения за время формирования Арктического океана. Ведущая роль в этом принадлежит тектоническим процессам и гидродинамическим условиям в водоемах центральной Арктики и прилегающих морях, прежде всего, установление и разрушение связей с южными океанами – Тетис, Атлантическим и Тихим. В осадках центральных районов Арктического океана комплексы кремнистых микрофоссилий установлены лишь в донеогеновых осадках. Верхнемеловые, почти чистые ламинированные диатомовые илы, включающие

прекрасно сохранившиеся диатомеи, силикофлагелляты и эбриидеи, более типичные для умеренных широт, полученные с хребта Альфа (Barron, 1985), отражают сезонные флуктуации в популяции диатомей в областях высокой органической продуктивности. Этот период в Западной Сибири, в западной части Карского моря, Западном Предуралье, Среднем Поволжье характеризовались накоплением мощных толщ диатомитов, свидетельствующих о высокой продуктивности вод за счет поступления из глубоководных котловин Арктического бассейна обогащенных биогенными элементами вод (Стрельникова, 1974). На шельфе Баренцева моря мощность верхнемеловых отложений достигает 1000 м и более. Все они относились к бореальной палеобиогеографической области и свидетельствовали о широких связях с Арктическим бассейном и океаном Тетис.

В палеогене в эпиконтинентальных морях Северной Евразии и прилегающих низменностях существовали благоприятные условия для биогенного кремненакопления, где формировались мощные толщи диатомитов, диатомовых глин, опок (Стрельникова, 1992), чему способствовали мощные потоки теплых вод из океана Тетис через Тургайское и Западно-Сибирское моря, которые прекратились в раннем олигоцене, также как и водообмен Норвежского моря с Тетис (Харин, Лукашина, 2010; Ахметьев, 2017). В Центральной Арктике комплексы эоценового кремниевого микропланктона установлены в глинах и глинисто-кремнистых породах на хребте Альфа (Thiede et al., 1990), обилие которых предполагает активное развитие апвеллингов в Канадском бассейне в период их накопления, как и в позднем мелу, а систематический состав силикофлагеллят подтверждает связь Арктического океана с Мировым в среднем и позднем эоцене. Среднеэоценовые диатомовые илы, полученные с хребта Ломоносова, также содержат важную информацию о высокой палеопродуктивности вод и обильном пресноводном стоке в этот период (Backman et al., 2006; Stein, 2019).

В водообмене Атлантического и Арктического океанов решающее значение имело тектоническое открытие пролива Фрама. Постепенное расширение (> 100 км) и углубление ($> 1,5$ км) пролива в раннем-среднем миоцене привело к усилению холодного донного арктического стока в Северную Атлантику, увеличению притока соленой атлантической воды в Северный Ледовитый океан и установлению в нем строгой стратификации водных масс, сопоставимой с современной (Hossain et al., 2021). Последний фактор привел к сокращению содержания кремнезема в поверхностных водах океана, растворению опаловых створок диатомей после окончания вегетации и практически полному их исчезновению в неогеновых глубоководных осадках, однако для миоцена имеются биогеохимические свидетельства высокой продуктивности диатомового планктона в Арктическом бассейне (Stein et al., 2016). Исследования поверхностных донных осадков Арктического океана свидетельствуют, что на континентальном склоне и в глубоководных районах океана диатомеи представлены лишь единичными переотложенными створками морских меловых и палеогеновых видов (Полякова, 1997; Полякова и др., 2017). Неоген-четвертичные и современные комплексы морских диатомей установлены в осадках шельфовых морей, где содержание диатомовых створок может достигать нескольких миллионов на 1 грамм благодаря обильному речному стоку с высоким содержанием растворенной кремнекислоты и биогенных элементов, либо, как в Чукотском море, поступлению высокопродуктивных берингоморских вод (Полякова, 1997; Полякова и др., 2017).

На приморских низменностях Северной Евразии и прилегающем арктическом шельфе ископаемые комплексы морских диатомей, соответствующие миоценовым, плиоцен-эоплейстоценовой и неоплейстоценовым трансгрессиям, установлены как *in situ* в неоген-четвертичных отложениях, так и во вторичном залегании, что указывает на развитие серии трансгрессий в пределах Евразийского арктического шельфа и прилегающих приморских низменностей, начиная с 12 млн лет назад. Возраст

трансгрессий установлен на основе корреляции этих комплексов с зональными стратиграфическими диатомовыми шкалами Северной Пацифики и Норвежско-Гренландского бассейна, свидетельствуя о водообмене Арктического океана с этими бассейнами (Полякова, 1997; Polyakova, 2001).

Работа выполнена в рамках госзадания Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова №121051100135-0.

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

Список литературы

1. Ахметьев М.А., Запорожец Н.И. Климатообразующая роль морских течений в раннем палеогене в высоких широтах Евразии // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 2017. Т. 25, № 2. С. 115–126.
2. Лисицын А.П. Геохимия кремнезема. – М.: Наука, 1966. 191 с.
3. Лисицын А.П. Процессы океанской седиментации. – М.: Наука, 1978. – 392 с.
4. Николаев В.А. К построению системы центрических диатомовых водорослей (Bacillariophyta) // Ботанический журнал. 1984. Т. 69, № 11. С. 1468–1474.
5. Полякова Е.И. Арктические моря Евразии в позднем кайнозое. – М.: Научный мир, 1997. 146 с.
6. Полякова Е.И., Новичкова Е.А., Ключевкина Т.С. Диатомеи и палиноморфы в поверхностных осадках арктических морей и их значение для палеоокеанологических исследований в высоких широтах. В кн.: Система Белого моря. Том IV. Процессы осадкообразования, геология и история. – М.: ГЕОС, 2017. С. 796–855.
7. Романкевич Е.А., Ветров А.А. Углерод в Мировом океане. – М.: ГЕОС, 2021. 352 с. DOI: <https://doi.org/10.34756/GEOS.2021.16.37857>.
8. Стрельникова Н.И. Диатомеи позднего мела. – Л.: Наука, 1974. 200 с.
9. Стрельникова Н.И. Палеогеновые диатомовые водоросли. – С.-П.: Изд. С.-П. ун-та. 1992. 311 с.
10. Харин Г.С., Лукашина Н.П. Палеогеография Норвежско-Гренландского и Северо-Западного Европейского морских бассейнов в палеогене // Океанология. 2010. Т. 50, №2. С. 248–261.
11. Backman J., Moran K., McInroy D.B. Proceedings IODP. 2006. V. 302. College Station, Texas: Integrated Ocean Drilling Program Management International, Inc. DOI: <https://doi.org/10.2204/iodp.proc.302.104.2006>
12. Baldauf J.G., Barron J.A. Evolution of biosiliceous sedimentation patterns – Eocene through Quaternary paleoceanographic response to Polar cooling – Geological history of the Polar Ocean: Arctic versus Antarctic. // Bleil U., Thiede J. (Eds). 1990. P. 575–607.
13. Barron J.A. Late Eocene to Holocene diatom biostratigraphy of the equatorial Pacific, DSDP Leg. 85// Initial Repts. DSDP. V. 85. 1985. P. 413–456.
14. Barron J.A., Baldauf J.G. Tertiary cooling steps and paleoproductivity as reflected by diatoms and biosiliceous sediments // Berger W.H., Smetace V.S., Wefer G. (Eds.) Productivity of the Ocean: present and past. 1989. P. 341–354.
15. DeMaster D.J. The global marine silica budget: Sources and sinks. – Encyclopedia of Ocean Sciences. 2019. P. 473–483. Elsevier. DOI: <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-409548-9.10799-7>
16. Falkowski P.G., Katz M.E., Knoll A.H., Quigg A., et al. The Evolution of Modern Eukaryotic Phytoplankton // Science. 2004. V.305 (5682). P. 354–360. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.1095964>
17. Hayes C.T., Costa K.M., Anderson R.F., Calvo E., Chase Z., Demina L.L., Dutay J.-C., German Ch.R., Heimbürger-Boavida L.-E., Jaccard S.L., Jacobel A., Kohfeld K.E., Kravchishina M.D., Lippold J., Mekik F., Missiaen L., Pavia F.J., Paytan A., Pedrosa-Pamies R., Petrova M.V., Rahman Sh., Robinson L.F., Roy-Barman M., Sanchez-Vidal A., Shiller A., Tagliabue A., Tessin A.C., van Hulten M., Zhang J. Global Ocean sediment composition and burial flux in the deep sea // Global Biogeochemical Cycles. 2021. V.35. ID e2020GB006769. DOI: <https://doi.org/10.1029/2020GB006769>
18. Hossain A., Knorr G., Jokat W., Lohmann G. Opening of the Fram Strait led to the establishment of a modern-like three-layer stratification in the Arctic Ocean during the Miocene. // Arktos. 2021. V.7. P. 1–12. DOI: <https://doi.org/10.1007/s41063-020-00079-8>
19. Jouse A.P. Diatom biostratigraphy on the genetic level // Micropaleont. 1978. V. 24. N 3. P. 316–326.
20. Lazarus D., Barron J., Renaudie J., Diver P., Türke A. Cenozoic Planktonic Marine Diatom Diversity and Correlation to Climate Change // PLOS ONE. 2014. V.9 (1). DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0084857>

21. Medlin L. K., Kooistra W.H.C.F., Gersonde R., Sims P.A., Wellbrock U. Is the origin of the diatoms related to the end-Permian mass extinction? // *Nova Hedwigia*. 1997. V.65 (1–4). P. 1–11. DOI: <https://doi.org/10.1127/nova.hedwigia/65/1997/1>
22. Polyakova Ye.I. Late Cenozoic evolution of Northern Eurasian marginal Seas based on diatom records // *Polarforschung*. 2001. V. 69. P. 211–220.
23. Round F.E., Crawford R.M., Mann D.G. The Diatoms: biology and morphology of the genera. – Cambridge: Cambridge University Press, 1990. – 747 p.
24. Scherer R.P., Gladenkov A.Yu., Barron J.A. Methods and applications of Cenozoic marine diatom biostratigraphy // *Paleontological Society Papers*. 2007. V.13. P. 61–83. DOI: <https://doi.org/10.1017/S1089332600001467>
25. Stein R. The late Mesozoic-Cenozoic Arctic Ocean climate and sea ice history: A challenge for past and future scientific ocean drilling. // *Paleoceanography and Paleoclimatology*. 2019. V.34. DOI: <https://doi.org/10.1029/2018PA003433>
26. Stein R., Fahl K., Schreck M., Knorr G., Niessen F., Forwick M. Evidence for ice-free summers in the late Miocene central Arctic Ocean // *Nature Communication*. 2016. 7:11148 DOI: <https://doi.org/10.1038/ncomms11148>
27. Thiede J., Clark D. L., Hermann Y. Late Mesozoic and Cenozoic paleoceanography of the northern polar oceans // *The geology of North America. The Arctic Ocean Region*. 1990. V. L. P. 427–458.
28. Tréguer J., Sutton J.N., Brzezinski M., Charette M.A., Devries T., Dutkiewicz S., Ehlert C., Hawkings J., Leynaert A., Liu S.M., Monferrer N.L., López-Acosta M., Maldonado M., Rahman Sh., Ran L., Rouxel O. The biogeochemical cycle of silicon in the modern ocean // *Biogeosciences*. 2020. DOI: <https://doi.org/10.5194/bg-2020-274>

Статья поступила в редакцию 18.06.2025; поступила после доработки 22.08.2025; принята к публикации 28.08.2025

Сведения об авторах

Полякова Елена Ивановна – д.г.н., доцент, в.н.с., Московский Государственный Университет им. М.В. Ломоносова, географический факультет, Россия, Москва (Lomonosov Moscow State University, Russia, Moscow); ye.polyakova@mail.ru; ORCID – <https://orcid.org/0000-0001-9327-5916>.

Корреспондентский адрес: Россия, 119234, Москва, Ленинские горы, д. 1, Географический факультет МГУ, тел. (495) 939-22-38.

Diatoms in the history of biogenic silica accumulation in the Arctic

Yelena I. Polyakova

Lomonosov Moscow State University (Russia, Moscow)

The role of diatoms in the evolution of biogenic silica accumulation in the Northern Polar region during the formation of the Arctic Ocean is considered. The Late Cretaceous and Paleogene were characterized by the accumulation of diatomites in the epicontinental seas of Northern Eurasia and adjacent lowlands. An increase in the influx of Atlantic waters into the Arctic Ocean in the Early to Middle Miocene led to the establishment of strict stratification of water masses in it, a decrease in the silica content in the surface waters of the ocean, the dissolution of opal diatom flaps after the end of vegetation and their almost complete disappearance in Neogene and Quaternary deep-sea sediments.

Key words: diatoms; biogenic silica accumulation; Arctic; diatom stratigraphy; Cenozoic

References

1. Akhmetiev M. A., Zaporozhets N. I. The Climate-forming role of Early Paleogene marine currents in high latitudes of Eurasia. *Stratigraphy. Geological correlation*. 2017. V.25, №2. P. 229–239 DOI: <https://doi.org/10.1134/S0869593817020022>

2. Backman J., Moran K., McInroy D.B. Proceedings IODP. 2006. V. 302. College Station, Texas: Integrated Ocean Drilling Program Management International, Inc. DOI: <https://doi.org/10.2204/iodp.proc.302.104.2006>
3. Baldauf J.G., Barron J.A. Evolution of biosiliceous sedimentation patterns – Eocene through Quaternary paleoceanographic response to Polar cooling – Geological history of the Polar Ocean: Arctic versus Antarctic. Bleil U., Thiede J. (Eds). 1990. P. 575–607.
4. Barron J.A. Late Eocene to Holocene diatom biostratigraphy of the equatorial Pacific, DSDP Leg. 85. *Initial Repts. DSDP*. V. 85. 1985. P. 413–456.
5. Barron J.A., Baldauf J.G. Tertiary cooling steps and paleoproductivity as reflected by diatoms and biosiliceous sediments. Berger W.H., Smetace V.S., Wefer G. (Eds.) *Productivity of the Ocean: present and past*. 1989. P. 341–354.
6. DeMaster D.J. The global marine silica budget: Sources and sinks. – *Encyclopedia of Ocean Sciences*. 2019. P. 473–483. Elsevier. DOI: <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-409548-9.10799-7>
7. Falkowski P.G., Katz M.E., Knoll A.H., Quigg A., et al. The Evolution of Modern Eukaryotic Phytoplankton. *Science*. 2004. V.305 (5682). P. 354–360. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.1095964>
8. Hossain A., Knorr G., Jokat W., Lohmann G. Opening of the Fram Strait led to the establishment of a modern-like three-layer stratification in the Arctic Ocean during the Miocene. // *Arktos*. 2021. V.7. P. 1–12. DOI: <https://doi.org/10.1007/s41063-020-00079-8>
9. Hayes C.T., Costa K.M., Anderson R.F., Calvo E., Chase Z., Demina L.L., Dutay J.-C., German Ch.R., Heimbürger-Boavida L.-E., Jaccard S.L., Jacobel A., Kohfeld K.E., Kravchishina M.D., Lippold J., Mekik F., Missiaen L., Pavia F.J., Paytan A., Pedrosa-Pamies R., Petrova M.V., Rahman Sh., Robinson L.F., Roy-Barman M., Sanchez-Vidal A., Shiller A., Tagliabue A., Tessin A.C., van Hulten M., Zhang J. Global Ocean sediment composition and burial flux in the deep sea. *Global Biogeochemical Cycles*. 2021. V.35. ID e2020GB006769. DOI: <https://doi.org/10.1029/2020GB006769>
10. Jouse A.P. Diatom biostratigraphy on the genetic level. *Micropaleont.* 1978. V. 24. N 3. P. 316–326.
11. Kharin G.S., Lukashina N.P. Paleogeography of the Norwegian-Greenland and Northwestern European Sea Basins in the Paleogene. *Oceanology*. 2010. V.50, № 2. DOI: <https://doi.org/10.1134/S0001437010020086>
12. Lazarus D., Barron J., Renaudie J., Diver P., Türke A. Cenozoic Planktonic Marine Diatom Diversity and Correlation to Climate Change. *PLOS ONE*. 2014. V.9 (1). DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0084857>
13. Lisitzin A.P. Geochemistry of silica. Nauka, Moscow, 1966. 191 p. (In Russ.)
14. Lisitzin A.P. Processes of ocean sedimentation. Nauka, Moscow, 1978. 392 p.
15. Medlin L. K., Kooistra W.H.C.F., Gersonde R., Sims P.A., Wellbrock U. Is the origin of the diatoms related to the end-Permian mass extinction? *Nova Hedwigia*. 1997. V.65 (1–4). P. 1–11. DOI: <https://doi.org/10.1127/nova.hedwigia/65/1997/1>
16. Nikolaev V.A. Towards the construction of a system of centric diatoms (Bacillariophyta). *Botanical Journal*. 1984. V. 69, № 11. P. 1468–1474.
17. Polyakova Ye.I. The Eurasian Arctic seas during the Late Cenozoic. Nauchnyi Mir, Moscow, 1997. 146 p.
18. Polyakova Ye.I. Late Cenozoic evolution of Northern Eurasian marginal Seas based on diatom records. *Polarforschung*. 2001. V. 69. P. 211–220.
19. Polyakova Ye.I., Novichkova E.A., Klyuvitkina T.S. Diatoms and palynomorphs in surface sediments of the Arctic seas and their significance for paleoceanological research at high latitudes. In: *The system of the White Sea. Volume IV. Sedimentation processes, geology and history*. GEOS, Moscow, 2017. P. 796–855.
20. Romankevich E.A., Vetrov A.A. Carbon in the World Ocean. GEOS, Moscow, 2021. 352 p. DOI: <https://doi.org/10.34756/GEOS.2021.16.37857>
21. Round F.E., Crawford R.M., Mann D.G. The Diatoms: biology and morphology of the genera. Cambridge University Press, Cambridge, 1990. 747 p.
22. Scherer R.P., Gladenkov A.Yu., Barron J.A. Methods and applications of Cenozoic marine diatom biostratigraphy. *Paleontological Society Papers*. 2007. V.13. P. 61–83. DOI: <https://doi.org/10.1017/S1089332600001467>
23. Stein R. The late Mesozoic-Cenozoic Arctic Ocean climate and sea ice history: A challenge for past and future scientific ocean drilling. *Paleoceanography and Paleoclimatology*. 2019. V.34. DOI: <https://doi.org/10.1029/2018PA003433>
24. Stein R., Fahl K., Schreck M., Knorr G., Niessen F., Forwick M. Evidence for ice-free summers in the late Miocene central Arctic Ocean. *Nature Communication*. 2016. 7:11148 DOI: <https://doi.org/10.1038/ncomms11148>
25. Strelnikova N.I. Diatoms of the Late Cretaceous. Nauka, Leningrad, 1974. 200 p.
26. Strelnikova N.I. Paleogene diatoms. Publishing house of the St.Petersburg University, St.Petersburg, 1992. 311 p.

27. Thiede J., Clark D. L., Hermann Y. Late Mesozoic and Cenozoic paleoceanography of the northern polar oceans. *The geology of North America. The Arctic Ocean Region*. 1990. V. L. P. 427–458.

28. Tréguer J., Sutton J.N., Brzezinski M., Charette M.A., Devries T., Dutkiewicz S., Ehlert C., Hawkings J., Leynaert A., Liu S.M., Monferrer N.L., López-Acosta M., Maldonado M., Rahman Sh., Ran L., Rouxel O. The biogeochemical cycle of silicon in the modern ocean. *Biogeosciences*. 2020. DOI: <https://doi.org/10.5194/bg-2020-274>

ССЫЛКА НА СТАТЬЮ:

Полякова Е.И. Диатомеи в истории биогенного кремненакопления в Арктике // Вопросы современной альгологии. 2025. № 1 (37). P. 296–302. URL: <http://algology.ru/2212>

Polyakova Ye.I. Diatoms in the history of biogenic silica accumulation in the Arctic. *Voprosy sovremennoi algologii (Issues of modern algology)*. 2025. № 1 (37). P. 296–302. URL: <http://algology.ru/2212>

DOI – [https://doi.org/10.33624/2311-0147-2025-1\(37\)-296-302](https://doi.org/10.33624/2311-0147-2025-1(37)-296-302); EDN – VEQHKI

Нижняя граница квартера в Северной Пацифике по диатомеям

Lower Quaternary boundary in the North Pacific according to diatoms

Пушкарь В.С.

Vladimir S. Pushkar

Дальневосточный геологический институт – ДВГИ ДВО РАН (Владивосток, Россия)

Решение о проведении нижней границы квартера на уровне 2,588 млн лет было принято Международным союзом геологических наук (IUGS) в 2009 г. В настоящее время особое внимание геологов, занимающихся изучением четвертичных отложений, уделяется проблеме поиска критериев и обоснования принятия этого уровня в качестве нижней границы квартера в различных континентальных и морских толщах. В предлагаемой работе рассмотрены критерии распознавания этого рубежа в отложениях Северной Пацифики и ее континентального обрамления с позиций абиотических и биотических событий.

Ключевые слова: диатомеи; эволюционные и экологические перестройки комплексов диатомей; палеоклимат; уровень моря; квартал; Северная Пацифика

Решением Международного союза геологических наук (Норвегия, 2009 г.), принятым по представлению Международной комиссии по стратиграфии, было предложено установить нижнюю границу квартера на уровне 2,58 млн лет. Это вызвало дискуссию, касающуюся обоснования нового положения границы и включения гелазского яруса плиоцена в состав квартера. Особенно остро звучал вопрос о критериях проведения новой границы, их унификации в различных региональных геологических стратотипах (Борисов, 2010; Гиббард, 2015; Гладенков, 2009, 2010; Гладенков А., Гладенков Ю., 2021; Жамойда, Леонтьева, 2012; Тесаков, 2013; Gibbard, Head, 2009; Gibbard, Head, Walker, 2010; Head, Pillans., Farquhar, 2008). Сам стратотип нижней границы гелазия – разрез Монте Сан Никола (Сицилия) – утвержден в 1996 г. (Ogg, Pillans, 2008). На этом уровне располагается граница между палеомагнитными ортозонами Матуйма-Гаусс и основание 103-й кислородно-изотопной стадии. В России по рекомендации Неогеновой и Четвертичной комиссий Межведомственного стратиграфического комитета совместно с Комиссией по изучению четвертичного периода РАН граница между неогеном и кварталом была принята в 2011 г. на уровне 2,58 млн лет (Жамойда, Леонтьева, 2012).

При обсуждении проблемы отмечено, что при выделении критериев проведения границ региональных подразделений квартера следует принять во внимание соотношения объемов и положения границ ярусов Международной стратиграфической шкалы (МСШ) и подразделений региональных шкал. Как правило, нижние границы

ярусов МСШ и регионарусов, как и палеогеографические ситуации, соотносятся по-разному. Основными причинами таких несоответствий могут быть разномасштабность, различия и иерархия событий сравниваемых объектов – Мирового океана и континентальных регионов. Немаловажно учитывать и разные критерии выделения ярусов в МСШ и регионарусов России. При межрегиональной корреляции стратиграфических подразделений, в частности, гелазского яруса, всегда будут присутствовать осложнения, обусловленные разной степенью изученности, а в континентальных толщах и фациальной разнородностью. По-видимому, такие осложнения универсальны для любых регионов (Борисов, 2010; Гладенков, 2010; Свиточ, 2016).

Пацифика

Морские диатомовые зоны *Neodenticula kamtschatica*-N. *koizumii* (3,7–2,58 млн лет, соответствует пьяченцкому ярусу), *Thalassiosira convexa* (2,58–2,3 млн лет) и *Pyxidicula zabelinae* (2,3–1,88 млн лет), соответствующие гелазскому ярусу, достаточно хорошо прослеживаются в умеренных и арктических широтах Тихоокеанского региона. В Восточной и Экваториальной Пацифике этому периоду соответствует зона *Proboscia praebergonii*. Нижняя граница зоны *Thalassiosira convexa* и граница подзон А и В зоны *Proboscia praebergonii* отвечают требованиям понижения границы квартера до уровня 2,58 млн лет, исходя из эволюционных биотических событий.

Приморье

Анализ вертикального распространения диатомей в разрезах позднего кайнозоя показывает, что к основанию анненского горизонта (гелазский ярус) практически полностью исчезают плиоценовые и остаются только плейстоценовые и современные таксоны диатомей. Для отложений диатомовой зоны *Aulacoseira praegranulata* var. *praeislandica* f. *praeislandica* четко отмечается превалирование аллювиального типа седиментогенеза, при этом в регионе фиксируется постепенное сокращение площадей, занятых озерными бассейнами. Похолодание позднего плиоцена с выраженным температурным минимумом на уровне около 2,58 млн лет достаточно ярко отражено в экологических структурах диатомовых ассоциаций (Pushkar, 2021). В литологическом плане с этим рубежом совпадает подошва толщи красноцветов анненского горизонта, соответствующая нижней границе гелазского яруса (2,58 млн лет).

Чукотка (Ванкаремская впадина)

Журавлиная синевато-серая морена формировалась в прибрежно-морских условиях и соответствует времени второй половины зоны *Neodenticula koizumii*–*Neodenticula kamtschatica*, когда климат в Ванкаремской впадине был близок современному, но отличался большей влажностью, что способствовало развитию позднеплиоценового оледенения (Pushkar, 2022a). Окаанская серая морена вышла на низменность, вероятно, во время регрессии моря, так как в ее нижних слоях морских диатомей не обнаружено. Основная же часть морены отлагалась в прибрежно-морских условиях. Следы холодной тундро-степи в разрезе Ванкаремской впадины датированы 2,65–2,5 млн лет. Это похолодание с выраженным температурным минимумом на уровне около 2,58 млн лет достаточно ярко отражено в экологических структурах диатомовых ассоциаций. Именно с этого момента в условиях резких климатических изменений начинается яркое проявление модификаций в морфогенезе створок диатомей рода *Cyclotella* и их фенотипического отбора в эволюции (Cherepanova et al., 2010) Для этого времени характерно полное отсутствие в отложениях пыльцы широколиственных пород, что может свидетельствовать о низких температурах. Это похолодание с выраженным температурным минимумом на уровне около 2,58 млн лет достаточно ярко отразилось в экологических структурах диатомовых ассоциаций нижней части зоны *Thalassiosira convexa* (2,58–2,3 (2,2) млн л.).

Аляска

Исследована диатомовая флора формации Губик в районе Скалл Клиф. Стратиграфические толщи, состоящие из морских отложений, были сформированы во время трансгрессий Колвиллиан, Бигбендиан, Фишкрикиан и Вайнвиргитиан и имеют статус стратотипа (Pushkar, 2022b). Самая древняя толща Нулавик характеризуется комплексами диатомей зоны *Neodenticula kamtschatica*–*Neodenticula koizumii*, возраст которых составляет около 3,7–2,58 млн лет. Отложения Килли-Крик коррелируются с зоной *Thalassiosira convexa* возрастом 2,58–2,3 млн лет, а толща Туапактушак – с зоной *Ruxidicula zabelinae* возрастом 2,3–1,88 (1,95) млн лет. Более точные возрасты основаны на последовательностях глобальных потеплений, сопоставляемых с Колвиллской (3,4–3,1 млн лет), Бигбендской (2,5–2,4 млн лет), Фишкрикской (2,2–2,0 млн лет) и Вайнвиргитской (0,43–0,38 млн лет) трансгрессиями.

Граница между плиоценом и плейстоценом достаточно хорошо фиксируется по кровле стратотипа слоев Нулавик.

Работа выполнена в рамках госзадания ДВГИ ДВО РАН (№ 125033104606-3).

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

Список литературы

1. Борисов Б.А. Об изменении уровня нижней границы четвертичной системы и уточнении возраста границ ее основных подразделений // Региональная геология и металлогения. 2010. № 41. С. 26–28.
2. Гиббард Ф.Л. Четвертичная система (период) и ее основные подразделения // Геология и геофизика. 2015. Т.56, №4. С. 873–875. DOI: 10.15372/GiG20150415
3. Гладенков Ю.Б. Позднекайнозойские экосистемы и основания для пересмотра статуса и границ неогена и квартера // Актуальные проблемы неогеновой и четвертичной стратиграфии и их обсуждение на 33-м Международном геологическом конгрессе (Норвегия, 2008 г.): Материалы Всероссийского научного совещания (Москва, 2009 г.). – М.: Геос, 2009. – С. 8–14.
4. Гладенков Ю.Б. Громкая стратиграфическая дискуссия начала XXI века (статус и нижняя граница квартера) // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 2010. Т.18, №2. С. 125–128.
5. Гладенков А.Ю., Гладенков Ю.Б. Опыт глубоководного бурения в Мировом океане. Методическое и практическое значение для стратиграфических исследований // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 2021. Т. 29, № 5. С. 59–84.
6. Жамойда А.И., Леонтьева Е.Н. Постановление о понижении уровня границы неогеновой и четвертичной систем // Постановления межведомственного стратиграфического комитета и его постоянных комиссий. Вып. 41. 2012. С. 9–11.
7. Свиточ А.А. Положение в разрезах Большого Каспия нижних границ ярусов верхнего плиоцена и квартера Международной стратиграфической шкалы и палеогеографические события // Бюл. Моск. общ-ва испыт. природы. 2016. Т.91, №2–3. С. 63–73.
8. Тесаков А.С. Четвертичная система – проблема нижней границы и выделения ярусных подразделений // Стратиграфия в начале XXI века – тенденции и новые идеи. – М.: Геокарт-ГЕОС, 2013. – С. 21–25.
9. Cherepanova M.V., Usol'tseva M.V., Pushkar V.S., Dubrovina Yu.F. Morphogenesis in *Cyclotella ocellata* – Complex from Lake El'gygytyn (Chukchi Peninsula) during the Pleistocene-Holocene // Paleontological Journal. 2010. V.44, №10. P. 1252–1261. DOI: 10.1134/S0031030110100035
10. Gibbard P.L., Head M.J. IUGS ratification of the Quaternary System/Period and the Pleistocene Series/Epoch with a base at 2.58 Ma // Quaternaire. 2009. V.20, №4. P. 411–412.
11. Gibbard P.L., Head M.J., Walker M.J.C. The Subcommittee on Quaternary Stratigraphy. Formal ratification of the Quaternary System/Period and the Pleistocene Series/Epoch with a base at 2.58 Ma // J. Quat. Sci. 2010. V.25. P. 96–102.
12. Head M.J., Pillans B., Farquhar S. The Early-Middle Pleistocene Transition: characterization and proposed guide for the defining boundary // Episodes. 2008. V. 31, № 2. P. 255–259.
13. Ogg J., Pillans B. Establishing quaternary as a formal international Period/System // Episodes. 2008. V.31, №2. P. 230–233. DOI: 10.18814/epiugs/2008/v31i2/008

14. Pushkar V.S. Upper Pliocene Diatom Complexes and its Significance for Establishing the Lower Boundary of Quarter (South of the Far East) // International Journal on Algae. 2021. V.23, №3. ID 305312. DOI: <https://doi.org/10.15407/alg31.02.141>

15. Pushkar V.S. Position of Quaternary Lower Boundary of the Arctic Chukotka According to Diatom Analysis // International Journal on Algae. 2022a. V.24, №4. P. 339–346. DOI: 10.1615/InterJAlgae.v24.i4.30

16. Pushkar V.S. Diatom Stratigraphy of the Gubik Formation, Arctic Alaska // International Journal on Algae. 2022b. V.24, №3. P. 283–298. DOI: 10.1615/InterJAlgae.v24.i3.60

Статья поступила в редакцию 18.06.2025; поступила после доработки 20.08.2025; принята к публикации 28.08.2025

Сведения об авторе

Пушкар Владимир Степанович – д.г.н., г.н.с., Дальневосточный геологический институт ДВО РАН, Россия, Владивосток (Far East Geological Institute, Far Eastern Branch, RAS, Russia, Vladivostok); vlpushkar@mail.ru pushkar@fegi.ru; ORCID – <https://orcid.org/0000-0003-0235-9474>; SPIN-код 6587-3399.

Корреспондентский адрес: Россия, 690022, Владивосток, пр-т 100-летия Владивостока, д. 159, ДВГИ ДВО РАН, тел. (423) 231-87-50.

Lower Quaternary boundary in the North Pacific according to diatoms

Vladimir S. Pushkar

Far East Geological Institute, Far Eastern Branch, RAS (Russia, Vladivostok)

The decision to distinguish the lower boundary of the Quaternary at 2.588 Ma was made by the International Union of Geological Sciences (IUGS) in 2009. At present, special attention of geologists studying Quaternary deposits is given to the problem of finding criteria and reason for accepting this level as the lower boundary of the Quaternary in various continental and marine strata. In the proposed work, the criteria for recognizing this boundary in the deposits of the North Pacific and its continental framework are considered from the standpoints of abiotic and biotic events.

Key words: Diatoms; evolution and ecological diatom associations' recombination, paleoclimate; sea level; Quaternary; North Pacific

References

1. Borisov B.A. On changing the level of the lower boundary of the quaternary system and clarifying the age of the boundaries of its main divisions. *Regional Geology and Metallogeny*. 2010. №41. P. 26–28. (In Russ.)
2. Cherepanova M.V., Usol'tseva M.V., Pushkar V.S., Dubrovina Yu.F. Morphogenesis in *Cyclotella ocellata* – Complex from Lake El'gygytgyn (Chukchi Peninsula) during the Pleistocene-Holocene. *Paleontological Journal*. 2010. V.44, №10. P. 1252–1261. DOI: 10.1134/S0031030110100035
3. Gibbard Ph.L. The Quaternary System/Period and its major subdivision. *Russian Geology and Geophysics*. 2015. V.56, №4. P. 873–875. DOI: 10.15372/GiG20150415 (In Russ.)
4. Gibbard P.L., Head M.J. IUGS ratification of the Quaternary System/Period and the Pleistocene Series/Epoch with a base at 2.58 Ma. *Quaternaire*. 2009. V.20, №4. P. 411–412.
5. Gibbard P.L., Head M.J., Walker M.J.C. The Subcommittee on Quaternary Stratigraphy. Formal ratification of the Quaternary System/Period and the Pleistocene Series/Epoch with a base at 2.58 Ma. *J. Quat. Sci.* 2010. V.25. P. 96–102.
6. Gladenkov Yu.B. Late Cenozoic ecosystems and the grounds for revising the status and boundaries of the Neogene and the Quarter. Actual problems of Neogene and Quaternary stratigraphy and their discussion at the 33rd International Geological Congress (Norway, 2008): Proceedings of the All-Russian Scientific Meeting (Moscow, 2009). Geos, Moscow, 2009. P. 8–14. (In Russ.)
7. Gladenkov Yu.B. A Topical Stratigraphic Discussion in the Early 21st Century (The Status and Lower Boundary of the Quaternary). *Stratigraphy and Geological Correlation*. 2010. V.18, №2. P. 125–128. (In Russ.)
8. Gladenkov A. Yu., Gladenkov Yu. B. Experience of Deep-Sea Drilling in the World Ocean: Methodical and Practical Significance for Stratigraphic Studies. *Stratigraphy and Geological Correlation*. 2021. V.29, №5. P. 59–84. DOI: 10.1134/S0869593821050026 (In Russ.)
9. Head M.J., Pillans B., Farquhar S. The Early-Middle Pleistocene Transition: characterization and proposed guide for the defining boundary. *Episodes*. 2008. V.31, №2. P. 255–259.

10. Ogg J., Pillans B. Establishing quaternary as a formal international Period/System. *Episodes*. 2008. V.31, №2. P. 230–233. DOI: 10.18814/epiiugs/2008/v31i2/008
11. Pushkar V.S. Upper Pliocene Diatom Complexes and its Significance for Establishing the Lower Boundary of Quarter (South of the Far East). *International Journal on Algae*. 2021. V.23, №3. ID 305312. DOI: <https://DOI.org/10.15407/alg31.02.141>
12. Pushkar V.S. Position of Quaternary Lower Boundary of the Arctic Chukotka According to Diatom Analysis. *International Journal on Algae*. 2022a. V.24, №4. P. 339–346. DOI: 10.1615/InterJAlgae.v24.i4.30
13. Pushkar V.S. Diatom Stratigraphy of the Gubik Formation, Arctic Alaska. *International Journal on Algae*. 2022b. V.24, №3. P. 283–298. DOI: 10.1615/InterJAlgae.v24.i3.60
14. Svitoch A.A. The position in the sections of the Greater Caspian Sea of the lower boundaries of the Upper Pliocene and Quarter layers of the International Stratigraphic Scale and Paleogeographic events. *Moscow Journal of Experimental Sciences Nature*. 2016. V.91, №2–3. P. 63–73. (In Russ.)
15. Tesakov A.S. The Quaternary System: the lower boundary issue and definition of stage. *In: Stratigraphy of the early XXI century – tendencies and new ideas*. Geokart, GEOS, Moscow, 2013. P. 21–25. (In Russ.)
16. Zhamoida A.I., Leontieva E.N. Resolution on lowering the boundary level of the Neogene and Quaternary systems. *In: Resolutions of the Interdepartmental Stratigraphic Committee and its standing committees*. Is.41. 2012. P. 9–11. (In Russ.)

ССЫЛКА НА СТАТЬЮ:

Пушкарь В.С. Нижняя граница квартера в Северной Пацифике по диатомеям // Вопросы современной альгологии. 2025. № 1 (37). P. 303–307. URL: <http://algology.ru/2200>

Pushkar V.S. Lower Quaternary boundary in the North Pacific according to diatoms. *Voprosy sovremennoi algologii (Issues of modern algology)*. 2025. № 1 (37). P. 303–307. URL: <http://algology.ru/2200>

DOI – [https://doi.org/10.33624/2311-0147-2025-1\(37\)-303-307](https://doi.org/10.33624/2311-0147-2025-1(37)-303-307); EDN – ILYEZI

Состав диатомовых комплексов годично-слоистых раннеголоценовых отложений озера Каспля (Смоленская область)

Composition of diatom complexes of annual-layered early Holocene sediments of Kasplya Lake (Smolensk Region)

Рудинская А.И.¹, Шашерина Л.В.¹, Константинов Е.А.¹, Захаров А.Л.¹,
Александрин М.Ю.¹, Андреев Р.А.^{1,2}

Anna I. Rudinskaya, Lidiia V. Shasyerina, Evgeny A. Konstantinov,
Andrey L. Zakharov, Mikhail Y. Alexandrin M., Rodion A. Andreev

¹Институт географии РАН (Москва, Россия)

²Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,
географический факультет (Москва, Россия)

В строении донных отложений озера Каспля выявлена толща годично-слоистых отложений (варв) общей мощностью 5,5 м. Время их накопления охватывает интервал с 9,2 по 6,7 тыс. кал.л.н. По результатам изучения строения варв выявлено два их типа. Первый тип – более тонкие годичные пары слоев с единственным весенним прослоем из створок центрических планктонных диатомей (*Aulacoseira* spp., *Lindavia* spp., *Stephanodiscus* spp.). Второй тип – более толстые, с несколькими прослоями створок диатомей (среди которых отмечается некоторое увеличение содержания пеннатных), формировавшимися, во-видимому, в весеннее и осеннее время.

Ключевые слова: строение варв; диатомовые комплексы; ранний голоцен

Годично-слоистые озерные осадки, или варвы - ценный седиментационный архив для реконструкции палеоэкологических условий четвертичного периода (Zolitschka, 2015). Построение надёжной варвохронологии возможно в случае хорошо сохранившейся слоистости с доказанным годичным накоплением пары слоёв. Известны многочисленные варвохронологии по биогенным и варвам смешенного типа, построенные для отложений позднего дриаса и варвам голоцена озёр умеренной климатической зоны (Ojala, Alenius, 2005; Zolitschka et al., 2000; Hajdas, Michczyński, 2010; Schlolaut et al., 2012; Lafontaine-Boyer, Gajewski, 2014; Żarczyński et al., 2018). Существование озёр с годично-слоистыми осадками логично предполагать также в пределах Восточно-Европейской равнины в зоне развития последнего оледенения. В частности, группой исследователей Института географии РАН было установлено наличие толщи варв в донных осадках озера Каспля в Смоленской области. В настоящее время средняя глубина озера Каспля составляет около 2 м, однако на этапе формирования варв она должна была быть не менее 15 м (Zolitschka et al., 2015).

Буровые работы были выполнены в наиболее глубокой части озера модифицированным поршневым буром Ливингстона. Суммарная длина опорной колонки составила 17,3 м. Керны были проанализированы в Лаборатории палеоархивов природной среды ИГ РАН. В интервале глубин 9,6–15,1 м донные отложения представлены ритмично-слоистыми осадками (биогенно-хемогенными варвами). Определение структуры и возраста слоистости было выполнено комплексом методов, включающим в себя радиоуглеродное датирование, подсчёт количества и измерение толщины слоёв полуавтоматическим способом по макрофотографиям и изучение строения варв в шлифах. Для идентификации диатомей в ритмитах были изучены сканы шлифов с высоким разрешением. Это позволило выявить прослой с центрическими и пеннатными диатомеями. Для получения более детальной информации об их таксономическом составе, для этих же глубинных интервалов были приготовлены микропрепараты по стандартной методике (Battarbee et al., 2001). Таксономическая идентификация проводилась при помощи светового микроскопа Motic BA300 при увеличении в 1000 крат с помощью (Kramer, Lange-Bertalot, 2001). Это позволило определить преобладающие роды диатомей в исследуемых прослоях.

Установлено следующее строение варв в донных отложениях озера Каспия:

1. В интервале 15,1–13,4 м средняя толщина годичной пары слоёв составляет 0,7 мм. Светлый весенне-летний слой, обычно формирующийся после таяния снега, состоит из тонкого прослоя створок центрических диатомей (*Aulacoseira* sp., *Lindavia* sp., *Stephanodiscus* sp) и более толстого прослоя кальцита. Темный осенне-зимний слой состоящего из органического детрита, минерального детрита и фрамбоидов (сферических пиритных конкреций), а также небольшого количества створок центрических и пеннатных диатомей (*Fragilaria* spp., *Epithemia* spp., *Ulnaria* spp.).

2. В интервале 13,4–9,6 м средняя толщина годичного слоя увеличивается до 1,85 мм, а структура ритмитов становится более сложной. В светлых весенне-летних слоях увеличивается толщина прослоев из створок диатомей и увеличивается родовое разнообразие последних, в то время как прослой кальцита становится более тонким или полностью исчезает. Достаточно часто встречаются годичные пары слоёв с двумя диатомовыми или смешанными диатомово-кальцитовыми прослоями, в которых наблюдаются как центрические, так и пеннатные диатомеи. Вероятно, вторые прослой диатомовых панцирей формируются в конце лета-начале осени. В темных осенне-зимних слоях увеличивается содержание органического детрита и снижается минеральная составляющая.

Судя по глубинно-возрастной модели, отложения на глубинах 9,6–15,1 м накопились в период с 9,2 по 6,7 тыс. л.н., а изменение типа варв произошло около 7,9 тыс. л.н., то есть почти на границе раннего и среднего голоцена. Микроскопическое исследование структуры годично-слоистых осадков в донных отложениях озера Каспия показало тенденцию к усложнению их строения по мере уменьшения глубины озера.

Исследование выполнено при поддержке проекта РНФ 23-77-10063 «Реконструкция природных событий по высокоразрешающим седиментационным палеоархивам центра Восточно-Европейской равнины за последние 25 тысяч лет».

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов, требующего раскрытия в данной статье.

Список литературы

1. Battarbee R.W., Jones V.J., Flower R.J. Diatoms // Smol J.P., Birks H.J-B. and Last W.M. (Eds.) Tracking Environmental Change Using Lake Sediments. Terrestrial, Algal and Siliceous Indicators. – Dordrecht: Springer, 2001. – P.155–202.

2. Hajdas I., Michczyński A. Age-Depth Model of Lake Soppensee (Switzerland) based on the high-resolution ¹⁴C chronology compared with varve chronology // Radiocarbon. 2010. V.52, №3. P. 1027–1040. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0033822200046117>
3. Kramer K., Lange-Bertalot H. Bacillariophyceae. 1.Teil: Naviculaceae. // Süßwasserflora von Mitteleuropa. – Heidelberg, Berlin, 2001a. – 876 p.
4. Kramer K., Lange-Bertalot H. Bacillariophyceae. 2.Teil: Bacillariaceae, Epithemiaceae, Surirellaceae. // Süßwasserflora von Mitteleuropa. Heidelberg, Berlin, 2001b. – 596 p.
5. Kramer K., Lange-Bertalot H. Bacillariophyceae. 3.Teil: Centrales, Fragilariaceae, Eunoticeae. // Süßwasserflora von Mitteleuropa. Heidelberg, Berlin, 2001c. – 640 p.
6. Kramer K., Lange-Bertalot H. Bacillariophyceae. 4.Teil: Achnanteaceae. // Süßwasserflora von Mitteleuropa. Heidelberg, Berlin, 2001d. – 468 p.
7. Lafontaine-Boyer K., Gajewski K. Vegetation dynamics in relation to late Holocene climate variability and disturbance, Outaouais, Québec, Canada // The Holocene. 2014. V.24, №11. P. 1515–1526. DOI: <https://doi.org/10.1177/0959683614544054>
8. Ojala A.E.K., Alenius T. 10000 years of interannual sedimentation recorded in the Lake Nautajärvi (Finland) clastic–organic varves // Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology. 2005. V.219, №3–4. P. 285–302. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2005.01.002>
9. Schlögl G., Marshall M.H., Brauer A., Nakagawa T., Lamb H.F., Staff R.A., Ramsey Ch.B., Bryant Ch.L., Brock F., Kessler A., Tarasov P.E., Yokoyama Y., Tada R., Haraguchi Ts. An automated method for varve interpolation and its application to the Late Glacial chronology from Lake Suigetsu, Japan // Quaternary Geochronology. 2012. V.13. P. 52–69. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.quageo.2012.07.005>
10. Zolitschka B., Brauer A., Negendank J.F.W., Stockhausen H., Lang A. Annually dated late Weichselian continental paleoclimate record from the Eifel, Germany // Geology. 2000. V.28, №9. P. 783–786. DOI: [https://doi.org/10.1130/0091-7613\(2000\)28<783:ADLWCP>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0091-7613(2000)28<783:ADLWCP>2.0.CO;2)
11. Żarczyński M., Tylmann W., Tomasz Goslar T. Multiple varve chronologies for the last 2000 years from the sediments of Lake Żabińskie (northeastern Poland) – comparison of strategies for varve counting and uncertainty estimations // Quaternary Geochronology. 2018. V.47. P. 107–119. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.quageo.2018.06.001>

Статья поступила в редакцию 18.06.2025; поступила после доработки 25.08.2025; принята к публикации 28.08.2025

Сведения об авторах

Рудинская Анна Ивановна – к.г.н., м.н.с., Институт географии РАН, Россия, Москва (Institute of Geography RAS, Russia, Moscow); anna.rudinskaya@igras.ru; ORCID – <https://orcid.org/0000-0002-8150-8951>; SPIN-код 3932-1710.

Шашерина Лидия Всеволодовна – инженер-исследователь, Институт географии РАН, Россия, Москва (Institute of Geography RAS, Russia, Moscow); lida.sh.vs@gmail.com; ORCID – <https://orcid.org/0000-0003-4859-3856>; SPIN-код 2618-7054.

Константинов Евгений Александрович – к.г.н., зав. лабораторией, Институт географии РАН, Россия, Москва (Institute of Geography RAS, Russia, Moscow); eakonstantinov@yandex.ru; ORCID – <https://orcid.org/0000-0002-0228-5172>; SPIN-код 3792-4176.

Захаров Андрей Леонидович – к.г.н., н.с., Институт географии РАН, Россия, Москва (Institute of Geography RAS, Russia, Moscow); zaanleo@gmail.com; ORCID – <https://orcid.org/0000-0003-0686-6342>; SPIN-код 8961-3508.

Александрин Михаил Юрьевич – к.г.н., н.с., Институт географии РАН, Россия, Москва (Institute of Geography RAS, Russia, Moscow); alexandrin@igras.ru; ORCID – <https://orcid.org/0000-0002-4064-6979>; SPIN-код 5757-9955.

Андреев Родион Александрович – Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, географический факультет, Россия, Москва (Lomonosov Moscow State University, Russia, Moscow); dorionio40@gmail.com; ORCID – <https://orcid.org/0000-0003-0443-9849>; SPIN-код 4694-1863.

Корреспондентский адрес: Россия, 119017, Москва, Старомонетный пер., д. 29, с. 4, ИГ РАН, тел. (495) 959-00-22.

Composition of diatom complexes of annual-layered early Holocene sediments of Kasplya Lake (Smolensk Region)

Anna I. Rudinskaya¹, Lidiia V. Shasyerina¹, Evgeny A. Konstantinov¹,
Andrey L. Zakharov¹, Mikhail Y. Alexandrin¹, Rodion A. Andreev^{1,2}

¹Institute of Geography RAS (Russia, Moscow)

²Lomonosov Moscow State University (Russia, Moscow)

In the structure of the bottom sediments of the Lake Kasplya, an annual laminated sediments (varves) with a total thickness of 5.5 m has been revealed. The time of their sedimentation covers the interval from 9.2 to 6.7 ka BP. According to the results of studying the structure of varves, we identified two types of them. The first type consists of thinner annual pairs of layers with a single spring interlayer of the valves of centric planktonic diatoms (*Aulacoseira* spp., *Lindavia* spp., *Stephanodiscus* spp.). The second type is thicker, with several interlayers of diatom valves (with a slight increase of pennate diatoms valves content), which apparently formed in spring and autumn.

Key words: varve structure; diatoms; Early Holocene

References

1. Battarbee R.W., Jones V.J., Flower R.J. Diatoms. In: Smol J.P., Birks H.J-B. and Last W.M. (Eds.) Tracking Environmental Change Using Lake Sediments. Terrestrial, Algal and Siliceous Indicators. Springer, Dordrecht, 2001. P.155–202.
2. Hajdas I., Michczyński A. Age-Depth Model of Lake Soppensee (Switzerland) based on the high-resolution ¹⁴C chronology compared with varve chronology. *Radiocarbon*. 2010. V.52, №3. P. 1027–1040. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0033822200046117>
3. Kramer K., Lange-Bertalot H. Bacillariophyceae. 1.Teil: Naviculaceae. Süßwasserflora von Mitteleuropa. Heidelberg, Berlin, 2001a. 876 p.
4. Kramer K., Lange-Bertalot H. Bacillariophyceae. 2.Teil: Bacillariaceae, Epithemiaceae, Surirellaceae. Süßwasserflora von Mitteleuropa. Heidelberg, Berlin, 2001b. 596 p.
5. Kramer K., Lange-Bertalot H. Bacillariophyceae. 3.Teil: Centrales, Fragilariaceae, Eunoticeae. // Süßwasserflora von Mitteleuropa. Heidelberg, Berlin, 2001c. 640 p.
6. Kramer K., Lange-Bertalot H. Bacillariophyceae. 4.Teil: Achnantaceae. Süßwasserflora von Mitteleuropa. Heidelberg, Berlin, 2001d. 468 p.
7. Lafontaine-Boyer K., Gajewski K. Vegetation dynamics in relation to late Holocene climate variability and disturbance, Outaouais, Québec, Canada. *The Holocene*. 2014. V.24, №11. P. 1515–1526. DOI: <https://doi.org/10.1177/0959683614544054>
8. Ojala A.E.K., Alenius T. 10000 years of interannual sedimentation recorded in the Lake Nautajärvi (Finland) clastic–organic varves. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 2005. V.219, №3–4. P. 285–302. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2005.01.002>
9. Schlolaut G., Marshall M.H., Brauer A., Nakagawa T., Lamb H.F., Staff R.A., Ramsey Ch.B., Bryant Ch.L., Brock F., Kossler A., Tarasov P.E., Yokoyama Y., Tada R., Haraguchi Ts. An automated method for varve interpolation and its application to the Late Glacial chronology from Lake Suigetsu, Japan. *Quaternary Geochronology*. 2012. V.13. P. 52–69. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.quageo.2012.07.005>
10. Zolitschka B., Brauer A., Negendank J.F.W., Stockhausen H., Lang A. Annually dated late Weichselian continental paleoclimate record from the Eifel, Germany. *Geology*. 2000. V.28, №9. P. 783–786. DOI: [https://doi.org/10.1130/0091-7613\(2000\)28<783:ADLWCP>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0091-7613(2000)28<783:ADLWCP>2.0.CO;2)
11. Żarczyński M., Tylmann W., Tomasz Goslar T. Multiple varve chronologies for the last 2000 years from the sediments of Lake Żabińskie (northeastern Poland) – comparison of strategies for varve counting and uncertainty estimations. *Quaternary Geochronology*. 2018. V.47. P. 107–119. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.quageo.2018.06.001>

ССЫЛКА НА СТАТЬЮ:

Рудинская А.И., Шашерина Л.В., Константинов Е.А., Захаров А.Л., Александрин М.Ю., Андреев Р.А. Состав диатомовых комплексов годично-слоистых

раннеголоценовых отложений озера Каспля (Смоленская область) // Вопросы современной альгологии. 2025. № 1 (37). P. 308–312. URL: <http://algology.ru/2213>

Rudinskaya A.I., Shasyerina L.V., Konstantinov E.A., Zakharov A.L., Alexandrin M.Y., Andreev R.A. Composition of diatom complexes of annual-layered early Holocene sediments of Kasplya Lake (Smolensk Region). *Voprosy sovremennoi algologii (Issues of modern algology)*. 2025. № 1 (37). P. 308–312. URL: <http://algology.ru/2213>

DOI – [https://doi.org/10.33624/2311-0147-2025-1\(37\)-308-312](https://doi.org/10.33624/2311-0147-2025-1(37)-308-312); EDN – IZOLTE

Диатомеи из донных отложений озера Шукшинское (Ондомозерские Кейвы, юг Кольского полуострова)

Diatoms from the bottom sediments of Lake Shukshinskoe (Ondomozero Keivy, south of the Kola Peninsula)

Толстоброва А.Н., Корсакова О.П., Толстобров Д.С., Коваленко Н.С.

Alena N. Tolstobrova, Olga P. Korsakova, Dmitrii S. Tolstobrov,
Nikita S. Kovalenko

*Геологический институт – обособленное подразделение ФИЦ «Кольский научный центр
РАН» – ГИ КНЦ РАН (Апатиты, Россия)*

Изучены диатомовые водоросли из колонки озера Шукшинское, расположенного у южного склона краевого ледникового комплекса Ондомозерские Кейвы (Кольский полуостров). Установлено 137 видов и внутривидовых таксонов диатомей. На основе изменения таксономического состава и экологической структуры ископаемых сообществ диатомей выделены этапы развития озерной экосистемы в конце позднего неоплейстоцена и в голоцене.

Ключевые слова: диатомовые комплексы; литология; позднеледниковье; голоцен; Кольский полуостров

Изучение комплексов диатомовых водорослей в донных отложениях озерных котловин позволяет восстановить палеоэкологические условия водных бассейнов, смену режимов осадконакопления. Юго-восточная часть Кольского полуострова является малоизученной территорией в отношении палеогеографии, особенно дискуссионны здесь вопросы, связанные с развитием последнего оледенения и дегляциации. Для прояснения этапов развития озер позднеледникового и постледникового времени изучена колонка донных отложений из котловины озера Шукшинское, расположенного с южной стороны Ондомозерских Кейв (Кольский полуостров).

Материалы были получены в ходе полевых исследований в 2024 г. Озеро расположено на высотной отметке 154,5 м над уровнем моря. Глубина воды в озере 1,1 м. С помощью ручного бура был отобран ненарушенный керн донных осадков мощностью 212 см. В результате был вскрыт разрез, представленный следующими литологическими разностями донных отложений (описание снизу вверх, глубина указана от поверхности дна):

интервал 212–124 см – алеврит опесчаненный темно-серо-коричневого цвета, неясно слоистый, с растительными остатками, по всему интервалу отмечаются белые примазки (возможно карбонатов) и черные пятна гидротроилита, на глубине 205–203 см – единичное зерно гравия;

интервал 124–70 см – алевроит опесчаненный серовато-коричневого цвета, с редкими пятнами (линзами) гидротроилита, с растительными остатками, на глубине 78–70 см отмечается их большое количество;

интервал 70–63 см – гиттия опесчаненная темно-оливково-серого цвета, границы с выше- и нижележащими интервалами постепенные, отмечается большое количество белых примазок;

интервал 63–0 см – гиттия темно-оливково-серого цвета, вверх по разрезу цвет постепенно меняется на очень темно-серо-коричневый, интервал неслоистый, содержит примесь минеральных частиц (менее 5 %).

Из описанного разреза методом диатомового анализа изучен 21 образец, определен видовой состав и экологические характеристики диатомовых водорослей, выявлены доминирующие комплексы, выполнен расчет концентрации диатомей в осадке и распределение диатомовых в донных отложениях. Статистическая обработка выполнена в программе PAST (Hammer et al., 2001). Установлено 137 таксонов диатомовых водорослей. Названия таксонов актуализировались по базе Algaebase (Guiry, Guiry, 2025).

В результате были выделены шесть основных этапов развития диатомовых водорослей и их связь с меняющимися экологическими условиями на протяжении позднеледникового и послеледникового времени:

(1) В самой нижней части разреза в неясно слоистом алевроите на глубине 212–192 см диатомовые водоросли отсутствуют, т.к. условия для их вегетации, а возможно и для сохранения были не подходящие. На глубине 192–136 см обнаружены единичные створки диатомовых водорослей, что осложняет палеоэкологические реконструкции. Возможно, осадки этапа 1 формировались в позднем неоплейстоцене на этапе дегляциации территории.

(2) В опесчаненном алевроите на глубине 136–104 см в качестве доминантов выступают донный вид *Gyrosigma acuminatum* с крупными створками, который живет неприкрепленным на тонких субстратах и в проточных водах, а также эпифит *Epithemia adnata*. Среди субдоминантов выделены донные виды *Amphora copulata*, *Amphora pediculus*, *Cavinula jaernefeltii* и обрастатели *Reimeria sinuata*, *Skabitschewskia oestrupii*, *Staurosira construens*, *Staurosirella martyi*, *Witkowskia anglophila*. Все они по отношению к минерализации относятся к индифферентам. Также встречены галофилы, которые составляют от 4 до 10%, единично - мезогалобы *Prestauroneis protracta*, *Amphora proteus*, вероятно, переотложенные. Отсутствие планктонных видов и доминирование бентосных свидетельствует о том, что водоем был мелководным. Доминирование в диатомовом комплексе обитателя проточных вод *Gyrosigma acuminatum*, а также наличие в качестве субдоминанта реофильного вида *Reimeria sinuata* указывают на проточность водоема. Но при этом количество видов, предпочитающих стоячие воды достаточно велико. В целом диатомовая флора соответствует неглубокому, алкалинному, мезотрофно-эвтрофному водоему с умеренной минерализацией.

(3) В верхней части опесчаненного алевроита и в нижней части опесчаненной гиттии на глубине 104–68 см состав диатомовой флоры аналогичен нижележащим осадкам, но здесь происходит увеличение общего процентного содержания донных видов за счет *Amphora copulata*, *Caloneis lancettula*, видов *Diploneis* spp., а на глубине 84–68 см при общем некотором повышении концентрации створок в осадке количество обрастателей и донных видов почти выравнивается. Это свидетельствует о колебании глубины водоема и о некотором улучшении условий для развития диатомовой флоры. Анализ диатомовой флоры, характерной для этапов 2 и 3, указывает и на высокое содержание кальция в воде, т.к. среди доминирующего комплекса выявлены виды, предпочитающие воды, обогащенные бикарбонатом кальция (*Diploneis tirolensis*, *Staurosirella martyi*, *S. pinnata*, *Pseudostaurosira brevistriata*). Возможно, осадки

формировались в озерной котловине береговой зоны беломорского бассейна в раннем голоцене.

(4) В верхней части опесчаненной и в нижней части однородной гиттии на глубине 68–58 см концентрация диатомей резко падает, встречены лишь единичные створки диатомовых водорослей. Среди них выявлены виды, обнаруженные в нижележащих осадках (*Gyrosigma* spp., *Staurosira construens*, *Staurosirella martyi*, *Epithemia adnata*, *E.sorex* и др.). Кроме того, обнаружены и вероятно переотложенные единичные створки морских видов *Trachyneis aspera* и *Paralia sulcata*. Возможно, во время накопления осадков данного этапа в примерно середине голоцена происходило обмеление водоема. В верхней части опесчаненной гиттии отмечаются многочисленные белые примазки возможно карбонатов, геохимический анализ позволит определить вещественный состав осадка и сделать более обоснованные выводы о палеогеографических условиях развития озера.

(5) В интервале глубин 58–12 см концентрация диатомей значительно возрастает, но при этом видовое разнообразие низкое. Доминирующий комплекс составляют планктонный вид *Aulacoseira subarctica* и обрастатели *Staurosira construens*, *Staurosira venter*, *Staurosira binodis*, которые могут быть и факультативно-планктонными. Виды *Fragilariaceae* часто являются пионерными, т.е. первыми заселяющими водоемы на начальных этапах развития. При этом содержание *Aulacoseira subarctica* на данном этапе снижается вверх по разрезу с 15% до 3%, а содержание фрагиляриодных видов, наоборот, увеличивается, что указывает на уменьшение глубины водоема. Все виды доминирующего комплекса предпочитают слабощелочные условия среды, олигогалобы-индифференты по отношению к солености, большинство из них преимущественно характерны для мезотрофно-эвтрофных водоемов. Возможно, во время накопления осадков этого этапа данное озеро было частью более крупного относительно глубоководного водоема, а затем отделилось от него.

(6) На глубине 12–0 см происходит значительное увеличение концентрации створок диатомей. По-прежнему доминируют мелкоклеточные виды семейства *Fragilariaceae*, среди которых *Pseudostaurosira brevistriata*, *Staurosirella pinnata*, *Staurosirella martyi* предпочитающие воду, обогащенную кальцием. Помимо фрагиляриодных диатомей в составе диатомовой флоры появляются в малых количествах различные виды обрастаний из родов *Cymbella* spp., *Cocconeis* spp., *Encyonema* spp., *Gomphonema* spp. и донные формы *Diploneis* spp., *Stauroneis* spp., *Pinnularia* spp. и другие, что отражает появление новых местообитаний для существования диатомей и, соответственно, увеличение их видового разнообразия. Диатомовый анализ указывает на то, что во время накопления осадков данного этапа, как и в настоящее время, водоем был неглубоким, мезотрофно-эвтрофным, с повышенным содержанием кальция в воде. Преобладание обрастателей из семейства *Fragilariaceae* может указывать на спокойные гидродинамические условия. Высокие концентрации и увеличение видового разнообразия створок говорят о благоприятных условиях для их развития и накопления.

Таким образом, на основе литологических данных и изменения таксономического состава и экологической структуры ископаемых сообществ диатомей были выделены этапы развития озерной экосистемы с самого конца позднего неоплейстоцена и в голоцене.

Работа выполнена в Геологическом институте КНЦ РАН в рамках темы НИР (FMEZ-2024-0007) и при поддержке гранта РФФ 22-17-00081.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов, требующего раскрытия в данной статье.

Список литературы

1. *Guiry M.D., Guiry G.M.* AlgaeBase. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway. 2025. <http://www.algaebase.org> (дата обращения: 10.03.2025).
2. *Hammer Ø., Harper D.A.T., Raan P.D.* PAST: Palaeontological statistics 21. Software package for education and data analysis // *Palaeontologia electronica*. 2001. V.41. 9 p.

Статья поступила в редакцию 18.06.2025; поступила после доработки 05.09.2025; принята к публикации 06.09.2025

Сведения об авторе

Толстоброва Алёна Николаевна – к.г.н., н.с., Геологический институт – обособленное подразделение Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Кольский научный центр РАН» – ГИ КНЦ РАН, Россия, Апатиты (Geological Institute – Separate subdivision of the Federal State Budgetary Institution of Science of the FRC “Kola Science Center” – GI KSC RAS, Russia, Apatity); a.tolstobrova@ksc.ru; ORCID – <https://orcid.org/0000-0001-8790-6849>; SPIN-код 1476-8704.

Корсакова Ольга Павловна – к.г.н., в.н.с., Геологический институт – обособленное подразделение Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Кольский научный центр РАН» – ГИ КНЦ РАН, Россия, Апатиты (Geological Institute – Separate subdivision of the Federal State Budgetary Institution of Science of the FRC “Kola Science Center” – GI KSC RAS, Russia, Apatity); o.korsakova@ksc.ru; ORCID – <https://orcid.org/0000-0001-9640-6416>; SPIN-код 3825-5145.

Толстобров Дмитрий Сергеевич – к.г.-м.н., н.с., Геологический институт – обособленное подразделение Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Кольский научный центр РАН» – ГИ КНЦ РАН, Россия, Апатиты (Geological Institute – Separate subdivision of the Federal State Budgetary Institution of Science of the FRC “Kola Science Center” – GI KSC RAS, Russia, Apatity); d.tolstobrov@ksc.ru; ORCID – <https://orcid.org/0000-0003-3858-7647>; SPIN-код 2627-3188.

Коваленко Никита Сергеевич – инженер, Геологический институт – обособленное подразделение Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Кольский научный центр РАН» – ГИ КНЦ РАН, Россия, Апатиты (Geological Institute – Separate subdivision of the Federal State Budgetary Institution of Science of the FRC “Kola Science Center” – GI KSC RAS, Russia, Apatity); nik.kovalenko2000@mail.ru.

Корреспондентский адрес: Россия, 184209, Мурманская обл., Апатиты, ул. Ферсмана, 14, ГИ КНЦ РАН, тел. (81555) 79-540.

Diatoms from the bottom sediments of Lake Shukshinskoe (Ondomozero Keivy, south of the Kola Peninsula)

Alena N. Tolstobrova, Olga P. Korsakova, Dmitrii S. Tolstobrov, Nikita S. Kovalenko

*Geological Institute – Separate subdivision of the Federal State Budgetary Institution of Science of the FRC
“Kola Science Center” – GI KSC RAS (Russia, Apatity)*

Diatoms in the bottom sediment succession derived from Shukshinskoye Lake, located near the southern slope of the Ondomozerskie Keivy marginal glacial complex (Kola Peninsula), have been studied. In the deposits, 137 species and intraspecific taxa of diatoms have been identified. Based on changes in the taxonomic composition and ecological structure of the fossil diatom communities, the stages of development of the lake ecosystem at the end of the Late Neopleistocene and in the Holocene were identified.

Key words: diatom communities; lithology; Late Glacial; Holocene; Kola Peninsula

References

1. Guiry M.D., Guiry G.M. AlgaeBase. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway. 2025. <http://www.algaebase.org> (date: 10.03.2025).
2. Hammer Ø., Harper D.A.T., Raan P.D. PAST: Palaeontological statistics 21. Software package for education and data analysis. 2001. Palaeontologia electronica. V.41. 9 p.

ССЫЛКА НА СТАТЬЮ:

Толстоброва А.Н., Корсакова О.П., Толстобров Д.С., Коваленко Н.С. Диатомеи из донных отложений озера Шукшинское (Ондомозерские Кейвы, юг Кольского полуострова) // Вопросы современной альгологии. 2025. № 1 (37). P. 313–317. URL: <http://algology.ru/2214>

Tolstobrova A.N., Korsakova O.P., Tolstobrov D.S., Kovalenko N.S. Diatoms from the bottom sediments of Lake Shukshinskoe (Ondomozero Keivy, south of the Kola Peninsula). *Voprosy sovremennoi algologii (Issues of modern algology)*. 2025. № 1 (37). P. 313–317. URL: <http://algology.ru/2214>

DOI – [https://doi.org/10.33624/2311-0147-2025-1\(37\)-313-317](https://doi.org/10.33624/2311-0147-2025-1(37)-313-317); EDN – JRSOAW

Новые данные диатомового анализа верхнеголоценовых отложений Азовского моря

New diatom analysis data of Upper Holocene deposits of the Sea of Azov

Усанова А.В.^{1,2}, Ковалева Г.В.¹

Alexandra V. Usanova, Galina V. Kovaleva

¹Федеральный исследовательский центр Южный научный центр РАН – ЮНЦ РАН
(Ростов-на-Дону, Россия)

²Южный федеральный университет – ЮФУ (Ростов-на-Дону, Россия)

В работе представлены результаты диатомового анализа 6 колонок верхнеголоценовых отложений Азовского моря. В результате эколого-флористического анализа идентифицированы 73 таксона диатомовых водорослей из 35 родов. Выявлено, что место отбора колонок (прибрежный, или глубоководный районы) существенно влияет на соотношение экологических групп диатомовых водорослей. Анализ последовательной смены комплексов доминирующих видов диатомовых водорослей в изученных колонках позволил выделить 6 экостратиграфических зон (Na2, Na3, Na4, Na5, Na6, Na7) разного возраста (от 1,8 тыс. лет назад до современности). Корреляция результатов диатомового анализа выполнена на уровне зоны Na4 (ордынская трансгрессия, 700-400 лет назад). Для пяти из шести изученных колонок были известны результаты определения абсолютного возраста (^{14}C), но полученные данные позволили выполнить биостратиграфическое расчленение осадков и для колонки, не имевшей радиоуглеродного датирования.

Ключевые слова: диатомеи; донные отложения; голоцен; Азовское море

Азовское море – молодой водоем, который обособился от Черного моря около 6,5 тыс. лет назад (Ковалева, 2019; Матишов и др., 2025). Условия, близкие к современным, сформировались там около 2-3 тыс. лет назад и, поэтому этот период наиболее интересен для понимания закономерностей развития экосистемы Азовского моря.

Данная работа является продолжением исследований, начатых в ЮНЦ РАН около 15 лет назад, в ходе которых был накоплен значительный фактический материал по биостратиграфии, а так же получены данные радиоуглеродного датирования осадков Азовского моря (Ковалева и др., 2017; Матишов и др., 2018, 2025; Ковалева, 2019). Проведенные ранее исследования позволили достаточно подробно изучить флору диатомовых водорослей, существовавшую на протяжении среднего и позднего голоцена в открытой части Азовского моря и в акватории Таганрогского залива (Ковалева, 2019). Кроме того, была разработана схема чередования трансгрессивно-регрессивных стадий Азовского моря по результатам диатомового анализа и определения радиоуглеродного возраста осадков (Ковалева, 2019). Результаты данного исследования опираются на эту схему, а полученные новые данные позволили внести в неё дополнения.

Пробы донных отложений получены из архива геологических образцов ЮНЦ РАН. Отбор колонок осуществляли с использованием ударной грунтовой трубки с борта НИС «Денеб» в ходе рейсов ЮНЦ РАН в 2006–2007 гг. Материалом для данного исследования послужили 45 образцов донных отложений из шести колонок.

В результате эколого-флористического анализа идентифицированы 73 таксона (включая виды и разновидности) диатомовых водорослей из 35 родов. Наибольшее видовое разнообразие диатомовых отмечено в прибрежной колонке (К-133), что связано с присутствием там не только планктонных, но и большого числа бентосных и эпифитных форм. Там же отмечена высокая численность пресноводных и пресноводно-солонатоводных видов, что обусловлено влиянием пресноводного стока из Таганрогского залива (идущего вдоль северного побережья моря). Видовое разнообразие и распределение таксонов по отношению к солености в остальных колонках – сопоставимо.

Последовательная смена комплексов доминирующих видов диатомовых водорослей в 6 колонках позволила выделить 6 экостратиграфических зон (рис. 1), а также сопоставить их с выделенными ранее (Ковалева, 2019) трансгрессивно-регрессивными этапами развития Азовского моря.

В соответствии с ранее разработанной схемой (Ковалева, 2019), экостратиграфическая зона Na2 сопоставляется с нимфейской трансгрессией. Для донных отложений этого периода характерна высокая численность спор рода *Chaetoceros* и низкая численность представителей рода *Actinocyclus* и *Actinoptychus senarius* (рис. 1).

Зона Na3 (сопоставляется с корсуньской регрессией) была выделена по доминированию солонатоводно-морских таксонов из родов *Actinocyclus* и *Actinoptychus* и уменьшению численности спор морского рода *Chaetoceros*.

Экостратиграфическая зона Na4 выявлена во всех колонках (рис. 1) и является основой для корреляции этих кернов. Из литературных источников (Ковалева, 2019; Ковалева, Усанова, 2024) известно, что возрастной диапазон зоны Na4 составляет от 700 до 400 лет назад и соотносится с периодом ордынской трансгрессии. По нашим данным, в колонках К-133, К-44 и К-45 радиоуглеродные (^{14}C) датировки слоев, отнесенных к зоне Na4 примерно сопоставимы – 680 ± 70 , 610 ± 60 и 340 ± 140 кал. лет назад, что вполне соответствует опубликованным данным. Для зоны Na4 характерно увеличение численности морских таксонов (спор *Chaetoceros* spp., *Ditylum brightwellii*) и уменьшение числа створок представителей рода *Actinocyclus* (рис. 1).

Экостратиграфическая зона Na5 прослеживается только в колонках К-133 и К-90 и сопоставляется со стадией регрессии. Зона Na5 выделяется на основании резкого снижения общей численности створок в образцах и уменьшения количества морских видов (рис. 1). Зона Na6 выявлена в колонках К-133, К-90, К-31 и соотносится с этапом трансгрессии (не имеющей пока названия). В отложениях, отнесенных к этой зоне, отмечено увеличение числа спор *Chaetoceros* spp. и снижение численности створок *Actinocyclus* spp. и *Actinoptychus senarius* (рис. 1).

Экостратиграфическая зона Na7 (рис. 1) характеризуется значительным видовым разнообразием и хорошей сохранностью створок диатомовых водорослей (как планктонных, так и бентосных форм) обитающих в акватории современного Азовского моря. Радиоуглеродное датирование этой зоны в колонке К-133 (рис. 1) подтверждает то, что осадки, соотносимые с зоной Na7, накапливались в течении последних 70–80 лет.

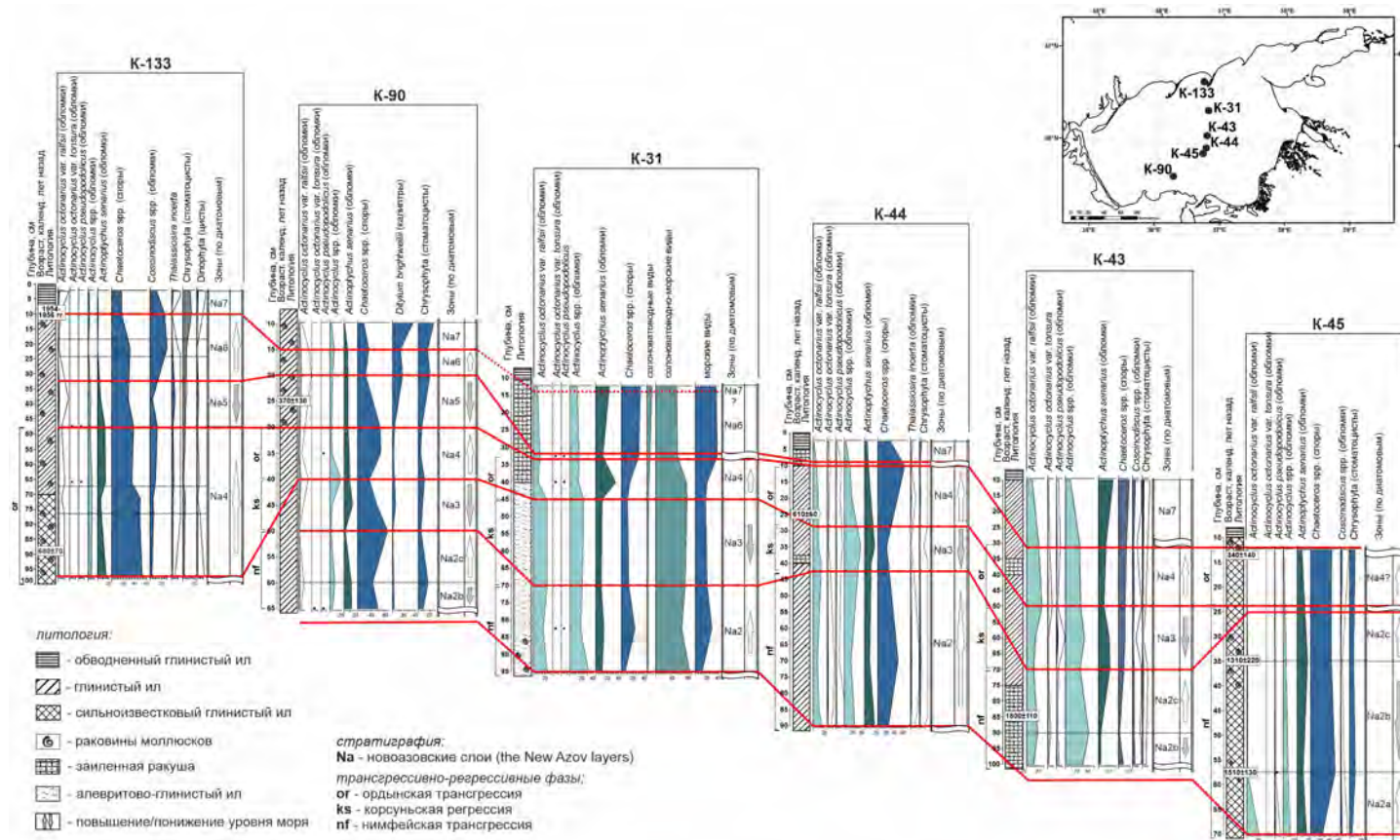


Рис. 1. Корреляция результатов диатомового анализа колонок донных отложений.

Fig. 1. Correlation of diatom analysis results of sediment cores.

Учитывая разную мощность и последовательность экостратиграфических зон, выделенных методом диатомового анализа, корреляция результатов шести колонок возможна только на уровне зоны Na4 (ордынская трансгрессия) (рис. 1). Для пяти из шести изученных колонок были известны значения абсолютного возраста (^{14}C), но по результатам диатомового анализа и корреляции экостратиграфических зон удалось выполнить стратиграфическое расчленение осадков и для колонки К-31, не имевшей радиоуглеродного датирования.

Исследование выполнено в рамках проекта РНФ № 23-17-00232. В ходе исследования использовалось оборудование ЦКП ЮНЦ РАН № 501994.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов, требующего раскрытия в данной статье.

Список литературы

1. Ковалева Г.В. Палеогеография и стратиграфия средне- и верхнечетвертичных отложений Азовского моря по результатам диатомового анализа // Матишов Г.Г. (ред.). Палеогеография Приазовья в голоцене. – Ростов-на-Дону: Изд-во ЮНЦ РАН, 2019. – С. 54–111.
2. Ковалева Г.В., Дюжова К.В., Золотарева А.Е. Диатомовые водоросли из средне- и позднеголоценовых отложений Азовского моря как индикаторы колебаний уровня водоема // Наука Юга России. 2017. Т.13, №4. С. 83–92. DOI: 10.23885/2500-0640-2017-3-4-83-92
3. Ковалева Г.В., Усанова А.В. Микропалеонтологические исследования голоценовых отложений из южной части Азовского моря (Керченский пролив) // Экология. Экономика. Информатика. Серия: Системный анализ и моделирование экономических и экологических систем. 2024. Т.1, № 9. С.184–191. DOI: 10.23885/2500-395X
4. Матишов Г.Г., Ковалева Г.В., Арсланов Х.А., Дюжова К.В., Польшин В.В., Золотарева А.Е. Результаты радиоуглеродного датирования голоценовых отложений Азовского моря // Доклады Академии наук. 2018. Т.479, №6. С. 655–658. DOI: 10.7868/S0869565218120113
5. Матишов Г.Г., Ковалева Г.В., Коваленко Е.П., Дюжова К.В., Польшин В.В., Титов В.В. Биостратиграфия донных отложений и палеогеография Азовского моря в древне- и новоазовское время // Геоморфология и палеогеография. 2025. Т.56, № 1. С. 147–160. DOI: <https://doi.org/10.31857/S2949178925010085>

Статья поступила в редакцию 18.06.2025; поступила после доработки 22.08.2025; принята к публикации 28.08.2025

Сведения об авторах

Усанова Александра Витальевна – ФИЦ Южный научный центр РАН, Россия, Ростов-на-Дону (Southern Scientific Centre of RAS, Russia, Rostov-on-Don); Южный федеральный университет – ЮФУ, Россия, Ростов-на-Дону (Southern Federal University, Russia, Rostov-on-Don); a_w_u@mail.ru; ORCID – <https://orcid.org/0009-0001-5231-4445>; SPIN-код 9230-7687.

Ковалева Галина Витальевна – к.б.н., в.н.с., ФИЦ Южный научный центр РАН, Россия, Ростов-на-Дону (Southern Scientific Centre of RAS, Russia, Rostov-on-Don); kovaleva_galina@mail.ru; ORCID – <https://orcid.org/0000-0002-8977-1914>; SPIN-код 8693-0068.

Корреспондентский адрес: Россия, 344006, Ростов-на-Дону, пр. Чехова, 41, ЮНЦ РАН, тел. (863) 250-98-25 (206).

New diatom analysis data of Upper Holocene deposits of the Sea of Azov

Alexandra V. Usanova^{1,2}, Galina V. Kovaleva G.V.¹

¹Southern Scientific Centre of RAS (Russia, Rostov-on-Don)

²Southern Federal University (Russia, Rostov-on-Don)

The paper presents the results of diatom analysis of 6 core of Upper Holocene sediments of the Sea of Azov. As a result of the ecological and floristic analysis, 73 taxa of diatoms from 35 genera were

identified. It was revealed that the place of column sampling (coastal or deep-water areas) significantly affects the ratio of ecological groups of diatoms. Analysis of the successive change of complexes of dominant diatom species in the studied columns made it possible to distinguish 6 ecostratigraphic zones (Na2, Na3, Na4, Na5, Na6, Na7) of different ages (from 1.8 thousand years ago to the present). The correlation of the diatom analysis results was performed at the level of zone Na4 (the Horde transgression, 700–400 years ago). For five of the six studied cores, the results of absolute age determination (^{14}C) were known, but the obtained data made it possible to perform biostratigraphic subdivision of sediments even for a column that did not have radiocarbon dates.

Key words: Diatoms; bottom sediments; Holocene; Sea of Azov

References

1. Kovaleva G.V. Paleogeography and stratigraphy of the Middle and Upper Quaternary deposits in the Sea of Azov based on the results of a diatom analysis. In: Matishov G.G. (Ed.) Paleogeography of the Sea of Azov Region in the Holocene. SSC RAS, Rostov-on-Don. P. 54–111. (In Russ.)
2. Kovaleva G.V., Dyuzhova K.V., Zolotareva A.E. Diatom algae from the Middle and Late Holocene sediments of the Azov Sea as the indicators of the sea level oscillation. *Science in the South of Russia*. 2017. V.13. No 4. P. 83–92. DOI: 10.23885/2500-0640-2017-3-4-83-92 (In Russ.)
3. Kovaleva G.V., Usanova A.V. Micropaleontological studies of Holocene sediments from the southern part of the Sea of Azov (Kerch Strait). *Ecology. Economy. Computer science. Series: System analysis and modeling of economic and ecological systems*. 2024. V.1, № 9. P.184–191. DOI: 10.23885/2500-395X (In Russ.)
4. Matishov G.G., Kovaleva G.V., Arslanov H.A., Dyuzheva K.V., Palshin V.V., Zolotareva A.E. Results of radiocarbon dating of Holocene deposits of the Sea of Azov. *Doklady Earth Sciences*. 2018. T.479, №6. P. 655–658. DOI: 10.7868/S0869565218120113 (In Russ.)
5. Matishov G.G., Kovaleva G.V., Kovalenko E.P., Dyuzheva K.V., Palshin V.V., Titov V.V. Biostratigraphy of bottom sediments and paleogeography of the Sea of Azov in Ancient and Modern times. *Geomorphology and paleogeography*. 2025. T.56, №1. P. 147–160. DOI: <https://doi.org/10.31857/S2949178925010085>

ССЫЛКА НА СТАТЬЮ:

Усанова А.В., Ковалева Г.В. Новые данные диатомового анализа верхнеголоценовых отложений Азовского моря // Вопросы современной альгологии. 2025. № 1 (37). P. 318–322. URL: <http://algology.ru/2215>

Usanova A.V., Kovaleva G.V. New diatom analysis data of Upper Holocene deposits of the Sea of Azov. *Voprosy sovremennoi algologii (Issues of modern algology)*. 2025. № 1 (37). P. 318–322. URL: <http://algology.ru/2215>

DOI – [https://doi.org/10.33624/2311-0147-2025-1\(37\)-318-322](https://doi.org/10.33624/2311-0147-2025-1(37)-318-322); EDN – CBZFWX

Диатомовые водоросли в поверхностном слое донных осадков Охотского моря, район Котловины Дерюгина

Diatoms in the surface sediments of Deryugin Depression Area of Sea of Okhotsk

Фомичева Е.Д.¹, Пушина З.В.¹, Крылов А.А.^{1,2}

Elizaveta D. Fomicheva, Zinaida V. Pushina, Alexey A. Krylov

¹ФГБУ «ВНИИОкеангеология» (Санкт-Петербург, Россия)

²Санкт-Петербургский государственный университет (Санкт-Петербург, Россия)

Представлены результаты изучения диатомовой флоры в поверхностном слое донных осадков Охотского моря к северо-востоку от котловины Дерюгина в интервале глубин от 445 м до 850 м. Всего отмечено 22 таксона диатомовых водорослей и 1 вид силикофлагеллат. Доминирующими являются океанические аркто-бореальные виды – *Shionodiscus latimarginatus* и *Thalassiothrix longissima*, имеющие распространение в донных осадках центральной части моря.

Ключевые слова: диатомеи; поверхностный слой донных осадков; Охотское море; котловина Дерюгина

Диатомовые водоросли являются основным продуцентом органического вещества в Охотском море, а также имеют хорошую сохранность благодаря своему кремневому скелету, что делает их наиболее распространенными микрофоссилиями в донных осадках данного региона (Sancetta, 1982; Цой, Обрезкова, 2017). В результате исследований Дальневосточных морей и Северо-Западной части Тихого океана, которые продолжаются с XX века (Жузе, 1962; Sancetta, 1981; Sancetta, 1982 и др.), было установлено, что диатомеи чувствительны к гидрологическим обстановкам поверхностных вод моря и, следовательно, отражают современные параметры водной толщи, такие как температура, соленость, ледовая обстановка и др. (Обрезкова и др., 2014). Цель работы заключается в изучении диатомовых водорослей в поверхностном слое донных осадков Охотского моря в районе котловины Дерюгина.

Образцы поверхностных проб были получены в ходе экспедиции ФГБУ «ВНИИОкеангеология» на судне «Профессор Мультановский» в июне 2023 года в рамках создания комплектов Госгеолкарты масштаба 1:1000000 листов N-55, N-58. Отбор материала производился боксорером с глубин от 445 м до 850 м к северо-востоку от котловины Дерюгина. Полученные образцы представлены пелитами и пелитовыми песками. Обработка проб выполнялась по стандартной методике (Жузе и др., 1974), для приготовления постоянных препаратов использовалась смола NAPHRAH с коэффициентом преломления 1,65. Подсчет и видовое определение створок диатомей осуществлялись с помощью микроскопов МИКМЕД-6 и Zeiss Axio Imager A.2. В каждом образце проводился подсчет створок до 300 экземпляров.

По результатам диатомового анализа определено 22 вида диатомей, принадлежащих к 14 родам, и 1 вид силикофлагеллат – *Octactis speculum* (Ehrenberg) F.H. Chang, J.M. Grieve & J.E. Sutherland. Диатомовые комплексы достаточно однородны и представлены в подавляющем большинстве морскими океаническими аркто-бореальными видами, среди которых доминирующими являются *Shionodiscus latimarginatus* (Makarova) Alverson, Kang & Theriot (25-53%) и *Thalassiothrix longissima* Cleve & Grunow (12–31%). При этом наибольшее видовое разнообразие достигается неритическими видами – *Actinocyclus ochotensis* Jousé, *A. octonarius* Ehrenberg, *Bacterosira bathiomphala* (Cleve) Syvertsen & Hasle, *Chaetoceros diadema* (Ehrenberg) Gran, споры *C. spp.*, *Hyalodiscus obsoletus* Sheshukova, *Odontella aurita* (Lyngbye) Agardh, *Thalassionema nitzschioides* (Grunow) Mereschowsky, *Thalassiosira grava* Cleve и *T. kryophila* (Grunow) Jorgensen. На глубине моря 445 м в поверхностном осадке их доля практически равна доле океанических видов (42,6% и 58,3% соответственно), но с увеличением глубины их содержание уменьшается до 1/3 от всех диатомей, а ведущую роль занимают океанические таксоны.

Количество планктонных диатомей в поверхностном осадке достигает практически 100%, на тихопелагические виды приходится от 1,9% на наибольшей глубине моря и до 8,4% на глубине 519 м. Среди тихопелагических диатомей значимую долю занимает *Paralia sulcata* (Ehrenberg) Cleve, вид, обитающий в широком диапазоне температуры, солености, освещенности, концентрации питательных веществ и имеющий слабую связь с субстратом (Пушкар, Черепанова, 2008). Размеры встреченной диатомеи в поверхностном осадке сравнительно малы. Также отмечено последовательное уменьшение ее доли в диатомовых комплексах согласно увеличению глубин отбора материала. Роль бентоса незначительна, он представлен одним солоноватоводным видом – *Navicula distans* (Smith) Ralfs, встреченным единично.

Большинство определенных видов диатомовых водорослей относятся к аркто-бореальным и арктическим видам, на долю диатомей, предпочитающих более теплые воды умеренных широт приходится не более 1%.

Климатические условия в Охотском море сравнимы с подобными в арктических морях, водные массы имеют достаточно низкие температуры, на большей части моря происходит интенсивное льдообразование (Добровольский, Залогин 1982). Предыдущими исследователями было установлено, что в центральной части акватории диатомовый комплекс подповерхностных вод характеризуется присутствием в большом количестве двух видов – *Actinocyclus curvatulus* Janisch и *Shionodiscus latimarginatus* (Sancetta, 1982). В рассматриваемом материале на долю *A. curvatulus* приходится от 1 до 15% от общего состава диатомей. В центральной части Охотского моря на глубинах от 1130 м до 1510 м согласно ранее проведенным исследованиям (Tsoy et al., 2009) диатомовые комплексы в поверхностном слое донных осадков представлены главным образом океаническими видами, такими как *Shionodiscus latimarginatus*, *Actinocyclus curvatulus*, *Neodenticula seminae* (Simonsen & Kanaya) Akiba & Yanagisawa, *Thalassiothrix longissima*, *Rhizosolenia hebetata* Bailey, которые также отмечены в рассматриваемом материале. Однако, в представленных образцах также отмечено присутствие спор неритической диатомеи, предпочитающей холодные воды – *Thalassiosira grava* Cleve (2–10%).

Изученные диатомовые комплексы поверхностного слоя донных осадков Охотского моря к северо-востоку от котловины Дерюгина в интервале глубин от 445 м до 850 м отражают современные гидрологические условия данного региона. Результаты планируется использовать для дальнейших палеореконокструкций.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов, требующего раскрытия в данной статье.

Список литературы

1. Добровольский А.Д., Залогин Б.С. Моря СССР. – М.: Изд-во МГУ, 1982. – 192 с.
2. Жузе А.П. Стратиграфические и палеогеографические исследования в северо-западной части Тихого океана. – М.: Изд-во АН СССР, 1962. – 260 с.
3. Жузе А.П., Прошкина-Лавренко А.И., Шешукова-Порецкая В.С. Методика исследования // Диатомовые водоросли СССР (ископаемые и современные). – Л.: Наука, 1974. – Т. 1. – С. 50–79.
4. Обрезкова М.С., Колесник А.Н., Семилетов И.П. Распределение диатомей в поверхностных осадках морей Восточной Арктики России // Биология моря. 2014. Т.40, №6. С. 473–480.
5. Пушкар В.С., Черепанова М.В. Диатомовые комплексы и корреляция четвертичных отложений северо-западной части Тихого океана. – Владивосток: Дальнаука, 2008. – 174 с.
6. Цой И.Б., Обрезкова М.С. Атлас диатомовых водорослей и силикофлагеллат голоценовых осадков морей Восточной Арктики России. – Владивосток: ТОИ ДВО РАН, 2017. – 146 с.
7. Sancetta C. Oceanographic and ecologic significance of diatoms in surface sediments of the Bering and Okhotsk seas // Deep-Sea Res. 1981. V.28A, №8. P. 798–817. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0198-0149\(81\)80002-7](https://doi.org/10.1016/S0198-0149(81)80002-7)
8. Sancetta C. Distribution of Diatom Species in Surface Sediments of the Bering Okhotsk Seas // Micropaleontology. 1982. V.28, №3. P. 1–6. DOI: <https://doi.org/10.2307/1485181>
9. Tsoy I. B., Obrezkova M.S., Artemova A.V. Diatoms in Surface Sediments of the Sea of Okhotsk and the Northwest Pacific Ocean // Okeanologiya. 2009, V.49, №1. P. 141–150. DOI: <https://doi.org/10.1134/S0001437009010159>

Статья поступила в редакцию 18.06.2025; поступила после доработки 02.09.2025; принята к публикации 06.09.2025

Сведения об авторах

Фомичева Елизавета Дмитриевна – инженер I категории, Всероссийский научно-исследовательский институт геологии и минеральных ресурсов Мирового океана им. академика И.С. Грамберга, Россия, Москва (VNIIOkeangeologia, Russia, Saint Petersburg), отдел геологического картирования; fom.lissa@gmail.com; ORCID – <https://orcid.org/0009-0003-3421-2183>; SPIN-код 6867-8750.

Пушина Зинаида Викторовна – к.г.-м.н., вед. инженер, Всероссийский научно-исследовательский институт геологии и минеральных ресурсов Мирового океана им. академика И.С. Грамберга, Россия, Москва (VNIIOkeangeologia, Russia, Saint Petersburg), отдел геологического картирования; z.pushina@vniio.ru.

Крылов Алексей Алексеевич – к.г.-м.н., в.н.с., Всероссийский научно-исследовательский институт геологии и минеральных ресурсов Мирового океана им. академика И.С. Грамберга, Россия, Москва (VNIIOkeangeologia, Russia, Saint Petersburg), отдел геологического картирования; доцент, Санкт-Петербургский Государственный Университет, Россия, Санкт-Петербург (Saint Petersburg State University, Russia, Saint Petersburg), кафедра осадочной геологии; a.krylov@vniio.ru; SPIN-код 6932-8599.

Корреспондентский адрес: Россия, 190121, Санкт-Петербург, набережная реки Мойки, д. 124, лит. А, ВНИИОкеангеология, тел. (812) 244-00-00.

Diatoms in the surface sediments of Deryugin Depression Area of Sea of Okhotsk

Elizaveta D. Fomicheva¹, Zinaida V. Pushina¹, Alexey A. Krylov^{1,2}

¹VNIIOkeangeologia (Russia, Saint Petersburg)

²Saint Petersburg State University (Russia, Saint Petersburg)

The results of studying the diatom flora in the surface sediments of the Okhotsk Sea, northeast of the Deryugin depression, at depths from 445 to 850 meters, are presented. A total of 22 diatom taxa and one species of silicoflagellate were identified. The dominant species are oceanic Arctic-Boreal forms – *Shionodiscus latimarginatus* and *Thalassiothrix longissima*, which are common in the surface sediments of the central part of the sea (Jousé, 1962).

Key words: diatoms; surface sediments; Sea of Okhotsk; Deryugin depression

References

1. Dobrovolsky A.D., Zalogin B.S. Seas of the USSR. Publishing House of Moscow State University, Moscow, 1982. 192 p. (In Russ.)
2. Obrezkova M.S., Kolesnik A.N., Semiletov I.P. The Diatom Distribution in the Surface Sediments of the Eastern Arctic Seas of Russia. *Russian Journal of Marine Biology*. 2014. V. 40, №6. P. 465–472. DOI: <https://doi.org/10.1134/S1063074014060170> (In Russ.)
3. Pushkar V.S., Cherepanova M.V. Diatom complexes and correlation of quaternary sediments of the Northwestern Pacific Ocean. Dalnauka Publ., Vladivostok, 2008. 174 p. (In Russ.)
4. Sancetta C. Oceanographic and ecologic significance of diatoms in surface sediments of the Bering and Okhotsk seas. *Deep-Sea Res.* 1981. V.28A, №8. P. 798–817. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0198-0149\(81\)80002-7](https://doi.org/10.1016/S0198-0149(81)80002-7)
5. Sancetta C. Distribution of Diatom Species in Surface Sediments of the Bering Okhotsk Seas. *Micropaleontology*. 1982. V.28, №3. P. 1–6. DOI: <https://doi.org/10.2307/1485181>
6. Tsoy I.B., Obrezkova M.S. Atlas of diatom algae and silicoflagellates from Holocene sediments of the Russian East Arctic seas. POI FEB RAS, Vladivostok, 2017. 146 p. (In Russ.)
7. Tsoy I. B., Obrezkova M.S., Artemova A.V. Diatoms in Surface Sediments of the Sea of Okhotsk and the Northwest Pacific Ocean. *Okeanologiya*. 2009, V.49, №1. P. 141–150. DOI: <https://doi.org/10.1134/S0001437009010159>
8. Zhuse A.P. Stratigraphic and paleogeographic studies in the Northwestern Pacific Ocean. Publishing House of the USSR Academy of Sciences, Moscow, 1962. 260 p. (In Russ.)
9. Zhuse A.P., Proshkina-Lavrenko A.I., Sheshukova-Poretskaya V.S. Research methodology. In: Diatoms of the USSR (fossil and modern). Nauka Publ., Leningrad, 1974. V.1. P. 50–79. (In Russ.)

ССЫЛКА НА СТАТЬЮ:

Фомичева Е.Д., Пушина З.В., Крылов А.А. Диатомовые водоросли в поверхностном слое донных осадков Охотского моря, район Котловины Дерюгина // Вопросы современной альгологии. 2025. № 1 (37). P. 323–326. URL: <http://algology.ru/2216>

Fomicheva E.D., Pushina Z.V., Krylov A.A. Diatoms in the surface sediments of Deryugin Depression Area of Sea of Okhotsk. *Voprosy sovremennoi algologii (Issues of modern algology)*. 2025. № 1 (37). P. 323–326. URL: <http://algology.ru/2216>

DOI – [https://doi.org/10.33624/2311-0147-2025-1\(37\)-323-326](https://doi.org/10.33624/2311-0147-2025-1(37)-323-326); EDN – EETJOS

Диатомовая флора осадков Чаунской губы Восточно-Сибирского моря

Diatom flora of the Chaun Bay sediments, East Siberian Sea

Цой И.Б., Обрезкова М.С., Юрцева И.А., Чаркин А.Н.

Ira B. Tsoy, Maria S. Obrezkova, Irina A. Yurtseva, Aleksandr N. Charkin

*Тихоокеанский океанологический институт имени В.И. Ильичева – ТОИ ДВО РАН
(Владивосток, Россия)*

В поверхностных осадках Чаунской губы (ЧГ) обнаружена богатая диатомовая флора, уникальная для Восточно-Сибирского моря (ВСМ) и морей Восточной Арктики по видовому разнообразию, экологическому и биогеографическому составу и подтверждает уникальность экосистемы ЧГ, установленной по другим группам флоры и фауны. ЧГ является тепловодным оазисом, поддерживаемый подводными грунтовыми водами (ПГВ), несущими тепло и питательные вещества. Диатомовая флора ЧГ близка к эстуарным тихоокеанским диатомовым флорам, что ставит вопрос о происхождении и времени формирования этой флоры в Арктике.

Ключевые слова: диатомеи; поверхностные осадки; Чаунская губа; Восточно-Сибирское море

Чаунская губа (ЧГ), расположенная на юге самого холодного в Арктике Восточно-Сибирского моря (ВСМ), является тепловодным оазисом для биологических сообществ в Сибирской Арктике, который поддерживается подводными грунтовыми водами (ПГВ), доставляющими в залив тепло, питательные вещества и микроэлементы. В заливе наблюдались повышенные концентрации хлорофилла-а и зоопланктона, а численность и видовое разнообразие эпибентоса значительно превышали значения, наблюдаемые в других местах ВСМ (Charkin et al., 2024). Бентосные сообщества содержали ряд бореальных тихоокеанских видов, которые обычно не встречаются в Северном Ледовитом океане.

Цель нашей работы заключалась в изучении диатомей в поверхностных осадках ЧГ для установления особенностей диатомовой флоры в уникальной экосистеме ЧГ и какие природные факторы влияли на ее формирование. Эти данные важны для изучения реакции диатомовой флоры относительно изолированной экосистемы на климатические изменения, наиболее сильно проявляющиеся в Арктике в последние десятилетия.

ЧГ – это обширный мелководный эстуарный залив ВСМ, с которым он общается тремя проливами (рис. 1). Большую часть года ЧГ покрыта припайным льдом, температура воды на поверхности положительна только в летние месяцы (Бабков, 1994). Из-за незначительного суммарного стока впадающих в губу рек, отсутствует сильное распреснение, поэтому соленость довольно высокая – 21–29‰. В ЧГ недавно обнаружены выходы ПГВ около м. Наглейный и южной части ЧГ, доставляющих в залив тепло, питательные вещества и микроэлементы (Charkin et al. 2024).

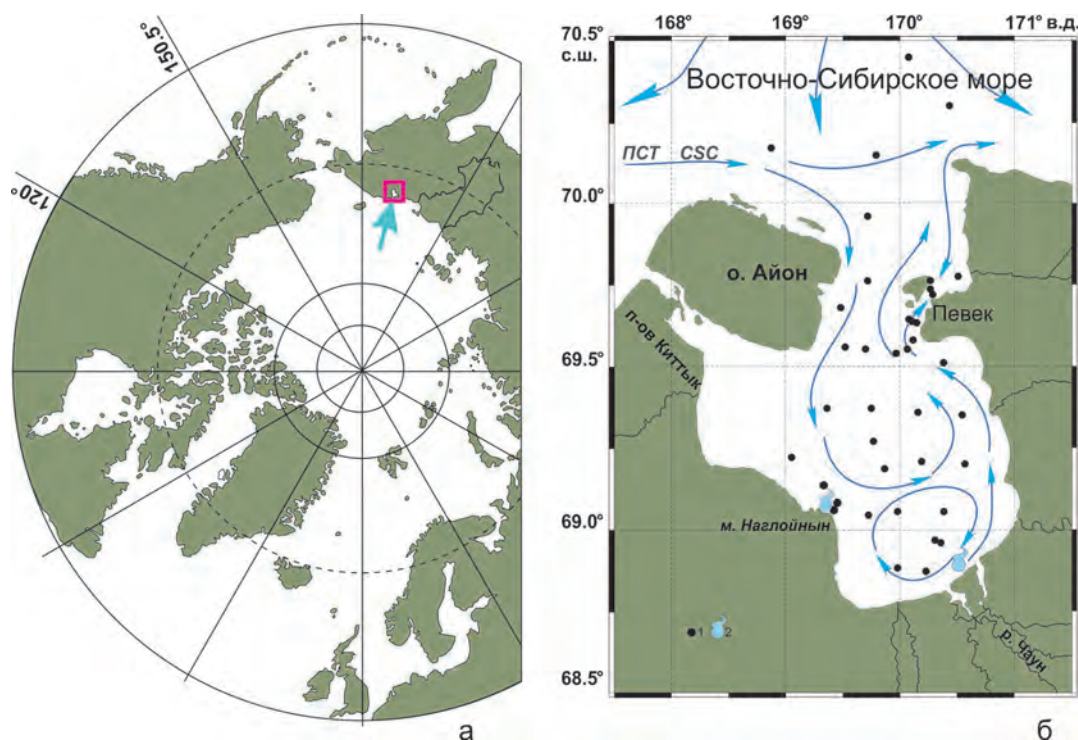


Рис. 1. Карта Северного Ледовитого океана (а) и расположение ЧГ (б) с течениями (Charkin et al., 2024).
1 – станция отбора проб, 2 – выходы подводных гидротермальных вод (ПГВ), 3 – течения.
ПСТ – Прибрежное Сибирское течение.

Fig. 1. Map of the Arctic Ocean (a) and the location of the CB (b) with currents (Charkin et al., 2024).
1 – sampling station, 2 – submarine groundwater discharge (SGD), 3 – currents. CSC – Coastal Siberian Current.

Образцы осадков были отобраны бокс-корером и дночерпателем в 60-ом рейсе НИС «Академик Опарин» (октябрь 2020 г.) ТОИ ДВО РАН. Обработка образцов для диатомового анализа проводилась по стандартной методике (Диатомовые водоросли ..., 1974).

Содержание диатомей в осадках, являющееся отражением продуктивности вод, в ЧГ характеризуется значительными вариациями. В аллювиальных песках в зоне термоабразии береговой зоны о. Айон и п-ова Кыттык, зафиксировано минимальное содержание диатомей (0,03 млн. створок/г). Относительно высокое содержание диатомей (2–2,3 млн. створок/г) отмечено в районах ПГВ и в южной части ЧГ в зоне влияния стока р. Чаун.

В изученных осадках установлена богатая диатомовая флора, представленная 318 видами и разновидностями, относящимися к 95 родам, 54 семействам, 27 порядкам и 3 классам. Наибольшее количество видов содержится в родах *Pinnularia* (30), *Navicula* (28), *Diploneis* (15), *Eunotia* (15), *Nitzschia* (9), *Thalassiosira* (9), *Cymbella* (8), *Gyrosigma* (8).

В осадках ЧГ доминируют солоноватоводно-морские бенто-планктонные *Paralia sulcata*, *Actinopteryx senarius*, планктонный *Thalassiosira hyperborea*, бентосные *Diploneis subcineta*, *Amphora proteus* и морские планктонные *Thalassionema nitzschioides* и *T. antarctica*.

Большая часть (116) видов, идентифицированных в изученных осадках ЧГ, характерны для современных донных осадков морей Восточной Арктики, 63 вида установлены во льдах ВСМ и 18 видов в фитопланктоне ВСМ и ЧГ, но большинство

видов (169 видов) впервые установлено в ВСМ (76 видов) и морях Восточной Арктики (93 вида).

Выделенная диатомовая флора имеет смешанный экологический состав и представлена солоноватоводными и эвригалинными (114 видов), морскими (103 вида), пресноводными (92 вида) видами и видами, экология которых неизвестна (6). Отмечено 3 вымерших в кайнозой морских вида. Численно доминируют солоноватоводные и эвригалинные виды (73,4%), субдоминируют – морские (19,5%), пресноводные встречаются единичными экземплярами, несмотря на их видовое разнообразие, их доля в диатомовой флоре незначительна (4,2%).

По биогеографическому распространению большая часть видов относится к космополитам (96 видов) и аркто-бореальным (40 видов) видам, которые преобладают и по численности. Арктические (22 вида) и аркто-субарктические (28 видов) виды представлены преимущественно диатомеями, связанными с морскими льдами. Это морские представители родов *Pinnularia*, *Navicula*, *Nitzschia*, *Fragilariopsis*, *Diploneis*, *Pleurosigma*, *Gyrosigma*, *Stenoneis*, *Pseudogomphonema*, распространенные во льдах и осадках ледового разноса прибрежных и открытых районов Арктики. Для большой группы единично встреченных видов биогеографическое распространение неизвестно. Это в основном пресноводные (74 вида) виды; солоноватоводные и эвригалинные представлены 48 видами, морские – 47 видами. Видовое богатство диатомовой флоры осадков ЧГ превышает почти в 2,5 раза видовое богатство, установленное для всего ВСМ, а также выше, чем в осадках моря Лаптевых и Чукотского моря, установленное ранее (Полякова, 1997; Цой, Обрезкова, 2017; Obrezkova et al., 2023).

В диатомовой флоре ЧГ преобладают солоноватоводные и эвригалинные виды как по видовому богатству, так и по обилию. Следует отметить, что среди этой группы видовым разнообразием (67 видов) и обилием (12-55,3%) отличаются бентосные виды, что не характерно для морей Восточной Арктики. Видовое богатство и обилие бентосных видов диатомей, среди которых многочисленны эпифиты и эпипсаммиты, свидетельствует о благоприятных условиях обитания. Это повышенные придонные температуры и питательные вещества, обеспеченные ПГВ, хорошее перемешивание вод, благодаря течениям, разнообразие донных субстратов – галька, гравий, щебень, пески, илы, а также донные гидробионты (макрофиты, губки, актинии, моллюски и др.), образующие разнообразные экосистемы (Голиков и др., 1994). Разнообразные пресноводные диатомеи встречаются преимущественно единичными экземплярами, что свидетельствует о незначительном влиянии стока впадающих в губу рек.

Диатомовая флора ЧГ по видовому богатству и обилию диатомей, по экологическому и биогеографическому составу, а также количеству впервые обнаруженных видов является уникальной для ВСМ и морей Восточной Арктики и подтверждает уникальность экосистемы ЧГ, установленной по другим группам фауны и флоры. Диатомовая флора ЧГ имеет сходство с прибрежными тихоокеанскими диатомовыми флорами осадков приустьевых зон (заливы Ульбанский, Дагинский, Восточной Камчатки) и поднимает вопрос о происхождении и времени формирования этой флоры в Арктике.

Работа выполнена за счет гранта Российского научного фонда № 24-27-00107, <https://rscf.ru/project/24-27-00107/>.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов, требующего раскрытия в данной статье.

Список литературы

1. Бабков А.И. Гидрологическая характеристика Восточно-Сибирского моря // Экосистемы и фауна Чаунской губы Восточно-Сибирского моря. Часть II. – СПб: Зоологический институт РАН, 1994. – С. 4–16.
2. Голиков А.Н., Гагаев С.Ю., Гальцова В.В., Голиков А.А., Дантон К., Мениуткина Т.В., Новиков О.К., Петряшев В.В., Потин В.В., Сиренко Б.И., Шонберг С., Владимиров М.В. Экосистемы, флора и фауна Чаунской губы Восточно-Сибирского моря // Исследования фауны морей. – СПб: Зоологический институт РАН, 1994. – Т.47. – С. 4–111.
3. Диатомовые водоросли СССР. Т.1. – Л.: Наука, 1974. – 403 с.
4. Полякова Е.И. Арктические моря Евразии в позднем кайнозое. – М.: Научный мир. 1997. – 146 с.
5. Цой И.Б., Обрезкова М.С. Атлас диатомовых водорослей и силикофлагеллат голоценовых осадков морей Восточной Арктики России. – Владивосток: ТОИ ДВО РАН, 2017. – 146 с.
6. Charkin A.N., Kosobokova K.N., Ershova E.A., Syomin V.L., Kolbasova G.D., Semkin P.Yu., Leusov A.E., Dudarev O.V., Gulenko T.A., Yaroshchuk E.I., Startsev A.M., Fayman P.A., Krasikov V.A., Zverev S.A., Bessonova E.A., Ulyantsev A.S., Elovsky E.V., Yurikova D.A., Kobyakov K.A., Zimina O.L., Gerasimova A.V., Tishchenko P.P., Didov A.A. A unique warm-water oasis in the Siberian Arctic's Chaun Bay sustained by hydrothermal groundwater discharge // Communications Earth Environment. 2024. V.5. P. 1–14. DOI: <https://doi.org/10.1038/s43247-024-01529-x>
7. Obrezkova M.S., Tsoy I.B., Kolyada A.E., Shi X., Liu Ya. Distribution of diatoms in seafloor surface sediments of the Laptev, East Siberian, and Chukchi seas: implication for environmental reconstructions // Polar Biology. 2023. V.46, №1. P. 21–34. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00300-022-03105-5>

Статья поступила в редакцию 18.06.2025; поступила после доработки 22.08.2025; принята к публикации 28.08.2025

Сведения об авторах

Цой Ира Борисовна – д.г.-м.н., г.н.с., Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева Дальневосточного отделения РАН, Россия, Владивосток (Il'ichev Pacific Oceanological Institute FEB RAS, Russia, Vladivostok); tsoy@poi.dvo.ru; ORCID – <https://orcid.org/0000-0003-4261-4302>; SPIN-код 1832-0450.

Обрезкова Мария Сергеевна – к.г.-м.н., в.н.с., Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева Дальневосточного отделения РАН, Россия, Владивосток (Il'ichev Pacific Oceanological Institute FEB RAS, Russia, Vladivostok); obrezkova@poi.dvo.ru; ORCID – <https://orcid.org/0000-0002-5884-5001>; SPIN-код 9564-3197.

Юрцева Ирина Александровна – к.г.-м.н., н.с., Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева Дальневосточного отделения РАН, Россия, Владивосток (Il'ichev Pacific Oceanological Institute FEB RAS, Russia, Vladivostok); prushkovskaya@poi.dvo.ru; ORCID – <https://orcid.org/0000-0003-2674-1053>; SPIN-код 7872-1910.

Чаркин Александр Николаевич – к.г.-м.н., в.н.с., Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева Дальневосточного отделения РАН, Россия, Владивосток (Il'ichev Pacific Oceanological Institute FEB RAS, Russia, Vladivostok); charkin@poi.dvo.ru; ORCID – <https://orcid.org/0000-0001-9273-9950>; SPIN-код 3452-3712.

Корреспондентский адрес: Россия, 690041, Владивосток, ул. Балтийская, д. 43, ТОИ ДВО РАН, тел. (423) 231-1400.

Diatom flora of the Chaun Bay sediments, East Siberian Sea

Ira B. Tsoy, Maria S. Obrezkova, Irina A. Yurtseva, Aleksandr N. Charkin

Il'ichev Pacific Oceanological Institute FEB RAS (Russia, Vladivostok)

A rich diatom flora was found in the surface sediments of the Chaun Bay (CG), which is unique for the East Siberian Sea (ESS) and the seas of the Eastern Arctic in terms of species diversity, ecological and biogeographic composition, and confirms the uniqueness of the CB ecosystem proved by other groups of flora and fauna. CB is a warm-water oasis supported by submarine groundwater discharge

(SGD) carrying heat and nutrients. The CB diatom flora is close to estuarine Pacific diatom floras, which raises the question of the origin and time of formation of this flora in the Arctic.

Key words: Diatoms; surface sediments; Chaun Bay; East-Siberian Sea

References

1. Babkov A. The hydrological characteristics of the East Siberian Sea. *In: Ecosystems and the fauna of the Chaun Bay and the neighboring waters of the East Siberian Sea. Part II. Zoological Institute of the Russian Academy of Sciences, St. Petersburg, 1994. P. 4–16. (In Russ.)*
2. Golikov A., Gagaev S., Galtsova V., Golikov A.A., Danton K., Menshutkina T.V., Novikov O.K., Petryashev V.V., Potin V.V., Sirenko B.I., SHonberg S., Vladimirov M.V. Ecosystems, Flora and Fauna of the Chaun Bay of the East Siberian Sea. *In: Explorations of the Fauna of the Seas. V.47. Zoological Institute of the Russian Academy of Sciences, St. Petersburg, 1994. P. 4–111. (In Russ.)*
3. Diatoms of the USSR. V.1. Nauka, Leningrad, 1974. 403 p. (In Russ.)
4. Charkin A.N., Kosobokova K.N., Ershova E.A., Syomin V.L., Kolbasova G.D., Semkin P.Yu., Leusov A.E., Dudarev O.V., Gulenko T.A., Yaroshchuk E.I., Startsev A.M., Fayman P.A., Krasikov V.A., Zverev S.A., Bessonova E.A., Ulyantsev A.S., Elovsky E.V., Yurikova D.A., Kobyakov K.A., Zimina O.L., Gerasimova A.V., Tishchenko P.P., Didov A.A. A unique warm-water oasis in the Siberian Arctic's Chaun Bay sustained by hydrothermal groundwater discharge. *Communications Earth Environment*. 2024. V.5. P. 1–14. DOI: <https://doi.org/10.1038/s43247-024-01529-x>
5. Obrezkova M.S., Tsoy I.B., Kolyada A.E., Shi X., Liu Ya. Distribution of diatoms in seafloor surface sediments of the Laptev, East Siberian, and Chukchi seas: implication for environmental reconstructions. *Polar Biology*. 2023. V. 46, № 1. P. 21–34. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00300-022-03105-5>
6. Polyakova Ye.I. The Eurasian Arctic Seas During the Late Cenozoic. Scientific World. Moscow, 1997. 146 p. (In Russ.)
7. Tsoy I.B., Obrezkova M.S. Atlas of diatom algae and silicoflagellates from Holocene sediments of the Russian East Arctic seas. POI FEB RAS, Vladivostok, 2017. 146 p. (In Russ.)

ССЫЛКА НА СТАТЬЮ:

Цой И.Б., Обрезкова М.С., Юрцева И.А., Чаркин А.Н. Диатомовая флора осадков Чаунской губы Восточно-Сибирского моря // Вопросы современной альгологии. 2025. № 1 (37). P. 327–331. URL: <http://algology.ru/2195>

Tsoy I.B., Obrezkova M.S., Yurtseva I.A., Charkin A.N. Diatom flora of the Chaun Bay sediments, East Siberian Sea. *Voprosy sovremennoi algologii (Issues of modern algology)*. 2025. № 1 (37). P. 327–331. URL: <http://algology.ru/2195>

DOI – [https://doi.org/10.33624/2311-0147-2025-1\(37\)-327-331](https://doi.org/10.33624/2311-0147-2025-1(37)-327-331); EDN – FRQESS

Аберрантные формы диатомовых водорослей в позднеголоценовых осадках Амурского залива Японского моря

Aberrant forms of diatoms in late holocene sediments of Amursky Bay of the Sea of Japan

Цой И.Б., Юрцева И.А., Астахов А.С.

Ira B. Tsoy, Irina A. Yurtseva, Anatoly S. Astakhov

*Тихоокеанский океанологический институт имени В.И. Ильичева – ТОИ ДВО РАН
(Владивосток, Россия)*

В осадках Амурского залива (Японское море), накопившихся за последние 2 тыс. лет (колонка LV66-1), обнаружена богатая диатомовая флора (181 вид и внутривидовых таксонов), включающая заметное количество аберрантных форм. Увеличение их количества в осадках, образованных до развития промышленности на прилегающей территории, указывает на природные факторы, приведшие к аномалиям в морфологии створок диатомей. Возможные причины этих аномалий – тяжелые металлы, поставляемые с речным стоком или выходы газов (метан), характерные для осадков Амурского залива.

Ключевые слова: диатомеи; осадки; аберрантные формы; поздний голоцен; Амурский залив; Японское море

Диатомовые водоросли, характеризующиеся преимущественно идеальными геометрическими формами и правильной орнаментацией кремниевых створок и панцирей, при воздействии стресса во время размножения могут изменять форму и структуру, производя аберрантные или тератологические формы (Falasco et al., 2009). Они появляются как случайный эффект экологических стрессов, которые могут быть как физическими, так и химическими. Аномальную морфологию клеток диатомей часто связывают с антропогенным загрязнением окружающей среды, но аберрантные формы (АФ) диатомей в осадках встречаются крайне редко, поэтому находка заметного количества этих форм в голоценовых осадках, когда влияние человека на среду было минимальным, привлекла наше внимание. Цель настоящей работы – представить диатомовую флору позднеголоценовых осадков Амурского залива, содержащую заметное количество аберрантных форм, и предложить возможные причины их образования.

Амурский залив (АЗ) – внутренний залив обширного залива Петра Великого (рис. 1А) Японского моря, расположенный в зоне влияния муссонного климата, который часто приводит к катастрофическим природным явлениям, таким как тропические циклоны или тайфуны, последствия которых отражаются в осадках АЗ (Астахов и др., 2015, 2019). Он отличается небольшими глубинами (до 30 м), значительным

влиянием стока р. Раздольной, крупнейшей реки Приморья, и довольно продолжительным ледовым покровом (около 4-х месяцев).

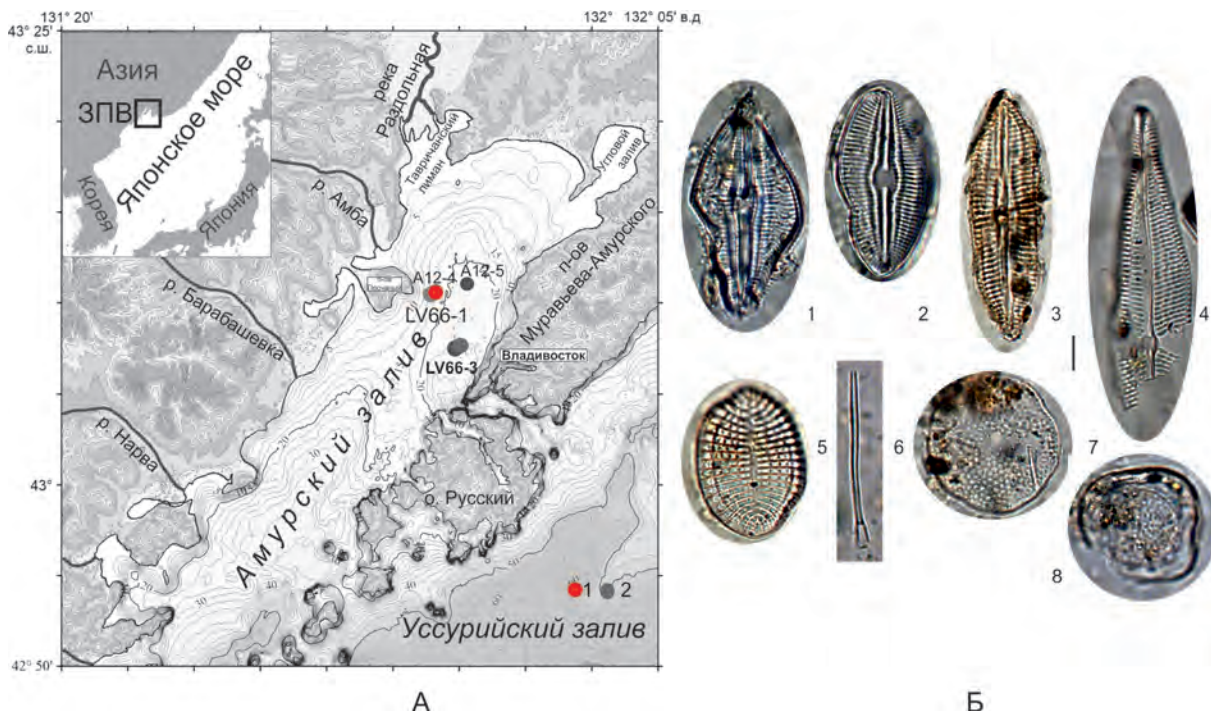


Рис. 1. А – Местоположение колонки LV66-1 (1) в Амурском заливе и некоторые aberrантные формы диатомей, обнаруженные в этой колонке. 1 – станция с aberrантными формами диатомей, 2 – ранее изученные станции (Tsoy et al., 2015; Прушковская, Цой, 2024). ЗПВ – залив Петра Великого. Б – Aberrантные формы у доминирующих видов диатомей в колонке LV66-1: 1, 2 – *Diploneis smithii*; 3 – *D. vacillans*; 4 – *Trachyneis aspera*; 5 – *Cocconeis scutellum*; 6 – *Sundstroemia setigera*; 7 – *Coscinodiscus radiatus*; 8 – *Cyclotella littoralis*.

Fig. 1. А – The location of core LV66-1 (1) in Amursky Bay and some aberrant forms of diatoms found in this core. 1 – Site with aberrant forms of diatoms, 2 – previously studied sites (Tsoy et al., 2015; Прушковская, Цой, 2024). ЗПВ – Peter the Great Bay. Б – Aberrant forms of diatoms in core LV66-1: 1, 2 – *Diploneis smithii*; 3 – *D. vacillans*; 4 – *Trachyneis aspera*; 5 – *Cocconeis scutellum*; 6 – *Sundstroemia setigera*; 7 – *Coscinodiscus radiatus*; 8 – *Cyclotella littoralis*.

Осадки, мощностью 345 см, представленные преимущественно илами, вскрыты колонкой LV66-1 в западной части Амурского залива около п-ова Песчаный и накоплены за последние 2 тыс. лет (Акуличев и др., 2016). Для изучения диатомей было отобрано 89 образцов (через каждые 4 см керн осадков), обработанные для диатомового анализа стандартным методом с использованием тяжелой калиево-кадмиевой жидкости.

В изученных осадках определено 181 вид и внутривидовых таксонов, принадлежащих 80 родам. Наибольшее количество видов характерно для родов *Diploneis* (16 видов), *Aulacoseira* (9), *Cocconeis* (9), *Chaetoceros* (8), *Actinocyclus* (6), *Amphora* (6), *Thalassiosira* (6). Большинство видов морские (75 видов), солоноватоводные представлены 58 видами, разнообразны пресноводные (41 вид), 7 видов неясной экологии. Доминируют солоноватоводные и эвригалинные виды (56,2%), субдоминируют морские (38.1%), содержание пресноводных незначительно (5,3%). В целом, состав диатомовой флоры в колонке LV66-1 соответствует флоре поверхностных (Цой, Моисеенко, 2014; Karnaukh et al., 2016) и верхнеголоценовых (Tsoy et al., 2015; Прушковская, Цой, 2024) осадков Амурского залива. Доминируют солоноватоводные бентосные виды *Diploneis smithii*, *D. subcineta*, *Grammatophora oceanica*, *Trachyneis*

aspera, *Petroneis glacialis*, и преимущественно морские планктонные *Thalassionema nitzschioides*, *Sundstroemia setigera*, *Coscinodiscus radiatus*, *Cyclotella litoralis*, *C. choctawhatcheeana*, *Chaetoceros* spp.

АФ отмечены у доминирующих (рис. 1Б) и единично встреченных видов, у центричных (*Coscinodiscus*, *Thalassiosira*, *Actinocyclus*) и пеннатных (*Trachyneis*, *Diploneis*, *Cocconeis* et al.), у видов разной экологии – морских (e.g. *Sundstroemia setigera*, *Thalassionema nitzschioides*), солоноватоводных (e.g. *Diploneis smithii*) и пресноводных (e.g. *Epithemia sorex*, *Rhopalodia gibba*), что свидетельствует о внешнем природном факторе, влияющем на образование АФ диатомей. Уродливость форм диатомей выражена в трансформации контура створок и панцирей, деформированной орнаментации, нарушении симметрии и т.д.

Единичные АФ диатомей отмечены в перифитоне зал. Петра Великого (Рябушко, Бегун, 2015). В ранее изученных нами поверхностных и голоценовых осадках АФ не отмечались, поэтому предполагается, что распространение АФ диатомей в осадках колонки LV66-1 указывает на особые условия их формирования. Возможно экологический стресс на диатомеи оказывали тяжелые металлы, поступающие с терригенным материалом стока р. Раздольной и малых рек западного побережья залива, в зоне влияния которых находится изученная колонка. Во время накопления осадков нижней части колонки установлено увеличение доли материала речного стока (Астахов и др., 2019). О значительном влиянии речного стока свидетельствуют находки в изученных осадках АЗ вымерших пресноводных видов *Aulacoseira praeislandica*, *A. elliptica*, *A. hachiyaensis* и др., характерных для нижнемиоценовых континентальных отложений юга Приморья (Пушкарь и др., 2024). В поверхностных осадках АЗ были обнаружены aberrantные формы силикофлагеллат, которые концентрировались в районах выходов газов (метан и др.), распространенных в Амурском заливе (Karnaukh et al., 2016). Могут ли газы оказывать влияние на появление АФ силикофлагеллат и диатомей, живущих в районе выходов газов, пока также не ясно.

Таким образом, находка заметного количества aberrantных форм диатомей в осадках западной части Амурского залива около п-ова Песчаный предполагает влияние внешнего экологического стресса на обитающих в этом районе бентосных и планктонных диатомей последние 2 тыс. лет. Возможными факторами, оказывающими влияние на биоту в этот период, были речной сток и выходы газов.

Работа выполнена в рамках проекта РНФ региональный №25-810-62470-2-0214-000012 «Прогноз изменений климата юга Приморского края на основе периодических природных процессов, проявленных в химическом составе донных осадков Амурского залива».

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов, требующего раскрытия в данной статье.

Список литературы

1. Акуличев В.А., Астахов А.С., Малахов М.И., Аксентов К.И., Карабцов А.А., Марьяш А.А., Алаторцев А.В. Первая находка криптофиты катастрофических извержений вулкана Байтоушань X в. н.э. в шельфовых отложениях Японского моря // Доклады Академии наук. 2016. Т.469, №6. С. 734–738. DOI: 10.7868/S0869565216240166
2. Астахов А.С. Калугин И.А., Аксентов К.И., Дарьин А.В. Геохимические индикаторы палеотайфунов в шельфовых отложениях // Геохимия. 2015. №4. С. 387–392. DOI: <https://doi.org/10.7868/S0016752515040020>
3. Астахов А.С., Дарьин А.В., Калугин И.А., Аксентов К.И. Реконструкция частоты катастрофических наводнений на западном побережье Японского моря по шельфовым седиментационным записям // Метеорология и гидрология. 2019. №1. С. 91–102.
4. Прушковская И.А., Цой И.Б. Влияние экстремальных природных явлений позднего голоцена на осадконакопление Амурского залива Японского моря (по данным диатомового анализа) // Геосистемы

северо-восточной Азии: природные и социально-экономические факторы и структуры. – Владивосток: ТИГ ДВО РАН, 2024. – С. 546–555. DOI: 10.35735/9785604968338_546

5. Пушкарь В.С., Авраменко А.С., Черепанова М.В., Лихачева О.Ю. Усовершенствование зональной шкалы неогена Приморья (Россия) // Тихоокеанская геология. 2024. Т.43, №5. С. 5–21. DOI: 10.30911/0207-4028-2024-43-5-5-21

6. Рябушко Л.И., Бегун А.А. Диатомовые водоросли микрофитобентоса Японского моря. Т.2. – Севастополь: ПК «КИА», 2016. – 324 с.

7. Цой И.Б., Моисеенко И.А. Диатомеи поверхностных осадков Амурского залива Японского моря // Биология моря. 2014. Т. 40. № 1. С. 12–25.

8. Falasco E., Bona F., Badino G., Hoffmann L., Ector L. Diatom teratological forms and environmental alterations: a review // Hydrobiologia. 2009. V.623. P. 1–35. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10750-008-9687-3>

9. Karnaukh V.N., Astakhov A.S., Vereshchagina O.F., Tsoy I.B., Kosmach D.A., Sagalaev S.G., Volkova T.I., Dubina V.A., Prushkovskaya I.A. Formation of subsurface shallow gas accumulations in Amurskiy Bay (Peter the Great Bay, Sea of Japan) as a result of postglacial sea-level change, paleoceanographic conditions and hydrological activity // Marine Geology. 2016. V.372. P. 31–52. DOI: 10.1016/j.margeo.2015.12.004

10. Tsoy I., Prushkovskaya I., Aksentov K., Astakhov A. Environmental Changes in the Amur Bay (Japan/East Sea) during the last 150 Years Revealed by Examination of Diatoms and Silicoflagellates // Ocean Science Journal. 2015. V.50, №2. P. 433–444. DOI:10.1007/s12601-015- 0039-8

Статья поступила в редакцию 18.06.2025; поступила после доработки 19.08.2025; принята к публикации 28.08.2025

Сведения об авторах

Цой Ира Борисовна. – д.г.-м.н., г.н.с., Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева Дальневосточного отделения РАН, Россия, Владивосток (Il'ichev Pacific Oceanological Institute FEB RAS, Russia, Vladivostok); tsoy@poi.dvo.ru; ORCID – <https://orcid.org/0000-0003-4261-4302>; SPIN-код 1832-0450.

Юрцева Ирина Александровна – к.г.-м.н., н.с., Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева Дальневосточного отделения РАН, Россия, Владивосток (Il'ichev Pacific Oceanological Institute FEB RAS, Russia, Vladivostok); prushkovskaya@poi.dvo.ru; ORCID – <https://orcid.org/0000-0003-2674-1053>; SPIN-код 7872-1910.

Астахов Анатолий Сергеевич – д.г.-м.н., г.н.с., Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева Дальневосточного отделения РАН, Россия, Владивосток (Il'ichev Pacific Oceanological Institute FEB RAS, Russia, Vladivostok); astakhov@poi.dvo.ru; ORCID – <https://orcid.org/0000-0002-1288-0848>; SPIN-код 2282-2094.

Корреспондентский адрес: Россия, 690041, Владивосток, ул. Балтийская, д. 43, ТОИ ДВО РАН, тел. (423) 231-1400.

Aberrant forms of diatoms in late holocene sediments of Amursky Bay of the Sea of Japan

Ira B. Tsoy, Irina A. Yurtseva, Anatoly S. Astakhov

Il'ichev Pacific Oceanological Institute FEB RAS (Russia, Vladivostok)

A rich diatom flora (181 species and intraspecific taxa), including a significant number of aberrant forms, was found in the sediments of Amursky Bay (Sea of Japan) accumulated over the past 2 thousand years (core LV66-1). The increase in their number in sediments formed before the development of industry in the adjacent territory indicates natural factors that led to anomalies in the morphology of diatom valves. Possible causes of these anomalies are heavy metals supplied with river runoff or gas emissions (methane), characteristic of the sediments of Amursky Bay.

Key words: Diatoms; sediments; aberrant forms, late Holocene, Amursky Bay, Sea of Japan

References

1. Akulich V.A., Astakhov A.S., Aksentov K.I., Mar'yash A.A., Alatorsev A.V., Malakhov M.I., Karabtsov A.A. The first discovery of cryptotephra of the catastrophic eruptions of the Baitoushan volcano in the

tenth century a.d. in the shelf deposits of the Sea of Japan. *Doklady Earth Sciences*. 2016. V.469, №2. P. 887–891. DOI: 10.7868/S0869565216240166

2. Astakhov A.S., Aksentov K.I., Kalugin I.A., Dar'in A.V. Geochemical indicators of paleo-typhoons in shelf sediments. *Geochemistry International*. 2015. V.53, №4. P. 383–388. DOI: <https://doi.org/10.7868/S0016752515040020>

3. Astakhov A.S., Dar'in A.V., Kalugin I.A. Reconstructing the frequency of catastrophic floods on the western coast of the Sea of Japan based on sedimentary proxy // *Russian Meteorology and Hydrology*. 2019. V. 44, № 1. P. 62–70. DOI: <https://doi.org/10.3103/S1068373919010072>

4. Falasco E., Bona F., Badino G., Hoffmann L., Ector L. Diatom teratological forms and environmental alterations: a review // *Hydrobiologia*. 2009. V.623. P. 1–35. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10750-008-9687-3>

5. Karnaukh V.N., Astakhov A.S., Vereshchagina O.F., Tsoy I.B., Kosmach D.A., Sagalaev S.G., Volkova T.I., Dubina V.A., Prushkovskaya I.A. Formation of subsurface shallow gas accumulations in Amurskiy Bay (Peter the Great Bay, Sea of Japan) as a result of postglacial sea-level change, paleoceanographic conditions and hydrological activity // *Marine Geology*. 2016. V.372. P. 31–52. DOI: 10.1016/j.margeo.2015.12.004

6. Prushkovskaya I.A., Tsoy I.B. The impact of catastrophic natural phenomena of the Late Holocene on the sedimentation of the Amurskiy Bay of the Sea of Japan (according to diatom analysis) *In: Geosystems of Northeast Asia: natural and socio-economic factors and structures*. TIG FEB RAS, Vladivostok, 2024. P. 546–555. DOI: 10.35735/9785604968338_546 (In Russ.)

7. Pushkar V.S., Avramenko A.S., Cherepanova M.V., Likhacheva O.Yu. Improvement to the Zonal Diatom Scale of the Neogene in Primorye (Russia). *Tikhookeanskaya Geologiya*. 2024. V.43. № 5. P. 5–21. DOI: 10.30911/0207-4028-2024-43-5-5-21 (In Russ.)

8. Ryabushko L.I.; Begun A.A. Diatoms of the microphytobenthos of the Sea of Japan (Synopsis and Atlas). V. 2. KIA, Sevastopol, 2016. 324 p. (In Russ.)

9. Tsoy I.B., Moiseenko I.A. Diatoms from Surface Sediments of Amurskiy Bay, Sea of Japan. *Russian Journal of Marine Biology*. 2014. V. 40, №1. P. 10–23. DOI: 10.1134/S106307401401009X

10. Tsoy I., Prushkovskaya I., Aksentov K., Astakhov A. Environmental Changes in the Amur Bay (Japan/East Sea) during the last 150 Years Revealed by Examination of Diatoms and Silicoflagellates // *Ocean Science Journal*. 2015. V.50, №2. P. 433–444. DOI:10.1007/s12601-015- 0039-8

ССЫЛКА НА СТАТЬЮ:

Цой И.Б., Юрцева И.А., Астахов А.С. Аберрантные формы диатомовых водорослей в позднеголоценовых осадках Амурского залива Японского моря // Вопросы современной альгологии. 2025. № 1 (37). P. 332–336. URL: <http://algology.ru/2204>

Tsoy I.B., Yurtseva I.A., Astakhov A.S. Aberrant forms of diatoms in late holocene sediments of Amurskiy Bay of the Sea of Japan. *Voprosy sovremennoi algologii (Issues of modern algology)*. 2025. № 1 (37). P. 332–336. URL: <http://algology.ru/2204>

DOI – [https://doi.org/10.33624/2311-0147-2025-1\(37\)-332-336](https://doi.org/10.33624/2311-0147-2025-1(37)-332-336); EDN – FUXGYF

Диатомовая летопись изменений среды северо-западной части Японского моря в период последней дегляциации

Diatom record of environmental changes in the northwest Japan Sea during the last deglaciation

Черепанова М.В.

Marina V. Cherepanova

ФНЦ Биоразнообразия ДВО РАН (Владивосток, Россия)

Анализ изменений диатомовых данных позволил реконструировать состояние среды в северо-западной части Японского моря за последние 21,0 тыс. лет. Незначительное увеличение количества сублиторальных бентосных видов указывает на понижение уровня моря с 21,0 до 16,6 тыс.л.н., которое соответствует последнему ледниковому максимуму. Низкое стояние моря определило иные, по сравнению с современными, закономерности морской циркуляции и векторов вдольбереговых течений. Высокий процент сублиторальных планктонных диатомей во время бёллинга и раннего дриаса отражает постепенное повышение уровня моря. Увеличение доли океанических диатомей в голоцене указывает на приток тихоокеанских вод, как через пролив Цусима, так и через пролив Цугару. Во время потеплений отмечался рост участия относительно тепловодных океанических видов. Исследования продемонстрировали четкую реакцию диатомей на изменения палеоклимата и уровня моря в течение позднего плейстоцена и голоцена.

Ключевые слова: диатомеи; донные осадки; плейстоцен; голоцен; Японское море

Позднее глобальное потепление (дегляциация), начавшееся с последнего ледникового максимума (LGM), характеризовалось наиболее фундаментальными за последние 100 тыс. лет изменениями климата в течение ледниково-межледникового цикла и, следовательно, является ключевым для понимания механизмов трансформации среды от ледниковых к межледниковым условиям (Zhang et al., 2014). Результатом этих изменений стали значительные преобразования, как в наземных, так и в морских экосистемах.

Японское море относится к полузамкнутым окраинным морям, так как соединяется с другими дальневосточными морями и Тихим океаном мелководными (не более 135 м) проливами. Эта особенность делает данное море более чувствительным к глобальным изменениям климата и связанными с ними колебаниям уровня моря. Особенно это проявилось во время LGM, когда уровень моря опускался примерно на 130 м ниже современного (Ishiwatari et al., 2001).

Диатомеи были изучены из колонка LV 53-29 (41°51,6005' с.ш., 132°21,8618' в.д., общая длина – 785 см), поднятой в северо-западной части Японского моря с глубины 1956 м во время российско-китайского рейса 53 на НИС «Академик Лаврентьев»

в 2010 г. В данной работе представлены исследования верхней части керна длиной 150 см, которая, согласно возрастной модели (Evstigneeva et al., 2021), формировалась в течение 21 тыс. лет. Образцы для анализа (всего 62) отбирались через каждые 2 см с толщиной образца ~1 см и обрабатывались согласно стандартной методике (Глезер и др., 1974). Для более корректной интерпретации диатомовых данных, вслед за А.П. Жузе (1962), в комплекс *Thalassiosira eccentrica* были объединены виды, створки которых по своей морфологии сходны с *Thalassiosira eccentrica*, и которые порою трудно диагностировать до вида в световом микроскопе.

Установленные изменения диатомовых палеосообществ за последние 21 тыс. лет зафиксировали ледниковые, послеледниковые (дегляциация) и голоценовые условия в северо-западной части Японского моря.

На основе данных диатомового анализа было выделено 7 зон (ДЗ). Особенностью ДЗ 1 (20,9–18,2 тыс.л.н.) является относительно высокое содержание неритической *Thalassionema nitzschioides*, доминирующей в современном зимнем и весеннем планктоне прибрежных вод Японских о-вов (Takano, 1990). Диатомовые данные свидетельствуют о довольно холодных условиях с преобладающими температурами поверхностных вод, близкими к современным весенним температурам в этом регионе. Преобладание же неритического комплекса *Thalassiosira eccentrica* указывает на более высокое содержание солей в поверхностных водах во время LGM, по сравнению с южной и западной частями моря (Oba et al., 1991; Minoura et al., 2012). Оно было обусловлено активным конвективным перемешиванием зимой, характерным для района отбора колонки и в настоящее время. ДЗ 2 (18,2–15,8 тыс. л.н.) характеризуется высоким участием покоящихся спор представителей рода *Chaetoceros*. Активное размножение видов этого рода в Японском море отмечается для современного зимне-весеннего фитопланктона (Захарков и др., 2012). Увеличение содержания представителей этого рода, а также океанических таксонов отражает начавшийся подъем уровня моря и приток вод из Тихого океана, причём не только через Цусимский пролив, но и впадающую в это время через пролив Цугару ветвь течения Оясио (Oba et al., 1991). В палеосообществах встречены также таксоны, которые характеризуют сезонную сукцессию – *Thalassiosira antarctica*→*Chaetoceros* ssp.→*Rhizosolenia hebetata* (Tsukazaki et al., 2013), что может свидетельствовать о более выраженных промежуточных сезонах года (весна, осень). Температура поверхностных вод по-прежнему оставалась ниже современной, а солёность несколько понизилась по сравнению с предыдущим периодом. ДЗ 3 (15,8–13,2 тыс.л.н.) отмечена самыми высокими показателями холодноводной пелагической *R. hebetata*. Скорее всего, хотя температура поверхностных вод была низкой, их солёность несколько увеличилась по сравнению с предыдущим временным интервалом. Отличительной особенностью ДЗ 4 (13,2–11,3 тыс.л.н.) является высокая доля участия сублиторальной *Paralia sulcata*, а также сублиторальных бентосных таксонов (*Cocconeis scutellum*, *Diploneis smithii* и др.) и пресноводных диатомей. Морские воды постепенно затапливали участки шельфа, осушенные во время LGM, увеличивая площади мелководий в заливе Петра Великого, где активно стали развиваться сублиторальные диатомей. Во время молодого дриаса (YD) усилилось влияние зимнего муссона, ветры которого стали выносить в глубоководную часть моря прибрежные льды с прикреплёнными к нижней их поверхности створками сублиторальных видов. В ДЗ 5 (11,3–10,1 тыс.л.н.) несколько увеличивается содержание термофильных неритических *Thalassionema frauenfeldii* и океанического *Coscinodiscus radiatus*. Эти данные отражают незначительное повышение температуры поверхностных вод, которое последовало за холодным YD. Для ДЗ 6 (10,1–5,8 тыс.л.н.) характерно резкое снижение содержания *P. sulcata* и увеличение *R. hebetata* (около 8,2 тыс.л.н.). Эти особенности, а также рост доли комплекса *Thalassiosira eccentrica* и *Chaetoceros* ssp. можно рассматривать, как свидетельство постепенного повышения температуры и солёности поверхностных вод и приближение их к современным значениям. Для ДЗ 7 (5,8–0 тыс.л.н.) отмечено

увеличение участия океанических *Neodenticula seminae*, *C. radiatus* и др. С 4,8 тыс.л.н. устанавливается океанографический режим, характерный для современного Японского моря (Takei et al., 2002).

Диатомовые записи колонки LV53-29 представляют лишь косвенную информацию об изменении климата, отражая, прежде всего, изменения в океанографии моря, но, несомненно, вызванные глобальными палеоклиматическими колебаниями. Расположение места отбора колонки в северной части моря, отличающейся активным влиянием зимних муссонов, (Park et al., 2004), где холодные плотные воды формируют глубокую конвекцию (Talley et al., 2003), определяет сейчас и определяло в прошлом холодноводный характер диатомовой флоры. Как во время похолоданий, так и в периоды потеплений здесь преобладали холодноводные диатомеи; поэтому даже небольшое увеличение доли и видового разнообразия тепловодных диатомей можно рассматривать, как признак улучшения климата.

Работа выполнена в рамках госзадания ФНЦ Биоразнообразия ДВО РАН (№124012200182-1).

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

Список литературы

1. Глезер З.И., Жузе А.П., Макарова И.В., Прошкина-Лавренко А.И., Шешукова-Порецкая В.С. Диатомовые водоросли СССР (ископаемые и современные). Т.1. – Л.: Наука, 1974. – 403 с.
2. Жузе А.П. Стратиграфические и палеогеографические исследования в северо-западной части Тихого океана. – М: Изд-во Академии наук СССР, 1962. – 260 с.
3. Захарков С.П., Лобанов В.Б., Гордейчук Т.Н., Морозова Т.В., Штрайхерт Е.А. Пространственная изменчивость хлорофилла «а» и видовой состав фитопланктона в северо-западной части Японского моря в зимний период // Океанология. 2012. Т.52, №3. С. 381–391.
4. Evstigneeva T.A., Cherepanova M.V., Gorbarenko S.A., Shi X., Bosin A.A., Utkin I.V. Millennial-scale environmental changes in the northwestern Japan Sea during the last glacial cycle // Boreas. 2021. V.50, №4. P. 967–982. DOI: <https://doi.org/10.1111/bor.12484>
5. Ishiwatari R., Houtatsu M., Okada H. Alkenone-sea surface temperatures in the Japan Sea over the past 36 kyr: warm temperatures at the last glacial maximum // Organic Geochemistry. 2001. V.32. P. 57–67. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0146-6380\(00\)00151-0](https://doi.org/10.1016/S0146-6380(00)00151-0)
6. Minoura K., Akaki K., Nemoto N., Tsukawaki S., Nakamura T. Origin of deep water in the Japan Sea over the last 145 kyr. // Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology. 2012. V.339–341. P. 25–38.
7. Oba T., Kato M., Kitazato H., Koizumi I., Omura A., Sakai T., Takayama T. Paleoenvironmental changes in the Japan Sea during the last 85,000 years. // Paleoceanography and Paleoclimatology. 1991. V.6. P. 499–518.
8. Park K.-A., Chung J.Y., Kim K. Sea surface temperature fronts in the East (Japan) Sea and temporal variations // Geophysical Research Letters. 2004. V.31. ID L07304. DOI: <https://doi.org/10.1029/2004GL019424>
9. Takano H. Bacillariophyceae // Fukuyo Ya (ed.). Red Tides Organisms in Japan – An Illustrated Taxonomic Guide. – Tokyo: Uchida Rokakuho, 1990. – P. 180–181.
10. Takei T., Minoura K., Tsukawaki S., Nakamura T. Intrusion of a branch of the Oyashio Current into the Japan Sea during the Holocene // Paleoceanography. 2002. V.17, №3. P. 11-1–11-10. DOI: <https://doi.org/10.1029/2001PA000666>
11. Talley L.D., Lobanov V., Ponomarev V., Salyuk A., Tishchenko P., Zhabin I. Deep convection and brine rejection in the Japan Sea // Geophysical Research Letters. 2003. V.30, №4. ID 1159. DOI: <https://doi.org/10.1029/2002GL016451>
12. Tsukazaki C., Ishii K.-I., Saito R., Matsuno K., Yamaguchi A., Imai I. Distribution of viable diatom resting stage cells in bottom sediments of the eastern Bering Sea shelf // Deep-Sea Research II. 2013. V.94. P. 22–30. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.dsr2.2013.03.020>
13. Zhang W., Wu J., Wang Y., Wang Y., Cheng H., Kong X., Duan F. A detailed East Asian monsoon history surrounding the ‘Mystery Interval’ derived from three Chinese speleothem records // Quaternary Research. 2014. V.82. P. 154–163. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.yqres.2014.01.010>

Статья поступила в редакцию 18.06.2025; поступила после доработки 19.08.2025; принята к публикации 28.08.2025

Сведения об авторе

Черепанова Марина Валерьевна – к.г.-м.н., с.н.с., ФНЦ Биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии ДВО РАН, Россия, Владивосток (FSC of the East Asia Terrestrial Biodiversity FEB RAS, Russia, Vladivostok); cherepanova@biosoil.ru; ORCID – <https://orcid.org/0000-0002-6530-0093>; SPIN-код 4854-6190.

Корреспондентский адрес: Россия, 690022, Владивосток, пр. 100-летия Владивостока, д. 159, ФНЦ Биоразнообразия ДВО РАН, тел. (423) 2-310-410.

Diatom record of environmental changes in the northwest Japan Sea during the last deglaciation

Marina V. Cherepanova

FSC of the East Asia Terrestrial Biodiversity FEB RAS (Russia, Vladivostok)

The environmental changes in the northwestern Japan Sea during the 21,0 ka were reconstructed from diatom data. A slight increase in the percentage of sublittoral benthic species indicates a decrease in sea level from 21,0 to 16,6 ka, which corresponds to the Last Glacial Maximum. The low sea level resulted in different patterns of marine circulation and coastal currents directions, compared to modern conditions. The high percentage of sublittoral planktonic diatoms reflects the gradual rise in sea level during the Bølling and Younger Dryas. The increase in oceanic diatom proportions during the Holocene indicates an influx of Pacific waters through both the Tsushima and Tsugaru Straits. During warming periods, an increase in relatively warm-water oceanic diatoms was observed. These studies have demonstrated a clear response of diatoms to climate and sea level changes during the Late Pleistocene and Holocene.

Key words: Diatoms; bottom sediments; Pleistocene; Holocene; Japan Sea

References

1. Glezer Z.I., Zhuse A.P., Makarova I.V., Proshkina-Lavrenko A.I., Sheshukova-Poretskaya V.S. Diatoms of the USSR (fossil and modern). V.1. Nauka, Leningrad, 1974. 403 p. (In Russ.)
2. Zhuse A.P. Stratigraphic and paleogeographic studies in the Northwestern Pacific Ocean. Moscow: Publishing House of the USSR Academy of Sciences, 1962. 260 p. (In Russ.)
3. Zakharkov S.P., Lobanov V.B., Gordeichuk T.N., Shtraikhert E.A., Morozova T.V. Spatial variability of the chlorophyll a and the specific structure of the phytoplankton in the northwestern part of the Sea of Japan during the winter period. *Oceanology*. 2012. T.52. №3. P. 354–363. (In Russ.)
4. Evstigneeva T.A., Cherepanova M.V., Gorbarenko S.A., Shi X., Bosin A.A., Utkin I.V. Millennial-scale environmental changes in the northwestern Japan Sea during the last glacial cycle. *Boreas*. 2021. V.50, №4. P. 967–982. DOI: <https://doi.org/10.1111/bor.12484>
5. Ishiwatari R., Houtatsu M., Okada H. Alkenone-sea surface temperatures in the Japan Sea over the past 36 kyr: warm temperatures at the last glacial maximum. *Organic Geochemistry*. 2001. V.32. P. 57–67. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0146-6380\(00\)00151-0](https://doi.org/10.1016/S0146-6380(00)00151-0)
6. Minoura K., Akaki K., Nemoto N., Tsukawaki S., Nakamura T. Origin of deep water in the Japan Sea over the last 145 kyr. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 2012. V.339–341. P. 25–38.
7. Oba T., Kato M., Kitazato H., Koizumi I., Omura A., Sakai T., Takayama T. Paleoenvironmental changes in the Japan Sea during the last 85,000 years. *Paleoceanography and Paleoclimatology*. 1991. V.6. P. 499–518.
8. Park K.-A., Chung J.Y., Kim K. Sea surface temperature fronts in the East (Japan) Sea and temporal variations. *Geophysical Research Letters*. 2004. V.31. ID L07304. DOI: <https://doi.org/10.1029/2004GL019424>
9. Takano H. Bacillariophyceae. In: ukuyo Ya (Ed.). Red Tides Organisms in Japan – An Illustrated Taxonomic Guide. Uchida Rokakuho, Tokyo, 1990. P. 180–181.

10. Takei T., Minoura K., Tsukawaki S., Nakamura T. Intrusion of a branch of the Oyashio Current into the Japan Sea during the Holocene. *Paleoceanography*. 2002. V.17, №3. P. 11-1–11-10. DOI: <https://doi.org/10.1029/2001PA000666>. DOI:10.1029/2001PA000666

11. Talley L.D., Lobanov V., Ponomarev V., Salyuk A., Tishchenko P., Zhabin I. Deep convection and brine rejection in the Japan Sea // *Geophysical Research Letters*. 2003. V.30, №4. ID 1159. DOI: <https://doi.org/10.1029/2002GL016451>

12. Tsukazaki C., Ishii K.-I., Saito R., Matsuno K., Yamaguchi A., Imai I. Distribution of viable diatom resting stage cells in bottom sediments of the eastern Bering Sea shelf. *Deep-Sea Research II*. 2013. V.94. P. 22–30. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.dsr2.2013.03.020>

13. Zhang W., Wu J., Wang Y., Wang Y., Cheng H., Kong X., Duan F. A detailed East Asian monsoon history surrounding the ‘Mystery Interval’ derived from three Chinese speleothem records. *Quaternary Research*. 2014. V.82. P. 154–163. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.yqres.2014.01.010>

ССЫЛКА НА СТАТЬЮ:

Черепанова М.В. Диатомовая летопись изменений среды северо-западной части Японского моря в период последней дегляциации // Вопросы современной альгологии. 2025. № 1 (37). P. 337–341. URL: <http://algology.ru/2166>

Cherepanova M.V. Diatom record of environmental changes in the northwest Japan Sea during the last deglaciation. *Voprosy sovremennoi algologii (Issues of modern algology)*. 2025. № 1 (37). P. 337–341. URL: <http://algology.ru/2166>

DOI – [https://doi.org/10.33624/2311-0147-2025-1\(37\)-337-341](https://doi.org/10.33624/2311-0147-2025-1(37)-337-341); EDN – GMGGXZ

Диатомовые водоросли в донных отложениях меромиктических озер Карельского берега Белого моря

Diatoms in bottom sediments of the meromictic lakes located at the Karelian coast of the White Sea

Шилова О.С.

Olga S. Shilova

*Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,
географический факультет (Москва, Россия)*

Изучен состав диатомовых ассоциаций в поверхностном слое донных отложений меромиктических водоемов, находящихся на разных стадиях изоляции от моря. Особенности накопления диатомей в осадках определяются существованием в озере сообществ, адаптированных к разной солености, и наличием анаэробной зоны. Наблюдается зональность видового состава или, при совпадении положения галоклина и редокс-перехода, равномерное распределение диатомей в поверхностных отложениях. Доминируют мелкоклеточные виды семейства *Fragilariaceae*, при этом их состав меняется по мере изоляции водоема.

Ключевые слова: диатомовые водоросли; меромиктические озера; изоляционные водоемы; донные отложения

Меромиктические озера, отличающиеся резкими вертикальными градиентами физико-химических параметров среды и наличием аноксии, рассматриваются как этап эволюции изоляционных водоемов (Краснова, Мардашова, 2020). Для них характерно развитие специфической биоты, остатки которой, в том числе створки диатомовых водорослей, интегрируются в донных отложениях водоемов, формируя палеоархивы, используемые при реконструкции перемещения береговой линии моря методом изоляционных бассейнов. В разрезах донных отложений поднятых озер стадия меромиктического озера представлена тонкими слоистыми органогенными илами, длительность ее по оценкам может оставлять несколько сотен лет (Субетто и др., 2014). Поскольку формированию субфоссильных диатомовых ассоциаций в меромиктических озерах до настоящего времени уделялось крайне мало внимания основными задачами исследования были: 1) характеристика пространственного распределения диатомей в поверхностных отложениях современных меромиктических озер, 2) определение особенностей изменений диатомовых ассоциаций по мере изоляции водоемов от моря и выявление критериев, которые могут быть использованы в палеолимнологических исследованиях. В 2018 г. исследованы меромиктические водоемы в районе Беломорской биологической станции МГУ имени Н.А. Перцова (Краснова и др., 2016), находящихся на разных стадиях изоляции от моря.

Оз. Кисло-Сладкое (66°32'54" с.ш., 33°08'05" в.д.) – полуизолированная лагуна с устойчивой меромиксией с выраженным годовым циклом и квазипериодическим нарушением во время «промывок» водоема морской водой в осенне-зимний период (раз в 1-3 года), что определяет существенные изменения положения верхней границы сероводородного слоя (4,0-0,5 м). Поступление морской воды регулярное во время сизигийных приливов, кроме периода ледостава. Озеро имеет опресненный поверхностный слой (миксолимнион) мощностью 0,5 м, соленость в котором изменяется в широком диапазоне (4-28‰), и монолимнион соленостью 21-29,5‰, разделенные узким галоклином.

Оз. Большие Хрусломены (66°42'59" с.ш., 32°51'29" в.д.) – крупный меромиктический водоем сложной конфигурации со стабильной круглогодичной стратификацией. В настоящее время наблюдаются регулярное поступление в водоем морской воды во время приливов путем фильтрации через дамбу, сложенную крупнообломочным материалом. Солоноватоводный (4-8 ‰) миксолимнион имеет мощность около 2 м, на глубине 2-4 м соленость резко возрастает (галоклин), ниже 6 м наблюдается постоянная соленость в 22-24 ‰, аналогичная морской. Верхняя граница бескислородной зоны расположена на глубине от 2,75 м в конце периода ледостава до 4-4,5 м в летне-осенний период.

Оз. Еловое (66°28'53" с.ш., 33°16'50" в.д.) и оз. Трехцветное (66°35'53" с.ш., 32°59'97" в.д.) – меромиктические водоемы со стабильной в течение всего года стратификацией и крайне редкими (1 раз за 15 лет наблюдений) забросами морской воды при сочетании сизигийного прилива и штормового нагона. Оз. Еловое имеет пресный (0,1-0,4 ‰) поверхностный слой толщиной 0,5-1 м и соленый слой (16-25 ‰), разделенные узким галоклином, и редокс-переход на глубине 3,5 м. В оз. Трехцветном пресный миксолимнион располагается до глубины 1 м, соленый (~22 ‰) анаэробный мониолимнион начинается с глубины 1,5 м, между ними находится узкий хемоклин с резкими физико-химическими градиентами.

Пробы поверхностных донных отложений отобраны дночерпателем Экмана-Берджи вдоль линейных профилей от прибрежной мелководной части водоема до максимальных глубин. Диатомовый анализ выполнен для верхних 1-1,5 см осадка. Определение диатомей проводилось в СМ Axiostar Plus (Zeiss) при увеличении $\times 1000$ раз. В каждой пробе определялось не менее 500 створок и рассчитывалась концентрация диатомей в 1 г воздушно-сухого осадка. Также подсчитывались цисты золотистых водорослей и определялось значение C/D-индекса (Smol, 1985). Названия таксонов даны в соответствии с (Guiry, Guiry, 2025).

В оз. Кисло-Сладком во всех образцах, кроме глубин 1,2-2,8 м в западной части озера доминируют мелкие колониальные виды семейства *Fragilariaceae* (*Nanofrustulum sopotensis*, *Pseudostaurosira* cf. *elliptica*, *P. subsalina*, *Staurosirella guenter-grassii*). Для мелководья (0,7-1 м) характерно низкое таксономическое разнообразие и отсутствие специфического комплекса видов в опресненном слое из-за сильной изменчивости солености. На средних глубинах (1,2-2,8 м) наблюдается выраженная асимметрия состава диатомовых ассоциаций, связанная с различными донными грунтами и гидродинамическим режимом: в западной части озера отмечаются снижение концентрации диатомей в поверхностных осадках, минимальная доля видов сем. *Fragilariaceae* и увеличение таксономического разнообразия за счет развития крупноклеточного эпипелона, тогда как в восточной части профиля эти тенденции выражены значительно слабее, доминируют виды семейства *Fragilariaceae*, характерны виды, имеющие одиночные клетки, прикрепленные к частицам грунта или камням (эпипсаммон). Для центральной котловины с максимальными глубинами характерны низкое видовое разнообразие, повышенная доля планктонного вида *Cyclotella choctawhatcheeana* и сходство с мелководными диатомовыми ассоциациями.

В оз. Б. Хусломены можно выделить 4 характерных комплекса. На мелководье в зоне опресненного миксолимниона развивается большое количество солоноватоводных и пресноводно-солоноватоводных видов: колониальные *Opephora mutabilis*, *Staurosira* aff. *venter*, *Stauroforma exiguiiformis* и подвижные свободно живущие *Navicymbula pusilla*, *Mastogloia* spp., *Halamphora* spp. и др. На глубинах 2,5-3,5 м, соответствующих верхней части галоклина выше редокс-перехода, массового развития достигают мелкоклеточные виды, относимые к эпипсаммону: *Karayevia* cf. *amoena*, *Opephora mutabilis*, *Staurosira* aff. *venter*. В отложениях в области редокс-перехода и непосредственно ниже ее (4-5 м) заметную часть диатомовых ассоциаций составляют донные подвижные виды с крупными клетками: *Campylodiscus clypeus*, *Amphora commutata*, *Nitzschia obtusa*, *Oestrupia ergadensis*, *Gyrosigma balticum* и др. В наиболее глубокой части озера значительную роль играют планктонная *Cyclotella choctawhatcheeana* и меропланктонная *Diatoma tenuis*, около 50-60 % створок приходится на виды диатомей, характерные для миксолимниона.

Состав и структура диатомовых ассоциаций в поверхностных осадках оз. Елового существенно различаются для разных интервалов глубин. Осадки прибрежной части озера до глубины 1 м, соответствующие пресному поверхностному слою, характеризуются массовым развитием мелких колониальных видов семейства *Fragilariaceae*: пресноводных *Stauroforma exiguiiformis*, *Pseudostaurosira brevistriata*, *Staurosira* aff. *venter*, а также пресноводно-солоноватоводного *Nanofrustulum sopotensis*. В области соленого слоя выше хемоклина также в массе представлены виды семейства *Fragilariaceae*, но их видовой состав становится более разнообразным и включает мезогаобные виды (например, *Staurosirella guenter-grassii*). Без учета семейства *Fragilariaceae* в составе диатомовых ассоциаций прибрежной зоны преобладают пресноводные виды, а ниже галоклина абсолютно доминируют морские и солоноватоводные виды. В наиболее глубокой части озера ниже редокс-перехода состав диатомовых ассоциаций смешанный и включает виды обеих вышележащих зон.

В осадках оз. Трехцветного состав доминантных и субдоминантных видов диатомей практически идентичен во всех пробах. В массе встречаются виды семейства *Fragilariaceae*: *Stauroforma exiguiiformis*, *Nanofrustulum sopotensis*, *Staurosira* aff. *venter*. В составе субдоминантов преобладают пресноводно-солоноватоводные и солоноватоводные виды: *Ctenophora pulchella*, *Amphora copulata*, *Mastogloia smithii*, *Navicula rhynchotella* и др.

Особенности накопления диатомей в поверхностных осадках меромиктических водоемов определяются сосуществованием в озере сообществ диатомовых водорослей, адаптированных к разной солености, и наличием анаэробной зоны, непригодной для их обитания. В исследованных озерах наблюдается зональность состава диатомовых ассоциаций в поверхностных осадках: выделяются (1) прибрежная область, соответствующая опресненному миксолимниону, (2) область средних глубин – галоклину и аэробной части монолимниона, и (3) центральная котловина ниже редокс-перехода. Исключением является оз. Трехцветное, в котором при совпадении положения галоклина и редокс-перехода выпадает средняя зона и наблюдается равномерное распределение диатомей в поверхностных отложениях. Различия в составе диатомей в поверхностных отложениях приведут к тому, что при изоляции водоема на разных глубинах в осадочных толщах сформируются последовательности, отличающиеся друг от друга как составом, так и временем смены диатомовых ассоциаций.

Отмечено сходство видового состава диатомей поверхностных отложений прибрежной части и максимальных глубин с постоянно анаэробными условиями. Значительно больший вклад диатомей миксолимниона относительно аэробной части монолимниона в формирование диатомовых ассоциаций отложений анаэробной области, обусловлен несколькими факторами. Учитывая геометрию озерных котловин,

на меньшие глубины, как правило, приходится большая часть площади акватории озера, что определяет и большую суммарную продукцию биоты этой области. Мелкоклеточные колониальные виды, характерные для прибрежных отложений, могут развиваться и в планктоне (Иванова и др., 2022), а также входят в состав альго-бактериальных матов (Witkowski, 1990, Witkowski et al., 2000). Активное ветровое перемешивание в миксолимнионе приводит к попаданию в водную толщу и разносу по акватории озера как клеток диатомей, так и макрофитов и альго-бактериальных матов (Краснова, 2024).

Во всех озерах в составе диатомовых ассоциаций доминируют мелкоклеточные виды семейства *Fragilariaceae*, массово развивающиеся в составе перифитона мелководья и в планктоне при ослаблении гидродинамического режима (Busse, Snoeijjs, 2003) уже на начальных стадиях изоляции водоема. Состав группы различен для водоемов, находящихся на различной стадии изоляции и меняется по мере опреснения поверхностного слоя водоема.

Во всех изученных водоемах, особенно в озерах, находящихся на более поздних стадиях изоляции, донные отложения содержат большое количество таксономически разнообразных цист золотистых водорослей (до 30 млн. цист/г). При этом ниже редокс-перехода наблюдается существенное (в несколько раз) увеличение как концентраций цист в отложениях, так и значений C/D-индекса. Исследование современных сообществ протистов показало преобладание *Chrysophyceae* в миксолимнионе и верхней части хемоклина оз. Трехцветного (Миндолина и др., 2024). Поскольку для золотистых водорослей выявлена отрицательная зависимость разнообразия и обилия от солености водоема (например, Cumming et al., 1993, Firsova et al., 2015), одновременное наличие таких характеристик, как высокие концентрации цист золотистых водорослей и присутствие солоноватоводных и морских видов в составе диатомовых ассоциаций, вероятно, можно рассматривать как индикационный признак меромиктической стадии изоляционного водоема.

Работа выполнена в рамках госзадания НИЛ геоэкологии Севера географического факультета МГУ имени М.В.Ломоносова (№ 121051100167-1).

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

Список литературы

1. Иванова Д.А., Краснова Е.Д., Воронов Д.А., Радченко И.Г. Сезонная динамика альгофлоры стратифицированного озера Кисло-Сладкое, частично изолированного от Белого моря // *Океанология*. 2022. Т.62. № 2. С. 1–15.
2. Краснова Е.Д. Маты из нитчатых водорослей в лагунах, отделяющихся от Белого моря: неучтенный элемент экосистемы // *LXXVII Герценовские чтения. География: развитие науки и образования: Мат. Межд. науч.-практич. конф. (СПб., 22–26 апреля 2024 г.)* Т. I. – СПб., 2024. – С. 264–268.
3. Краснова Е.Д., Воронов Д.А., Демиденко Н.А., Кокрятская Н.М., Пантюлин А.Н., Рогатых Т.А., Самсонов Т.Е., Фролова Н.Е., Шапоренко С.И. К инвентаризации реликтовых водоемов, отделяющихся от Белого моря. // *Тр. Беломорской Биостанции МГУ*. 2016. Т.12. С. 211–241.
4. Краснова Е.Д., Мардашова М.В. Как морской залив превращается в озеро // *Природа*. 2020. №1. С. 16–27. DOI: <https://doi.org/10.7868/S0032874X20010020>
5. Миндолина Ю.В., Краснова Е.Д., Игнатенко М.Е., Воронов Д.А., Плотников А.О. Видовое богатство и вертикальное распределение протистов в меромиктическом озере Трехцветное (Кандалакшский залив, Белое море) // *LXXVII Герценовские чтения. География: развитие науки и образования: Мат. Межд. науч.-практич. конф. (СПб., 22–26 апреля 2024 г.)* Т. I. – СПб., 2024. – С. 298–301.
6. Субетто Д.А., Шевченко В.П., Лудикова А.В., Кузнецов Д.Д., Сапелко Т.В., Лисицын А.П., Евзеров В.Я., Беек П. ван, Суо М., Субетто Г.Д. Хронология изоляции озер Соловецкого архипелага и скорости современного озерного осадконакопления. // *Докл. АН*. 2012. Т.446, №2. С. 183–190.
7. Busse S., Snoeijjs P. Gradient responses of diatom communities in the Bothnian Bay, northern Baltic Sea // *Phycologia*. 2003. V.42(5). P. 451–464. DOI: [10.1127/0029-5035/2002/0074-0501](https://doi.org/10.1127/0029-5035/2002/0074-0501)

8. Cumming B.F., Wilson S.E., Smol J.P. Paleolimnological potential of chrysophyte cysts and scales and of sponge spicules as indicators of lake salinity // *Int. J. Salt Lake Res.* 1993. V.2. P. 87–92.
9. Firsova A.D., Bessudova A.Yu., Sorokovikova L.M., Tomberg I.V., Likhoshway Y.V. The Diversity of Chrysophycean Algae in an Arctic Zone of River and Sea Water Mixing, Russia // *American Journal of Plant Sciences*. 2015. V.6. P. 2439–2452. DOI: <http://dx.doi.org/10.4236/ajps.2015.615246>
10. Guiry M.D., Guiry G.M. AlgaeBase. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway. 2025. <http://www.algaebase.org> (дата обращения: 30.05.2025).
11. Smol J.P. The ratio of diatom frustules to chrysophycean statospores: A useful paleolimnological index // *Hydrobiologia*. 1985. V.123. P. 199–204.
12. Witkowski A. Fossilization processes of the microbial mat developing in clastic sediments of Puck Bay (southern Baltic Sea, Poland) // *Acta. Geol. Pol.* 1990. V.40. P. 3–27.
13. Witkowski A., Lange-Bertalot H., Metzeltin D. 2000: Diatom Flora of Marine Coasts I. – Ruggell: A.R.G. Gantner, 2000. – 925 p.

Статья поступила в редакцию 18.06.2025; поступила после доработки 22.08.2025; принята к публикации 28.08.2025

Сведения об авторах

Шилова Ольга Сергеевна – к.г.н., н.с., Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, географический факультет, Россия, Москва (Lomonosov Moscow State University, Russia, Moscow), НИ Лаборатория геоэкологии Севера; shilova@geogr.msu.ru; ORCID – <https://orcid.org/0000-0002-2383-2438>; SPIN-код автора: 3491-9419.

Корреспондентский адрес: Россия, 119234, Москва, Ленинские горы, д. 1, Географический факультет МГУ, тел. (495) 939-17-63.

Diatoms in bottom sediments of the meromictic lakes located at the Karelian coast of the White Sea

Olga S. Shilova

Lomonosov Moscow State University (Russia, Moscow)

The diatom associations in the surface layer of bottom sediments of meromictic lakes at different stages of isolation from the sea was studied. The pattern of diatom accumulation in sediments are determined by the existence of communities adapted to different salinity and the presence of an anaerobic zone. There is a zoning of the species composition or, if the position of the halocline and the redox transition coincide, a uniform distribution of diatoms in the surface sediments. Small-celled Fragilariaceae species dominate, while their composition changes with the isolation.

Key words: diatoms; meromictic lakes; isolation basins; bottom sediments

References

1. Busse S., Snoeijs P. Gradient responses of diatom communities in the Bothnian Bay, northern Baltic Sea. *Phycologia*. 2003. V. 42(5). P. 451–464. DOI: 10.1127/0029-5035/2002/0074-0501
2. Cumming B.F., Wilson S.E., Smol J.P. Paleolimnological potential of chrysophyte cysts and scales and of sponge spicules as indicators of lake salinity. *Int. J. Salt Lake Res.* 1993. V.2. P. 87–92.
3. Firsova A.D., Bessudova A.Yu., Sorokovikova L.M., Tomberg I.V., Likhoshway Y.V. The Diversity of Chrysophycean Algae in an Arctic Zone of River and Sea Water Mixing, Russia. *American Journal of Plant Sciences*. 2015. V.6. P. 2439–2452. DOI: <http://dx.doi.org/10.4236/ajps.2015.615246>
4. Guiry M.D., Guiry G.M. AlgaeBase. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway. 2025. <http://www.algaebase.org> (date: 30.05.2025).
5. Ivanova D.A., Krasnova E.D., Voronov D.A., Radchenko I.G. Seasonal Dynamics of Algal Flora in the Stratified Kislo-Sladkoe Lake Partially Separated from the White Sea. *Oceanology*. 2022. V.62. P. 207–220. <https://doi.org/10.1134/S0001437022020084>
6. Krasnova E.D. Mats of filamentous algae in lagoons separating from the White Sea: an unaccounted-for element of the ecosystem // LXXVII Herzen Readings. Geography: development of science and education:

Mat. International Scientific and Practical Conference (St. Petersburg, April 22–26, 2024) T. I. St. Petersburg, 2024. P. 264–268. (In Russ.)

7. Krasnova E.D., Mardashova M.V. How a sea bay turns into a lake. *Priroda*. 2020. №1. P. 16–27. DOI: <https://doi.org/10.7868/S0032874X20010020> (In Russ.)

8. Krasnova E.D., Voronov D.A., Demidenko N.A., Kokryatskaya N.M., Pantyulin A.N., Rogatykh T.A., Samsonov T.E., Frolova N.E., Shaporenko S.I. Inventory of relict reservoirs separating from the White Sea. *Tr. of the Belomorskaya Biostation of Moscow State University*. 2016. V.12. P. 211–241. (In Russ.)

9. Mindolina Yu.V., Krasnova E.D., Ignatenko M.E., Voronov D.A., Plotnikov A.O. Species richness and vertical distribution of protists in the meromictic Lake Tricolor (Kandalaksha Bay, White Sea). LXXVII Herzen Readings. Geography: development of science and education: Mat. International Scientific and Practical Conference (St. Petersburg, April 22–26, 2024) T. I. St. Petersburg, 2024. P. 298–301. (In Russ.)

10. Smol J.P. The ratio of diatom frustules to chrysophycean statospores: A useful paleolimnological index. *Hydrobiologia*. 1985. V.123. P. 199–204.

11. Subetto D.A., Shevchenko V.P., Lisitsyn A.P., Ludikova A.V., Kuznetsov D.D., Sapelko T.V., Evzerov V.Y., Van Beek P., Souhaut M., Subetto G.D. Chronology of isolation of the Solovetskii archipelago lakes and current rates of lake sedimentation. *Doklady Earth Sciences*. 2012. T.446, №1. P. 1042–1048. (In Russ.)

12. Witkowski A. Fossilization processes of the microbial mat developing in clastic sediments of Puck Bay (southern Baltic Sea, Poland). *Acta. Geol. Pol.* 1990. V.40. P. 3–27.

13. Witkowski A., Lange-Bertalot H., Metzeltin D. Diatom Flora of Marine Coasts I. A.R.G. Gantner, Ruggell, 2000. 925 p.

ССЫЛКА НА СТАТЬЮ:

Шилова О.С. Диатомовые водоросли в донных отложениях меромиктических озер Карельского берега Белого моря // Вопросы современной альгологии. 2025. № 1 (37). P. 342–347. URL: <http://algology.ru/2176>

Shilova O.S. Diatoms in bottom sediments of the meromictic lakes located at the Karelian coast of the White Sea. *Voprosy sovremennoi algologii (Issues of modern algology)*. 2025. № 1 (37). P. 342–347. URL: <http://algology.ru/2176>

DOI – [https://doi.org/10.33624/2311-0147-2025-1\(37\)-342-347](https://doi.org/10.33624/2311-0147-2025-1(37)-342-347); EDN – HSSDAM

Диатомовые водоросли как индикаторы трансгрессивно-регрессивных циклов Японского моря в среднем голоцене

Diatom algae as indicators of transgressive-regressive cycles in the Sea of Japan in the Middle Holocene

Элбакидзе Е.А.

Ekaterina A. Elbakidze

Дальневосточный геологический институт – ДВГИ ДВО РАН (Владивосток, Россия)

Изучены диатомовые водоросли из колонки ТБ-5 (оз. Птичье, Южное Приморье), которые представлены 135 видами и внутривидовыми таксонами. На основе изменения таксономического состава и экологической структуры диатомовых сообществ было выделено три диатомовых зоны, соответствующие разным этапам голоценового трансгрессивно-регрессивного цикла Японского моря. Установлена реакция диатомей на изменения гидрологического режима озера в среднем голоцене, в условиях завершающей стадии трансгрессии и последовавшей за ней регрессии моря.

Ключевые слова: диатомовые водоросли; трансгрессии; регрессии; Японское море; голоцен; Южное Приморье

В Приморье насчитывается около 300 озер, но особый интерес вызывают именно прибрежные водоемы, поскольку они могли зафиксировать этапы трансгрессии и регрессии Японского моря. Важную роль в исследованиях о состоянии водоёмов играют диатомовые водоросли, чутко реагирующие на изменения экологических параметров, таких как солёность, глубина обитания, гидрологическая активность и др. Изучение современных диатомей озера Птичье, показало, присутствие, помимо пресноводных таксонов, солоноватоводно-морских – *Cocconeis scutellum*, и морских форм – *Tryblionella granulata*, *Tabularia fasciculata*, *Cocconeis distans* (Журкина, 1972). Эти же виды обнаружены нами при изучении диатомей в голоценовых осадках озера, очевидно, что море воздействует на озеро.

Целью исследования являлось: на основе изменений в ископаемых сообществах диатомей из колонки ТБ-5, поднятой в северо-восточной части оз. Птичье, выявить реакцию озёрной экосистемы на ритмику колебаний уровня Японского моря в среднем голоцене. Оз. Птичье находится на побережье Японского моря и связано с ним системой проток, во время половодий обменивается водой с рекой Туманной, крупнейшей в бассейне Японского моря (Ганешин, 1957). По раковинам моллюсков *Crassostrea gigas* и *Anadara inaequalis* получены радиоуглеродные датировки, свидетельствующие о том, что отложения накапливались в среднем голоцене (Микишин и др., 2008).

Методом диатомового анализа было исследовано 40 проб. Техническую обработку образцов проводили по стандартной методике (Прошкина-Лавренко, 1974).

Графическое оформление распределения таксонов и экологических групп по разрезу было выполнено с помощью программы TILIA (Grimm, 1987). С целью обобщения данных о изменениях в палеосообществах диатомей и подтверждения выделения зональных комплексов и палеосообществ использовался метод главных компонент (РСА) (Элбакидзе, Романова, 2024).

Изученная диатомовая флора оз. Птичье представлена 135 видами и внутривидовыми таксонами. Анализ изменений процентного содержания таксонов и представителей экологических групп позволил выделить три диатомовых зоны и четыре подзоны, фиксирующие этапы развития озера.

В интервале 1330–1005 см выделена tDZ1 зона, ее особенностью является преобладание до 60% таксонов морской сублиторально бентосной группы, среди которых наибольшую численность имеют представители рода *Diploneis* – *D. smithii* и *D. subcincta*. Эти виды относятся к эпипелитам, обитающим на илистых грунтах морских прибрежных водах, в приливно-отливной зоне, характеризующейся резкими изменениями солености, а с повышением столпа воды и увеличением соматического давления на створки (Ольштынская, 2014). В формировании комплекса участвуют также и переотложенные древние диатомей, доминант – пресноводная *A. praegranulata*. Изменения участия представителей морской сублиторально бентосной и морской неритической групп, а также отдельных доминирующих таксонов позволили выделить в интервале зоны tDZ1, две подзоны.

Осадки tDZ1.1 подзоны, выделенной в интервале 1330–1190 см, отражают палеоэкологические обстановки фиксирующие доминирование группы сублиторальных бентосных видов, в которой наиболее разнообразен род *Diploneis*, а также присутствия спор рода *Chaetoceros* из морской неритической группы, что указывает на образование осадков во время ещё не самого высокого стояния уровня моря в период трансгрессии и более прохладного климата. При этом происходило активное перемешивание прибрежных вод, которое и провоцировало развитие представителей рода *Chaetoceros*.

Тенденция повышения уровня моря отражается в подзоне tDZ1.2 (1190–1005 см), поскольку, формирование данных осадков могло происходить во время активных гидродинамических процессов в бассейне озера в конце голоцена, на что указывают изменения в соотношении доминирования морских неритических и сублиторальных бентосных групп. Скорее всего, осадки данной подзоны зафиксировали начало морской трансгрессии.

В интервале 1005–460 см выделена зона tDZ2, характеризующаяся самыми высокими показателями обилия таксонов морской неритической группы до 70%, в которой преобладает *Actinopterychus senarius*, *Porosira glacialis*, активная вегетация, которой отмечается для ранневесеннего периода (Ольштынская, 2014). Изменения количества представителей морской неритической и солоноватоводно-планктонной групп, а также отдельных доминирующих таксонов позволили выделить в интервале зоны tDZ2, две подзоны.

Экологическая структура комплекса подзоны tDZ2.1 (1005–780 см) отражает переходный момент, фиксирующий тенденцию к потеплению и повышению уровня моря. На это указывает увеличение численности неритических таксонов и уменьшение участия сублиторально бентических форм. Выводы о палеообстановках подтверждаются также увеличением численности таксонов сублиторально-планктонной группы, с доминированием мезогалобной *O. aurita*, данный вид предпочитает прибрежные участки северных и дальневосточных морей России, а также опресненные бухты и эстуарии рек, впадающих в эти моря (Черепанова и др., 2013).

Экологическая структура подзоны tDZ2.2 (780–460 см) представлена преобладанием представителей морской неритической группы, доминанты — *A. senarius*, *P. glacialis* и северо-бореально океаническая *Thalassiosira tenera* (Прошкина-Лавренко, 1974). Рост планктонных и сублиторальных планктонных форм, отражает период климатического потепления, повышения уровня моря, изменения солености.

Увеличение разнообразия пресноводной группы за счет крупнотворчатых видов *Epithemia adnata*, *Aulacoseira praedistans*, *Pinnularia brevicostata* и отсутствие мелкостворчатых видов диатомей, может указывать на увеличение количества атмосферных осадков и разливе р. Туманной. Осадки подзоны фиксировали период морской трансгрессии.

В интервале 460–165 см выделена диатомовая зона tDZ3. Экологическая структура зоны указывает на понижение уровня моря, похолодание климата и увеличение воздействия речного стока на водоем. Отмечается снижение количества таксонов морской неритической группы и увеличение обилия сублиторальной бентосной группы. Постепенно снижается обилие таксонов пресноводной и переотложенной групп. В осадках зоны обнаружен солоноватоводный сублиторальный бентосный вид – *Terpsinoë americana*, являющийся тропическим эпифитом, обитающим в соленых прибрежных водах до 45° с. и ю.ш. (Alhonen et al., 1984). В осадках самой верхней части данной зоны отмечается один из самых низких показателей концентрации створок диатомей. Можно предположить, что осадки данной зоны фиксируют регрессию Японского моря.

Таким образом, установленная реакция диатомей, в результате трансгрессивно-регрессивной ритмики голоцена, позволила выделить основные этапы трансформации экосистемы палеоводоема. Зона tDZ1 свидетельствует о существовании мелководного полузакрытого залива, в который не проникали воды открытого моря формирование отложений данной зоны происходило во время начальной стадии морской трансгрессии во время среднего голоцена, о чем говорит доминирование морской сублиторально-бентосной группы. Осадки зоны tDZ2 сформировались во время существования открытого залива с повышенной волновой активностью, большей глубиной и соленостью вод, уровень моря в этот период достиг максимальной высоты за весь средний голоцен на данном участке побережья – +1 м. Изменения в составе диатомей, выразившиеся в резком снижении доли неритических видов и повышении участия сублиторальных бентосных таксонов (tDZ3), указывают на обмеление палеоводоема, присутствие в их составе тропического эпифита на хороший прогрев вод.

Работа выполнена в рамках госзадания ДВГИ ДВО РАН (№125033104606-3).

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

Список литературы

1. Ганешин Г.С. Геоморфология Приморья. – Л.: Госгеолтехиздат, 1957. – 105 с.
2. Журкина В.В. Первые данные о диатомовых водорослях озера лагунного типа Приморского края (Дальний Восток) // Новости систематики низших растений. Т.9. 1972. С. 17–19.
3. Микишин Ю.А., Петренко Т.И., Гвоздева И.Г., Попова А.Н., Кузьмин Я.В., Раков В.А., Горбаренко С.А. Голоцен побережья юго-западного Приморья // Научное обозрение. 2008. № 1. С. 8–27.
4. Олыштынская А.П. Диатомей и кокколитофориды в голоценовых экосистемах Прикерченского сектора Черного моря. Экосистемы, их оптимизация и охрана. Симферополь: ТНУ, 2014. – Вып. 11. С. 82–88.
5. Прошкина-Лавренко А.И. (ред.). Диатомовые водоросли СССР (ископаемые и современные). Т.1. – Л.: Наука, 1974. – 403 с.
6. Черепанова М.В., Лепская Е.В., Андерсон П., Ложкин А.В. Диатомовые водоросли из голоценовых осадков оз. Нерпичье (Камчатка) // Исследования водных биологических ресурсов Камчатки и Северо-западной части Тихого океана. 2013. Вып.31. С. 89–106.
7. Элбакидзе Е.А., Романова А.В. Использование метода главных компонент при интерпретации данных диатомового анализа голоценовых осадков оз. Птичь (Южное Приморье) // Вестник ДВО РАН, 2024. С. 124–135. DOI: <http://dx.doi.org/10.31857/S0869769824050086>
8. Alhonen P., Heino A., Tynni R. Über Vorkommen und Bedeutung von *Terpsinoë americana* (Bail.) Ralfs in den Ablagerungen des Litorinameeres // Bull. Geol. Soc. Finland. 1984. 56. Part 1–2. P. 117–133.
9. Grimm E.C. CONISS: a FORTRAN 77 program for stratigraphically constrained cluster analysis by the method of incremental sum of squares // Computers & Geosciences. 1987. V.13, №1. P. 13–35.

Статья поступила в редакцию 18.06.2025; поступила после доработки 19.08.2025; принята к публикации 28.08.2025

Сведения об авторе

Элбакидзе Екатерина Александровна – м.н.с., Дальневосточный геологический институт ДВО РАН, Россия, Владивосток (Far East Geological Institute, Far Eastern Branch, RAS, Russia, Vladivostok); ekato21@mail.ru; ORCID – <https://orcid.org/0009-0009-3241-4420>; SPIN-код 5793-8115.

Корреспондентский адрес: Россия, 690022, Владивосток, пр-т 100-летия Владивостока, д. 159, ДВГИ ДВО РАН, тел. (423) 231-87-50

Diatom algae as indicators of transgressive-regressive cycles in the Sea of Japan in the Middle Holocene

Ekaterina A. Elbakidze

Far East Geological Institute, Far Eastern Branch, RAS (Russia, Vladivostok)

Diatoms from column TB-5 (Lake Ptichye, South Primorye) were studied, representing 135 species and intraspecific taxa. Based on changes in the taxonomic composition and ecological structure of diatom communities, three diatom zones were identified, corresponding to different stages of the Holocene transgressive-regressive cycle of the Sea of Japan. The reaction of diatoms to changes in the hydrological regime of the lake in the Middle Holocene, during the final stage of transgression and the subsequent regression of the sea, was established.

Key words: Diatoms; transgressions; regressions; Sea of Japan; Holocene; Southern Primorye

References

1. Alhonen P., Heino A., Tynni R. Über Vorkommen und Bedeutung von *Terpsinoe americana* (Bail.) Ralfs in den Ablagerungen des Litorinameeres. *Bull. Geol. Soc. Finland*. 1984. 56. Part 1–2. P. 117–133.
2. Cherepanova M.V., Lepskaya E.V., Anderson P., Lozhkin A.V. Diatoms from Holocene sediments of the Nerpich'e Lake (Kamchatka). *The researches of the aquatic biological resources of Kamchatka and the North-West Part of the Pacific Ocean*. 2013. V. 31. P. 89–106. (In Russ.)
3. Elbakidze E.A., Romanova A.V. Data interpretation of principal component and diatom analyses of Holocene sediments from Ptichye Lake (Southern Primorye). *Vestnik of the FEB RAS*. 2024. № 5. P. 124–135. DOI: <http://dx.doi.org/10.31857/S0869769824050086> (In Russ.)
4. Ganeshin G.S. Geomorphology of Primorye. Gosgeoltekhizdat, Leningrad, 1957. 105 p. (In Russ.)
5. Grimm E.C. CONISS: a FORTRAN 77 program for stratigraphically constrained cluster analysis by the method of incremental sum of squares. *Computers & Geosciences*. 1987. V.13, №1. P. 13–35.
6. Mikishin Yu.A., Petrenko T.I., Gvozdeva I.G., Popova A.N., Kuzmin Ya.V., Rakov V.A., Gorbarenko S.A. Holocene of the coast of southwestern Primorye. *Scientific review*. 2008. No.1. P. 8–27. (In Russ.)
3. Olshtynskaya A.P. Diatoms and coccolithophorids in Holocene ecosystems of the Black Sea Black Sea region. Ecosystems, their optimization and protection. TNU, Simferopol, 2014. Is.11. P. 82–88. (In Russ.)
4. Proshkina-Lavrenko A.I. (Ed.). Diatoms of the USSR (fossil and modern). V.1. Nauka, Leningrad, 1974. 403 p. (In Russ.)
5. Zhurkina V. V. The first data on diatoms of lagoon-type lakes in Primorsky Krai (Far East). *News of the systematics of lower plants*. 1972. T.9. P. 17–19. (In Russ.)

ССЫЛКА НА СТАТЬЮ:

Элбакидзе Е.А. Диатомовые водоросли как индикаторы трансгрессивно-регрессивных циклов Японского моря в среднем голоцене // Вопросы современной альгологии. 2025. № 1 (37). P. 348–351. URL: <http://algology.ru/2217>

Elbakidze E.A. Diatom algae as indicators of transgressive-regressive cycles in the Sea of Japan in the Middle Holocene. *Voprosy sovremennoi algologii (Issues of modern algology)*. 2025. № 1 (37). P. 348–351. URL: <http://algology.ru/2217>

DOI – [https://doi.org/10.33624/2311-0147-2025-1\(37\)-348-351](https://doi.org/10.33624/2311-0147-2025-1(37)-348-351); EDN – HTLJDM

Секция 6.

Научные и рабочие коллекции диатомовых водорослей

Коллекции постоянных препаратов диатомовых водорослей как основа для изучения и сохранения биоразнообразия

Slide collections of diatoms as the base for study and conservation of biodiversity

Гогорев Р.М., Юрчак М.И.

Rinat M. Gogorev, Maria I. Yurchak

Ботанический институт имени В.Л. Комарова РАН (Санкт-Петербург, Россия)

Постоянные препараты из коллекций диатомовых водорослей позволяют проводить не только номенклатурные, но и морфологические и систематические исследования. В работе представлен краткий обзор диатомовой коллекции БИН РАН и ряд предложений по работе с коллекциями хранящимися в институтах РАН.

Ключевые слова: Bacillariophyta; диатомовые водоросли; постоянный препарат; коллекция

Для изучения диатомовых водорослей в первую очередь используются разнообразные коллекции – влажных и сухих образцов, образцов из отложений и осадков, постоянных и влажных препаратов, столиков для СЭМ и сеточек для ТЭМ. Как правило, в рабочие коллекции входят постоянные препараты, как наиболее удобные объекты при изучении в световой микроскоп.

В последующем из рабочих коллекций выделяются наиболее важные типовые коллекции в случае описания новых таксонов, уточнения и типификации названий диатомовых водорослей. Важную роль играют старинные коллекции эксикат.

На примере БИН РАН рассмотрим работу с коллекциями. Начиная с 2022 г. в Институте продолжается плановая тема «История, сохранение, изучение, пополнение гербарных фондов Ботанического института им. В.Л. Комарова РАН» по изучению, сохранению и пополнению коллекционного фонда. В рамках выполнения госзадания и Программы развития Биоресурсных коллекций проводятся ревизия и пополнение типовых коллекций постоянных препаратов диатомовых водорослей, инвентаризация старых коллекций и рабочих фондов, анализ и типификация постоянных препаратов диатомовых, улучшение условий хранения и оптимизация структуры коллекционных материалов, регистрация результатов работы в электронной Базе данных. Часть результатов работы с коллекциями была представлена в докладах на конференциях (Юрчак и др., 2023; Гогорев, Юрчак, 2024; 2025).

Коллекция диатомовых водорослей в лаборатории альгологии включает в себя исторические гербарные образцы, постоянные препараты и обширные сборы влажных проб из различных морей и внутриконтинентальных водоемов.

Историческая коллекция диатомовых водорослей содержит более 350 образцов 248 таксонов рангом вида и ниже, собранных в XIX веке. Она представлена в виде высушенных образцов диатомовых водорослей на бумаге, стекле и слюде, а также постоянными препаратами, преимущественно эксикатами из коллекций разных авторов. Часть образцов, которая представлена постоянными препаратами, удобна для исследования при помощи светового микроскопа.

Наиболее важной и ценной является коллекция постоянных препаратов диатомовых водорослей, подготовленных или собранных Прошкиной-Лавренко А.И., Макаровой И.В., Жузе А.П., Скворцовым Б.В., Стрельниковой Н.И. и другими альгологами. Среди них особую ценность имеют типовые препараты (авторство Прошкиной-Лавренко А.И., Макаровой И.В. и др.). В последние годы начаты подготовка и введение в базу данных сведений о препаратах и их этикетирование, включая имеющиеся данные о районе, станции и дате отбора проб, координатах, сборщике, суднах и орудиях лова/сбора.

К настоящему времени введены данные о более чем 200 препаратах, в том числе о 21 голотипе таксонов и около 50 изотипах, синтипах и паратипах. В планах работы с коллекцией первой задачей является типификация таксонов, которые были описаны диатомологами Ботанического института и не имеют прямого указания на тип в публикациях.

Коллекции влажных проб были собраны сотрудниками лаборатории альгологии БИН РАН и других институтов в различных географических регионах и представляют высокую ценность для исследования и сохранения биоразнообразия. Материал из этих коллекций может восполнить утраченные постоянные препараты, а также послужить основой для детального исследования разных таксономических групп, поскольку коллекции содержат сборы как фитопланктона, так и микрофитобентоса и перифитона.

Таким образом, данные коллекции являются источником для номенклатурных и таксономических исследований диатомовой флоры, ценность и актуальность которых можно считать одним из этапов изучения и сохранения биоразнообразия. Значение коллекций диатомовых водорослей определяется важностью и наличием типового материала, что позволяет расширить возможности по изучению флоры, морфологических структур и особенностей диатомовых водорослей.

Вопрос о наличии и важности, а также обзор мировых диатомовых коллекций неоднократно предпринимался ранее (Fryxell, 1975; Sterrenburg, 1990; De Wolf, Sterrenburg, 1991; Crawford et al., 2002). Целый пласт информации о коллекциях содержится на интернет-сайтах крупных научных центров и сообществ (например, the Natural History Museum, the International Society for Diatom Research). К сожалению, приходится отметить, что данные о российских диатомовых коллекциях в свободном доступе практически отсутствуют, информация трудно доступна или «засекречена». В связи важностью вопроса давно назрели конкретные предложения и решения.

Предложения для Решений XIX Международной научной конференции диатомологов:

I. Рекомендовать предложить и создать в РФ 1–3 Коллекционных центра по диатомовым. Предлагаемые учреждения: БИН РАН, ИФР РАН (коллекции в Пушкино), МГУ имени М.В. Ломоносова.

II. Рекомендовать привязку частных коллекций препаратов диатомовых к имеющимся акронимам (крупные ботанические центры и сады). Предлагать безвозмездную передачу коллекционных материалов диатомологов и стратиграфов в крупные научные центры с имеющейся поддержкой коллекций диатомовых.

III. Рекомендовать к сбору и распространению информации об имеющихся коллекциях диатомовых, а также дуплетов и типовых препаратов в имеющиеся крупные гербарные фонды для сохранения.

Работа выполнена в рамках госзадания БИН РАН (№ 119031290052-1).

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов, требующего раскрытия в данной статье.

Список литературы

1. Гогорев Р.М., Юрчак М.И. Коллекции диатомовых водорослей (Bacillariophyta) Ботанического института РАН (LE) как основа для изучения и сохранения биоразнообразия // Изучение водных и наземных экосистем: история и современность: тезисы докл. III Междунар. научно-практической конф., посвященной 10-летию воссоединения Крыма и Севастополя с Российской Федерацией (Севастополь, Российская Федерация, 2–7 сент. 2024 г.). – Севастополь, 2024. – С. 120.
2. Гогорев Р.М., Юрчак М.И. Коллекции ископаемых диатомовых водорослей (Bacillariophyta), описанных А.И. Прошкиной-Лавренко (Гербарий БИН РАН (LE)) // Фундаментальные основы палеонтологии: теория и практика: материалы LXXI сессии Палеонтологического общества при РАН. – СПб., 2025. – С. 186–187.
3. Юрчак М.И., Гогорев Р.М., Степанова В.А. Коллекции диатомовых водорослей (Bacillariophyta) Ботанического института РАН (LE) // Коллекции как основа изучения генетических ресурсов растений и грибов: тезисы докл. Второй всерос. конф., посвященной 200-летию указа об именовании Ботанического сада на Аптекарском острове Императорским (Санкт-Петербург, 26–27 июня 2023 г.) (в рамках Второго научного форума «Генетические ресурсы России», 26–28 июня 2023 г.). – СПб., 2023. – С. 64.
4. Crawford R., Jahn R., Poulin M. Diatom collections of the world. Safeguarding their material and disseminating their information // Proceedings the 7th International Diatom Symposium (M. Poulin, ed.). 2002. P. 467–468.
5. De Wolf H., Sterrenburg F.A.S. International survey of diatom collections // Diatom Research. 1991. V.6, № 1. P. 205–206. DOI: <https://doi.org/10.1080/0269249X.1991.9705161>
6. Fryxell G.A. Diatom collections // Proceedings of the 3rd Symposium on Recent and Fossil Marine Diatoms (R. Simonsen, ed.). – Nova Hedwigia. 1975. – Beiheft 53. – P. 355–365.
7. Sterrenburg F.A.S. Diatom collections, legend or legacy? // Diatom Research. 1990. V.5, №2. P. 425–427. DOI: <https://doi.org/10.1080/0269249X.1990.9705134>

Статья поступила в редакцию 18.06.2025; поступила после доработки 08.09.2025; принята к публикации 08.09.2025

Сведения об авторах

Гогорев Ринат Мухаметшаевич – к.б.н., в.н.с., Ботанический институт им. В.Л. Комарова РАН, Россия, Санкт-Петербург (Komarov Botanical Institute, RAS, Russia, St. Petersburg); RGogorev@binran.ru; ORCID – <https://orcid.org/0000-0001-8668-7912>; SPIN-код 7831-6392.

Юрчак Мария Ивановна – аспирант, Ботанический институт им. В.Л. Комарова РАН, Россия, Санкт-Петербург (Komarov Botanical Institute, RAS, Russia, St. Petersburg); maur4ak2024@gmail.com; ORCID – <https://orcid.org/0000-0002-6079-539X>.

Корреспондентский адрес: Россия, 197022, Санкт-Петербург, Аптекарский остров, ул. Профессора Попова, д. 2, литера В, БИН РАН, тел. (812) 372-54-43.

Slide collections of diatoms as the base for study and conservation of biodiversity

Rinat M. Gogorev, Maria I. Yurchak

Komarov Botanical Institute, RAS (Russia, St. Petersburg)

Permanent slides of diatom collections allow not only nomenclatural, but also morphologic and systematic studies. We present a brief overview of the diatom collection of the BIN RAS and some proposals for working with the collections of Institutions of RAS.

Key words: Bacillariophyta; diatoms; permanent slide; collection

References

1. Crawford R., Jahn R., Poulin M. Diatom collections of the world. Safeguarding their material and disseminating their information. Proceedings the 7th International Diatom Symposium. 2002. P. 467–468.
2. De Wolf H., Sterrenburg F.A.S. International survey of diatom collections. *Diatom Research*. 1991. V.6, №1. P. 205–206. DOI: <https://doi.org/10.1080/0269249X.1991.9705161>
3. Fryxell G.A. Diatom collections. Proceedings of the 3rd Symposium on Recent and Fossil Marine Diatoms (R. Simonsen, ed.). Nova Hedwigia. 1975. Beiheft 53. P. 355–365.
4. Gogorev R.M., Yurchak M.I. Collections of diatoms (Bacillariophyta) The Botanical Institute of the Russian Academy of Sciences (LE) as a basis for studying and preserving biodiversity. Proceedings of the III International Scientific and Practical Conference dedicated to the 10th anniversary of the reunification of Crimea and Sevastopol with the Russian Federation (Sevastopol, Russian Federation, September 2–7, 2024). Studying aquatic and terrestrial ecosystems: history and modernity. Sevastopol, 2024. P. 120.
5. Gogorev R.M., Yurchak M.I. Collections of fossil diatoms (Bacillariophyta) described by A.I. Proshkina-Lavrenko (Herbarium of the BIN RAS (LE)). Fundamental foundations of paleontology: theory and practice: Proceedings of the LXXI session of the Paleontological Society of the Russian Academy of Sciences, St. Petersburg, 2025. P. 186–187.
6. Sterrenburg F.A.S. Diatom collections, legend or legacy? *Diatom Research*. 1990. V.5, №2. P. 425–427. DOI: <https://doi.org/10.1080/0269249X.1990.9705134>
7. Yurchak M.I., Gogorev R.M., Stepanova V.A. Collections of diatoms (Bacillariophyta) Botanical Institute of the Russian Academy of Sciences (LE). Collections as a basis for studying the genetic resources of plants and fungi: Proceedings of the dokl. The second All-Russian conference dedicated to the 200th anniversary of the decree on naming the Botanical Garden on Aptekarsky Island Imperial (St. Petersburg, June 26–27, 2023) (within the framework of the Second Scientific Forum “Genetic Resources of Russia”, June 26–28, 2023). St. Petersburg, 2023. P. 64.

ССЫЛКА НА СТАТЬЮ:

Гогорев Р.М., Юрчак М.И. Коллекции постоянных препаратов диатомовых водорослей как основа для изучения и сохранения биоразнообразия // Вопросы современной альгологии. 2025. № 1 (37). P. 352–355. URL: <http://algology.ru/2219>

Gogorev R.M., Yurchak M.I. Slide collections of diatoms as the base for study and conservation of biodiversity. *Voprosy sovremennoi algologii (Issues of modern algology)*. 2025. № 1 (37). P. 352–355. URL: <http://algology.ru/2219>

DOI – [https://doi.org/10.33624/2311-0147-2025-1\(37\)-352-355](https://doi.org/10.33624/2311-0147-2025-1(37)-352-355); EDN – ADDFDM

Диатомовые водоросли в коллекции ЦКП «Морской биобанк»

Diatom algae in the Marine Biobank collection

Морозова Т.В.¹, Пономарева А.А.², Орлова Т.Ю.¹

Tatiana V. Morozova, Anna A. Ponomareva, Tatiana Yu. Orlova

¹Национальный научный центр морской биологии имени А.В. Жирмунского ДВО РАН –
ННЦМБ ДВО РАН (Владивосток, Россия)

²Приморский океанариум – ННЦМБ ДВО РАН (Владивосток, Россия)

В 2017 г. В ННЦМБ ДВО РАН был организован Центр коллективного пользования «Морской биобанк», в котором поддерживается коллекция культур морских микроводорослей, включающая 21 вид диатомовых водорослей, представленных 37 клонами, в том числе восемью токсичными клонами *Pseudo-nitzschia* spp.

Ключевые слова: диатомеи; Японское море; биобанкирование

Центр коллективного пользования «Морской биобанк» ННЦМБ ДВО РАН (далее ЦКП) был организован в 2017 г. на базе «Национального научного центра морской биологии им. А.В. Жирмунского» Дальневосточного отделения Российской академии наук (ННЦМБ ДВО РАН). История коллекции микроводорослей ЦКП начинается в 1985 г., когда Н.А. Айздайчер получила культуры семи видов микроводорослей из Института биологии южных морей НАН Украины (ИнБЮМ) от Ланской Л.А. В дальнейшем пополнение коллекции происходило как в результате получения образцов культур из других учреждений России и зарубежья, так и путем выделения в культуры клеток из проб фитопланктона или поверхностных осадков из дальневосточных морей России.

В 2019 г. ЦКП стал официальным членом Национальной ассоциации биобанков и специалистов по биобанкированию (НАСБИО) и сконцентрировал свою деятельность на вопросах биобанкирования и культивирования морских микроводорослей с целью обеспечения проведения научных исследований и оказания услуг с использованием имеющихся биоресурсных коллекций и оборудования исследователям и научным подразделениям ННЦМБ ДВО РАН и другим заинтересованным пользователям в соответствии с международными протоколами сбора, каталогизации, поддержания и хранения биологических образцов морского происхождения.

В настоящее время коллекция «Морского биобанка» включает 7 культур цианобактерий и 78 клонов микроводорослей, относящихся к 47 видам (9 классам) <http://marbank.dvo.ru/index.php/ru/kollektsiya/microalgae>. Из них 21 вид – диатомовые водоросли, представленные тридцатью семью клонами: *Attheya decora*, *A. longicornis*, *A. ussuriensis*, *Attheya* sp., *Chaetoceros calcitrans/gracilis*, *Chaetoceros* sp., *Cylindrotheca closterium*, *Phaeodactylum tricornutum*, *Pseudo-nitzschia calliantha*, *P. delicatissima*,

P. hasleana, *P. multistriata*, *P. pungens*, *Skeletonema dohrnii*, *S. menzelii*, *Skeletonema* sp., *Thalassiosira nordenskioeldii*, *T. pseudonana*, *T. tealata*, *T. tenera*, *Thalassiosira* sp.

Культуры водорослей в коллекции ЦКП являются альгологически чистыми и поддерживаются в жидких питательных средах F/2 и Голдберга в климатических шкафах Binder при режиме освещения 12 ч свет 12 ч темнота и температуре 18°C и 20°C. Пересев культур осуществляется ежемесячно.

Культуры диатомовых водорослей «Морского биобанка» были использованы в таких исследованиях как, например, изучение морфологии и генетики новых для дальневосточных морей России видов, определение концентрации токсинов в клетках водорослей, оценка эффективности использования различных видов диатомей в качестве кормовой биодобавки при выращивании личинок беспозвоночных и изготовления высокоценных кормовых добавок для объектов аквакультуры и сельского хозяйства, влияние экологических факторов на рост, морфологию и биохимию микроводорослей, оптические методы обнаружения зарождения и распространения вредоносных цветений микроводорослей и идентификации ядовитых видов микроводорослей в морских акваториях, оценка продуктивности микроводорослей при разных условиях культивирования и пр.

На сайте ЦКП «Морской биобанк» <http://marbank.dvo.ru/> в разделе «Коллекции» представлена информация о всех микроводорослях, культуры которых поддерживаются в настоящее время или поддерживались ранее. Данный раздел содержит метаданные, включающие количественные, качественные, пространственные данные и данные изображений, которые могут быть использованы для легкого поиска образца или выборки образцов культур. Все культуры микроводорослей «Морского биобанка» имеют уникальный буквенно-цифровой код, начинающийся с символов MBRU_, который пользователи обязаны указывать в публикациях, при использовании образцов «Морского биобанка» в своих исследованиях. В разделе «Услуги» можно найти актуальный список предоставляемых ЦКП услуг и активные ссылки на сайт Научно-технической инфраструктуры Российской Федерации <https://ckp-rf.ru/>, через который осуществляется подача заявки на оказание услуг. Предоставление культур заказчикам услуг осуществляется только для научно-исследовательских целей как на возмездной, так и на безвозмездной основе.

Работа выполнена при поддержке гранта № 169-15-2023-002 Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды и в рамках госзадания ННЦМБ ДВО РАН (№124021900009-6).

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов, требующего раскрытия в данной статье.

Список литературы

1. <http://marbank.dvo.ru/index.php/ru/kollektsiya/microalgae> (дата обращения: 10.06.2025)
2. <http://marbank.dvo.ru/> (дата обращения: 10.06.2025)
3. <https://ckp-rf.ru/> (дата обращения: 10.06.2025)

Статья поступила в редакцию 18.06.2025; поступила после доработки 08.09.2025; принята к публикации 08.09.2025

Сведения об авторах

Морозова Татьяна Владимировна – к.б.н., руководитель ЦКП «Морской биобанк», Национальный научный центр морской биологии им. А.В. Жирмунского ДВО РАН (ННЦМБ ДВО РАН), Россия, Владивосток (Zhirmunsky National Scientific Center of Marine Biology, Far Eastern Branch, RAS, Russia, Vladivostok); tatiana_morozova@mail.ru; ORCID – <https://orcid.org/0000-0002-0336-9001>; SPIN-код 7118-4814.

Пономарева Анна Андреевна – к.б.н., руководитель ЦКП «Приморский океанариум», Приморский океанариум – ННЦМБ ДВО РАН, Россия, Владивосток ("Primorsky Aquarium", National Scientific Center of Marine Biology, Far Eastern Branch, RAS, Russia, Vladivostok); ponomareva_aa@primosean.ru; ORCID – <https://orcid.org/0000-0002-7121-7317>; SPIN-код 4727-5745.

Орлова Татьяна Юрьевна – к.б.н., зам. директора, зав. лаб., Национальный научный центр морской биологии им. А.В. Жирмунского ДВО РАН (ННЦМБ ДВО РАН), Россия, Владивосток (Zhirmunsky National Scientific Center of Marine Biology, Far Eastern Branch, RAS, Russia, Vladivostok), Лаборатория морской микробиоты; torlova06@mail.ru; ORCID – <https://orcid.org/0000-0002-5246-6967>; SPIN-код 1604-9058.

Корреспондентский адрес: Россия, 690041, Владивосток, ул. Пальчевского, 17, ННЦМБ ДВО РАН, тел. (423) 231-09-05.

Diatom algae in the Marine Biobank collection

Tatiana V. Morozova¹, Anna A. Ponomareva^{1,2}, Tatiana Yu. Orlova¹

¹Zhirmunsky National Scientific Center of Marine Biology, Far Eastern Branch, RAS (Russia, Vladivostok)

²"Primorsky Aquarium", National Scientific Center of Marine Biology, Far Eastern Branch, RAS (Russia, Vladivostok)

In 2017, the NSCMB FEB RAS established the Core Shared Research Facility "Marine Biobank". Currently, it maintains a collection of marine microalgae cultures, including 21 diatom species represented by 37 clones, of which eight are toxic clones of *Pseudo-nitzschia* spp.

Key words: Diatom; Sea of Japan; biobanking

References

1. <http://marbank.dvo.ru/index.php/ru/kollektsiya/microalgae> (date: 10.06.2025)
2. <http://marbank.dvo.ru/> (date: 10.06.2025)
3. <https://ckp-rf.ru/> (date: 10.06.2025)

ССЫЛКА НА СТАТЬЮ:

Морозова Т.В., Пономарева А.А., Орлова Т.Ю. Диатомовые водоросли в коллекции ЦКП «Морской биобанк» // Вопросы современной альгологии. 2025. № 1 (37). P. 356–358. URL: <http://algology.ru/2220>

Morozova T.V., Ponomareva A.A., Orlova T.Yu. Diatom algae in the Marine Biobank collection. *Voprosy sovremennoi algologii (Issues of modern algology)*. 2025. № 1 (37). P. 356–358. URL: <http://algology.ru/2220>

DOI – [https://doi.org/10.33624/2311-0147-2025-1\(37\)-356-358](https://doi.org/10.33624/2311-0147-2025-1(37)-356-358); EDN – UBIBTA

**Опыт стабильного получения живых кормов
для беспозвоночных при массовом квазинепрерывном
выращивании диатомей
в культиваторах открытого типа**

**Experience in steady production of live feeds for
invertebrates via mass, continuous cultivation of diatoms
in open-type cultivators**

Сухин И.Ю., Дзизюров В.Д., Иванова В.В.

Igor Yu. Sukhin, Viktor D. Dzizurov, Valeria V. Ivanova

*Тихоокеанский филиал Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии – Тихоокеанский филиал ГНЦ РФ ФГБНУ ВНИРО (ТИНРО)
(Владивосток, Россия)*

Одним из наиболее эффективных путей культивирования беспозвоночных, в том числе двустворчатых моллюсков, является получение и выращивание личинок до стадии оседания в контролируемых условиях. При этом единственным полноценным кормом для личинок многих морских беспозвоночных в искусственных условиях являются микроводоросли. Это вызывает необходимость обеспечивать их массовое выращивание на протяжении относительно короткого периода – 2–3 месяца в год. К сожалению, несмотря на огромное количество работ по культивированию микроводорослей, практические аспекты организации их массового выращивания остаются недостаточно освещенными в отечественной литературе. Решению этой проблемы и посвящена наша работа.

Ключевые слова: диатомеи; личинки, беспозвоночные, массовое культивирование

Диатомовая водоросль *Chaetoceros muelleri* является благоприятным кормом для личинок двустворчатых моллюсков благодаря своим морфолого-биохимическим характеристикам – размеры, тонкий панцирь, единичность способствуют лёгкому заглатыванию и быстрому перевариванию. Питательная ценность её обусловлена высоким содержанием белка (до 38%); липидов (до 15%); углеводов (до 43%) (по сухому веществу) для фазы замедления скорости роста численности клеток в культуре (Brown et al., 1997).

При выращивании личинок моллюсков в промышленных масштабах потребность в кормовых суспензиях микроводорослей часто превышает 1000 л/сутки. Применяются накопительный и непрерывный (квазинепрерывный) режимы культивирования микроводорослей. При накопительном режиме выращивание суспензии микроводорослей в питательной среде осуществляется без отбора выращенной биомассы. При квазинепрерывном режиме выращивание

микроводорослей производится с периодическим отбором выращенной биомассы и добавлением свежей питательной среды до первоначального объема суспензии.

Мы выращивали хетоцерос в квазинепрерывном режиме в непрерывно повторяющихся технологических циклах. Срок начала каждого последующего цикла выращивания водорослей смещён относительно предыдущего на 8 суток.

Каждый цикл состоит из двух этапов: этапа выращивания инокулята в культиваторах закрытого типа в накопительном режиме (16 сут.) и этапа получения кормовой биомассы в культиваторах открытого типа (16 сут.), сначала в накопительном (10 сут.), затем в квазинепрерывном режиме культивирования (6 сут.). В качестве культиваторов закрытого типа применялись 0,5; 1; 5-ти литровые стеклянные колбы и 30-ти литровые прозрачные пластиковые ёмкости, закрытые прозрачной пленкой (рис. 1). Культиваторы открытого типа представляют собой пластиковые ванны объёмом 1 и 3 м³ (рис. 2).



Рис. 1. Культуры микроводорослей в культиваторах закрытого типа.

Fig. 1. Microalgae cultures in closed-type cultivators.

Культивирование осуществляли в питательной среде F/2 (Владимирова, Семенко, 1962), приготовленной на основе природной морской воды, при круглосуточном освещении светодиодными лампами (4000К, освещённость 14–16 клк), температуре 20–23⁰С, постоянной аэрации воздухом при скорости продувки 1,0–1,25 л/мин., устанавливая один аэратор на 400–500 л культуры. При таких условиях в культиваторах не возникает застойных зон, pH среды не превышает 8,9.

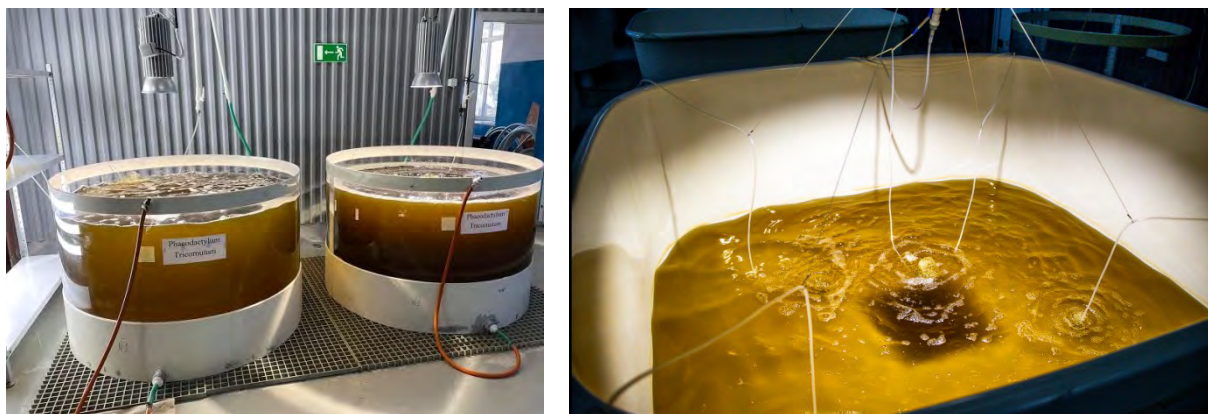


Рис. 2. Выращивание культуры *Ch. muelleri* в культиваторах открытого типа.

Fig. 2. Cultivation of *Ch. muelleri* in open-type cultivators.

Морскую воду очищали, пропуская через фильтры с размерами пор 10; 5 и 1 мкм. Затем её насыщали активным хлором до концентрации 70–90 мг/л путём добавления гипохлорита натрия. Через 16–18 часов, после полного окисления органической составляющей воду дехлорировали путём внесения пятиводного тиосульфата натрия (200–250 мг/л) при активной аэрации воздухом в течение 2–3 часов (Дзизюров и др., 2023).

При запуске первого цикла в качестве инокулята использовали коллекционные культуры водорослей. При втором и последующих циклах использовали суспензию микроводорослей из первого этапа предыдущего цикла. Начальная концентрация, при которой культура начинает активно развиваться с минимальной лаг-фазой, составляет $0,5 \times 10^6$ кл/мл. По мере увеличения концентрации клеток до $1,5\text{--}1,7 \times 10^6$ кл/мл, при которой активно делящаяся культура находится на линейной стадии экспоненциальной фазы роста, культуру разводили до начальной концентрации путём добавления свежей питательной среды. При достижении объёма 100 л и концентрации клеток $1,5\text{--}1,7 \times 10^6$ кл/мл, культуру перемещали в культиваторы открытого типа, куда добавляли свежеприготовленную питательную среду, создавая начальную концентрацию клеток $0,5 \times 10^6$ кл/мл.

В течение 10 суток культивирование продолжали в накопительном режиме без отбора выращенной биомассы. По достижении концентрации клеток $1,5\text{--}1,7 \times 10^6$ кл/мл, культуру разводили свежей питательной средой до начальной концентрации. По достижении объёма культуры в ванне 2200 л и концентрации клеток $1,8\text{--}2,0 \times 10^6$ кл/мл, что соответствует фазе замедления скорости роста численности клеток (завершающей фазе экспоненциального роста), культуру переводили в квазинепрерывный режим культивирования. В течение последующих 6 суток с интервалом в 24 ч, осуществляли отбор 20–25% суспензии кормовых микроводорослей и восполнением равноценного объёма питательной средой.

После последнего отбора кормовой биомассы объём культуры не восполняли, а использовали для кормления личинок беспозвоночных до начала отбора суспензии выращенных кормовых микроводорослей из следующего цикла. Не используемую часть суспензии микроводорослей в каждом цикле концентрировали центрифугированием и упаковывали под вакуумом в пакеты и сохраняли при температуре 2–3°C для дальнейшего использования.

Период культивирования микроводорослей в цикле ограничен по времени, поскольку при выращивании микроводорослей в культиваторах открытого типа технически невозможно поддерживать стерильность. Инфицирование посторонними видами микроорганизмов (бактериями, простейшими или другими видами микроводорослей) и их массовое развитие приводит к угнетению культуры. Массовое развитие сопутствующих видов в культуре наступает после 16–18 суток выращивания в культиваторах открытого типа.

Выход кормовой биомассы *Ch. muelleri* при квазинепрерывном культивировании складывается из ежедневных 20–25% отборов биомассы (объём суспензии 440–550 л) и биомассы, собираемой из культиваторов по окончании технологического цикла.

Использование квазинепрерывного режима культивирования позволяет ежедневно получать биомассу кормовых микроводорослей. При заданном режиме выращивания концентрация клеток восстанавливается до первоначальной, что свидетельствует о стабильности биологической продуктивности и химического состава культуры микроводорослей. После завершения очередного цикла культивирования отбор выращенной биомассы начинают из следующего цикла, обеспечивая неограниченное по времени ежедневное получение кормов с сохранением стабильного качества микроводорослей.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов, требующего раскрытия в данной статье.

Список литературы

1. Владимирова М.Г., Семенов В.Е. Интенсивная культура одноклеточных водорослей (Инструкция по первичным испытаниям выделяемых из природы и селекционных форм фотоавтотрофных одноклеточных водорослей). – М: АН СССР, 1962. – 61 с.
2. Дзизюров В.Д., Сухин И.Ю., Гостюхина О.Б., Буслов В.А., Байталюк А.А. Патент RU № 2793471, дата подачи: 21.08.2022, дата регистрации: 04.04.2023.
3. Brown M.R., Jeffrey S.W., Volkman J.K., Dunstan G.A. Nutritional properties of microalgae for mariculture // *Aquaculture*. 1997. V.151. P. 315–331.

Статья поступила в редакцию 18.06.2025; поступила после доработки 05.09.2025; принята к публикации 06.09.2025

Сведения об авторах

Сухин Игорь Юрьевич – к.б.н., нач. отдела, Тихоокеанский филиал ФГБНУ Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии (ТИНРО), Россия, Владивосток (Pacific Branch of the Federal State Budget Scientific Institution “Russian Federal Research Institute of Fisheries and oceanography”, Russia, Vladivostok); igor.sukhin@tinro.vniro.ru; ORCID – <https://orcid.org/0000-0002-2930-1718>; SPIN-код 6107-6149.

Дзизюров Виктор Дмитриевич – к.б.н., руководитель группы, Тихоокеанский филиал ФГБНУ Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии (ТИНРО), Россия, Владивосток (Pacific Branch of the Federal State Budget Scientific Institution “Russian Federal Research Institute of Fisheries and oceanography”, Russia, Vladivostok); viktor.dzizurov@tinro.vniro.ru.

Иванова Валерия Вячеславовна – инженер-рыбовод, Тихоокеанский филиал ФГБНУ Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии (ТИНРО), Россия, Владивосток (Pacific Branch of the Federal State Budget Scientific Institution “Russian Federal Research Institute of Fisheries and oceanography”, Russia, Vladivostok); valeria.ivanova@tinro.vniro.ru.

Корреспондентский адрес: Россия, 690091, Владивосток, пер. Шевченко, д. 4, ТИНРО, тел. (423) 240-09-21.

Experience in steady production of live feeds for invertebrates via mass, continuous cultivation of diatoms in open-type cultivators

Igor Yu. Sukhin, Viktor D. Dzizurov, Valeria V. Ivanova

Pacific Branch of the Federal State Budget Scientific Institution “Russian Federal Research Institute of Fisheries and oceanography” (Russia, Vladivostok)

One of the most effective methods for cultivating invertebrates, including bivalve mollusks, is obtaining and rearing larvae until the settlement stage in controlled conditions. In this process, microalgae serve as the sole complete food source for the larvae of many marine invertebrates in artificial environments. This necessitates ensuring their mass cultivation over a relatively short period – 2 to 3 months per year. Unfortunately, despite a large number of studies on microalgae cultivation, practical aspects of organizing their mass production remain insufficiently covered in domestic literature. Our work is dedicated to addressing this issue.

Key words: Diatom; larvae, invertebrates, mass cultivation

References

1. Vladimirova M.G., Semenenko V. E. Intensive culture of unicellular algae (Instructions for primary testing of photoautotrophic unicellular algae isolated from nature and breeding forms). USSR Academy of Sciences, Moscow, 1962. 61 p.
2. Dzizurov V.D., Sukhin I.Yu., Gostyukhina O.B., Suslov V.A., Baytalyuk A.A. Patent RU No. 2793471, filing date: 08/21/2022, registration date: 04/04/2023.

3. Brown M.R., Jeffrey S.W., Volkman J.K., Dunstan G.A. Nutritional properties of microalgae for mariculture. *Aquaculture*. 1997. V.151. P. 315–331.

ССЫЛКА НА СТАТЬЮ:

Сухин И.Ю., Дзизюров В.Д., Иванова В.В. Опыт стабильного получения живых кормов для беспозвоночных при массовом квазинепрерывном выращивании диатомей в культиваторах открытого типа // Вопросы современной альгологии. 2025. № 1 (37). P. 359–363. URL: <http://algology.ru/2182>

Sukhin I.Y., Dzizurov V.D., Ivanova V.V. Experience in steady production of live feeds for invertebrates via mass, continuous cultivation of diatoms in open-type cultivators. *Voprosy sovremennoi algologii (Issues of modern algology)*. 2025. № 1 (37). P. 359–363. URL: <http://algology.ru/2182>

DOI – [https://doi.org/10.33624/2311-0147-2025-1\(37\)-359-363](https://doi.org/10.33624/2311-0147-2025-1(37)-359-363); EDN – XBBZLJ

Секция 7.

Номенклатурные вопросы и проблемы

Номенклатурные проблемы некоторых ископаемых диатомовых, описанных в 1958–2012 гг.

Nomenclature problems of some fossil diatom names described in 1958–2012

Гогорев Р.М., Соколова И.В.

Rinat M. Gogorev, Irina V. Sokolova

Ботанический институт имени В.Л. Комарова РАН (Санкт-Петербург, Россия)

Вследствие изменений в *Международном кодексе номенклатуры* (2012), ряд названий диатомовых, описанных как ископаемые с 1958 по 2011 г., оказались недействительно обнаруженными. Обсуждаются возможные пути решения возникшей проблемы.

Ключевые слова: Bacillariophyta; диатомовые водоросли; ископаемые; номенклатура

Краткая история вопроса.

Первым сводом правил номенклатуры водорослей, грибов и растений, который был признан ботаническим сообществом по обе стороны океана, стали *Кембриджские правила* 1935 г. Этими *Правилами* закреплена обязательность латинского описания или диагноза для названий новых таксонов, обнаруживаемых начиная с 1 января 1935 г., для всех современных (неископаемых) групп, охватываемых *Правилами*, в том числе включая неископаемые водоросли:

«Art. 38. From January 1, 1935, names of new groups of recent plants, the Bacteria excepted, are considered as validly published only when they are accompanied by a Latin diagnosis»¹.

Ограничений, касающихся языка описания ископаемых групп, в *Кембриджских правилах* не было.

Впоследствии дату обязательного латинского описания или диагноза или ссылки на ранее обнаруженное латинское описание или диагноз для современных групп водорослей перенесли на 1 января 1958 г. Это правило было впервые закреплено в *Парижском кодексе* 1956 г.:

«Article 34... In order to be validly published, a name of a new taxon of algae published on or after 1 Jan. 1958 must be accompanied by a Latin diagnosis or by a reference to a previously and effectively published Latin diagnosis» (Rijckevorsel, 2014–2024).

В следующем (*Монреальском*) *кодексе* (1961) было дано разъяснение, что слово «algae» в статье 36 (соответствует ст. 34 Парижского кодекса) следует трактовать применительно только к современным водорослям:

«The Nomenclature Section of the Montreal Botanical Congress adopted a resolution recommending botanists to interpret this Article in the sense intended by the Paris Congress. The sense of the Paris Congress was

¹ Для экономии места мы не даем отдельных ссылок на прошлые издания *Правил* и *Кодексов номенклатуры*; их тексты имеются на сайте Международной ассоциации по таксономии растений (IAPT) в разделе «Overview of editions of the Code» (Rijckevorsel, 2014–2024).

that the word “algae” applied only to recent algae» (Rijckevorsel, 2014–2024).

Это правило действовало до 31 декабря 2011 г. (Turland et al., 2025: Art. 44.1).

Для всех ископаемых групп обязательность латинского или английского описания или диагноза (или ссылки на таковые) была введена только с 1 января 1996 г. (Turland et al., 2025: Art. 43.1) – правило, впервые появившееся в *Токийском кодексе* 1994 г.:

«36.3. In order to be validly published, a name of a new taxon of fossil plants published on or after 1 Jan 1996 must be accompanied by a Latin or English description or diagnosis or by a reference to a previously and effectively published Latin or English description or diagnosis» (Rijckevorsel, 2014–2024).

Наконец, *Мельбурнский кодекс* 2012 г. (Rijckevorsel, 2014–2024) для всех групп, охватываемых *Кодексом*, как современных, так и ископаемых, предписывает латинское или английское описание или диагноз (или ссылку на таковые), начиная с 1 января 2012 г. – это правило действует по настоящее время (Turland et al., 2025: Art. 39.2).

Как выше обсуждаемое правило, так и ряд других существенно различаются для ископаемых и неископаемых групп, как в предыдущих, так и в ныне действующем *Кодексе*. Между тем, формулировка, определяющая (применительно к номенклатуре) отличие ископаемых таксонов от неископаемых, появилась лишь в *Эдинбургском кодексе* (1966):

«Article 13... Note 3... The name of a species or infraspecific taxon is treated as pertaining to a recent taxon unless its type specimen is fossil in origin. Fossil material is distinguished from recent material by stratigraphic relations at the site of original occurrence. In cases of doubtful geological relations, regulations for recent taxa shall apply» (Rijckevorsel, 2014–2024).

Эта формулировка, однако, содержит неопределенность: «In cases of doubtful geological relations...», в случае диатомовых оказавшуюся принципиальной.

Начиная с *Мельбурнского кодекса* (2012), в статью 13.3 внесено дополнение:

«In cases of doubtful stratigraphic relations, and for all diatoms, provisions for non-fossil taxa apply» (Rijckevorsel, 2014–2024).

Тогда же определение ископаемого таксона было включено в статью 1.2 (глава «Таксоны и их ранги») с уточнением «за исключением таксонов диатомовых»:

«1.2. A taxon (diatom taxa excepted) the name of which is based on a fossil type is a fossil-taxon» (Rijckevorsel, 2014–2024).

Отметим, что в сводном списке предложений по изменению Кодекса (McNeill, Turland, 2011) и Отчете о заседании Номенклатурной секции Мельбурнского конгресса (Flann et al., 2014) мы не обнаружили указания на соответствующее предложение и его авторство. Возможно, эти изменения были внесены Редакционным комитетом уже после Конгресса, как сугубо стилистические, уточняющие текст *Кодекса*.

В результате этих изменений ко всем диатомовым, включая описанные как «ископаемые», следует применять положения *Кодекса*, действующие для неископаемых (современных) таксонов. Это положение не было сформулировано в предыдущих *Кодексах*, где фраза «за исключением диатомовых водорослей» в лучшем случае встречалась только в контексте морфотаксонов и конкурирующих названий современных и ископаемых таксонов. Важно отметить, что это правило не имеет ограничения по дате, т.е. имеет обратную силу, начиная с исходной даты (1 мая 1753 г.). Это, в частности, означает, что для действительного обнародования названий любых диатомовых в период с 1 января 1958 г. по 31 декабря 2011 г. их следовало сопровождать латинским (и только латинским!) описанием или диагнозом или ссылкой на таковой.

Итак, вследствие того, что все диатомовые перестали разделять на ископаемые и неископаемые лишь в 2011 г. (год принятия *Мельбурнского кодекса* Международным ботаническим конгрессом), но при этом введенное правило имеет обратную силу, целый ряд названий диатомовых водорослей, обнародованных с 1958 по 2011 г. как ископаемые, стали недействительно обнародованными. Оговорка «In cases of doubtful geological relations» не имела существенного значения, поскольку авторы, у которых не было сомнения в «ископаемости» их новых таксонов, описывали их по правилам,

применявшимся к ископаемым группам. В особенности это относится к названиям, обнаруженным в отечественной и тем более в палеонтологической/стратиграфической литературе. По самым грубым оценкам, таких названий могут оказаться десятки! И многие из них используются для наименования ключевых видов и/или маркеров в стратиграфии/палеонтологии.

Предлагаются следующие пути решения возникшей проблемы:

Подготовить предложение (proposal) в журнал «Тахон» об изменении статьи 13.3, предложив убрать упоминание о диатомовых водорослях.

Подготовить альтернативное предложение об изменении статьи 44, установив, что названия диатомовых водорослей, обнаруженных как ископаемые (определяется из контекста протолога) до 31 декабря 1995 г. на любом языке, а с 1 января 1996 г. по 31 декабря 2011 г. на английском языке, являются действительно обнаруженными.

Если это предложение будет отклонено предстоящим Конгрессом, исследователям придется изъять из употребления целый ряд названий, многие из которых прочно вошли в стратиграфическую литературу, заменив их действительно обнаруженными – либо теми, которые традиционно считались поздними синонимами, либо вновь публикуемыми, но с более поздней датой, следовательно, с риском быть сведенными в синонимы.

В первую очередь предстоит ревизовать таксоны, описанные после 1957 г. такими крупными отечественными учеными, как З.И. Глезер, А.П. Жузе, А.И. Прошкина-Лавренко, Н.И. Стрельникова, В.С. Шешукова-Порецкая, а также известными зарубежными специалистами J. Fenner, R. Gersonde, M. Hajos, G.D. Hanna, D.M. Harwood, R.W. Jordan, H.-J. Schrader, E.F. Stoermer.

По всей вероятности, таких изменений будет немало, что приведет к нежелательному нарушению номенклатурной стабильности. К примеру, по данным *AlgaeBase* (Guiry, Guiry, 2025) авторству З.И. Глезера принадлежит описание 80 новых таксонов видового и родового уровня. Поскольку придется проверять каждую публикацию и каждое название, можно представить, как трудоемка будет работа.

Предложения для Решений XIX Международной научной конференции диатомологов:

I. Рекомендовать создать рабочую группу по подготовке предложения в журнал «Тахон». Предлагаемые кандидатуры: Р.М. Гогорев, Д.А. Капустин (член Номенклатурного комитета по водорослям), Т.А. Михайлова (член НК по водорослям), И.В. Соколова, возможно, специалист по палеодиатомовым и стратиграфии (желательно зарубежный – англоязычный).

II. Способствовать после публикации последующему утверждению в НК и на следующем Ботаническом конгрессе.

Работа выполнена в рамках госзаданий БИН РАН (№ 119031290052-1 и 124020100148-3).

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов, требующего раскрытия в данной статье.

Список литературы

1. Flann C., Turland N.J., Monro A.M. Report on botanical nomenclature – Melbourne 2011. XVIII International Botanical Congress, Melbourne: Nomenclature Section, 18–22 July 2011 // *PhytoKeys*. 2014. V.41. P. 1–289. DOI: <https://doi.org/10.3897/phytokeys.41.8398>
2. Guiry M.D., Guiry G.M. *AlgaeBase*. World-wide electronic publication, University of Galway. 2025. <https://www.algaebase.org> (дата обращения: 12.05.2025).
3. McNeill J., Turland N.J. Synopsis of Proposals on Botanical Nomenclature – Melbourne 2011: A review of the proposals concerning the International Code of Botanical Nomenclature submitted to the XVIII

International Botanical Congress // Taxon. 2011. V.60, №1. P. 243–286. DOI: <https://doi.org/10.1002/tax.601033>

4. McNeill J., Turland N.J., Monro A.M., Lepschi B.J. XVIII International Botanical Congress: Preliminary mail vote report of Congress action on nomenclature proposals // Taxon. 2011. V.60, №5. P. 1507–1520. DOI: <https://www.jstor.org/stable/41317562>

5. Rijkkeversel P. van. Overview of editions of the Code. 2014–2024. <https://www.iapt-taxon.org/historic/index.htm> (дата обращения: 29.05.2025).

6. Turland N.J., Wiersema J.H., Barrie F.R., Gandhi K.N., Gravendyck J., Greuter W., Hawksworth D.L., Herendeen P.S., Kloppe R.R., Knapp S., Kusber W.-H., Li D.-Z., May T.W., Monro A.M., Prado J., Price M.J., Smith G.F., Zamora Sefioet J.C. International Code of Nomenclature for algae, fungi, and plants (Madrid Code). – Chicago: Univ. of Chicago Press, 2025. – XLVIII+303 p. (Regnum Veg. Vol. 162).

Статья поступила в редакцию 18.06.2025; поступила после доработки 05.09.2025; принята к публикации 06.09.2025

Сведения об авторах

Гогорев Ринат Мухаметшаевич – к.б.н., в.н.с., Ботанический институт им. В.Л. Комарова РАН, Россия, Санкт-Петербург (Komarov Botanical Institute, RAS, Russia, St. Petersburg); RGogorev@binran.ru; ORCID – <https://orcid.org/0000-0001-8668-7912>; SPIN-код 7831-6392.

Соколова Ирина Викторовна – к.б.н., н.с., Ботанический институт им. В.Л. Комарова РАН, Россия, Санкт-Петербург (Komarov Botanical Institute, RAS, Russia, St. Petersburg); ISokolova@binran.ru; ORCID – <https://orcid.org/0000-0001-5277-6669>; SPIN-код 4128-1877.

Корреспондентский адрес: Россия, 197022, Санкт-Петербург, Аптекарский остров, ул. Профессора Попова, д. 2, литера В, БИН РАН, тел. (812) 372-54-43.

Nomenclature problems of some fossil diatom names described in 1958–2012

Rinat M. Gogorev, Irina V. Sokolova

Komarov Botanical Institute, RAS (Russia, St. Petersburg)

Due to changes in the *International Code of Nomenclature* (2012), a number of the names of diatoms described as fossils from 1958 to 2011, became invalidly published. Possible ways to solve this problem are discussed.

Key words: Bacillariophyta; diatoms; fossil; nomenclature

References

1. Flann C., Turland N.J., Monro A.M. Report on botanical nomenclature – Melbourne 2011. XVIII International Botanical Congress, Melbourne: Nomenclature Section, 18–22 July 2011. *PhytoKeys*. 2014. V. 41. P. 1–289. DOI: <https://doi.org/10.3897/phytokeys.41.8398>

2. Guiry M.D., Guiry G.M. AlgaeBase. World-wide electronic publication, 2025. University of Galway. <https://www.algaebase.org> (date: 12.05.2025).

3. McNeill J., Turland N.J. Synopsis of Proposals on Botanical Nomenclature — Melbourne 2011: A review of the proposals concerning the International Code of Botanical Nomenclature submitted to the XVIII International Botanical Congress. *Taxon*. 2011. V.60, №1. P. 243–286. DOI: <https://doi.org/10.1002/tax.601033>

4. McNeill J., Turland N.J., Monro A.M., Lepschi B.J. XVIII International Botanical Congress: Preliminary mail vote report of Congress action on nomenclature proposals. *Taxon*. 2011. V.60, №5. P. 1507–1520. DOI: <https://www.jstor.org/stable/41317562>

5. Rijkkeversel P. van. Overview of editions of the Code. 2014–2024. <https://www.iapt-taxon.org/historic/index.htm> (date: 29.05.2025).

6. Turland N.J., Wiersema J.H., Barrie F.R., Gandhi K.N., Gravendyck J., Greuter W., Hawksworth D.L., Herendeen P.S., Kloppe R.R., Knapp S., Kusber W.-H., Li D.-Z., May T.W., Monro A.M., Prado J., Price

M.J., Smith G.F., Zamora Sefioret J.C. International Code of Nomenclature for algae, fungi, and plants (Madrid Code). Univ. of Chicago Press, Chicago, 2025. XLVIII+303 p. (Regnum Veg. Vol. 162).

ССЫЛКА НА СТАТЬЮ:

Гогорев Р.М., Соколова И.В. Номенклатурные проблемы некоторых ископаемых видов диатомовых, описанных в 1958–2012 гг. // Вопросы современной альгологии. 2025. № 1 (37). Р. 364–368. URL: <http://algology.ru/2222>

Gogorev R.M., Sokolova I.V. Nomenclature problems of some fossil diatom names described in 1958–2012. *Voprosy sovremennoi algologii (Issues of modern algology)*. 2025. № 1 (37). Р. 364–368. URL: <http://algology.ru/2222>

DOI – [https://doi.org/10.33624/2311-0147-2025-1\(37\)-364-368](https://doi.org/10.33624/2311-0147-2025-1(37)-364-368); EDN – ZCCAFR

Секция 8.

Биотехнологии

Влияние спектрального состава света на скорость биосинтеза фукоксантина в накопительной культуре морской диатомеи *Cylindrotheca closterium*

Influence of light spectral composition on the rate of fucoxanthin biosynthesis in the enhancement culture of the marine diatom *Cylindrotheca closterium*

Железнова С.Н., Геворгиз Р.Г.

Svetlana N. Zheleznova, Ruslan G. Gevorgiz

ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А.О. Ковалевского РАН»
(Севастополь, Россия)

Облучённость $120 \mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$ синим светом оптически плотной культуры (3 г сухой массы на литр) позволило увеличить скорость биосинтеза фукоксантина и липидов в клетках диатомовой водоросли *Cylindrotheca closterium* при цикле 6 : 18 ч синий: белый свет. Концентрация фукоксантина достигла 23 мг/г сухой массы водорослей, в пересчёте на литр культуры 69 мг/л. Максимальная скорость накопления фукоксантина в клетках составила 4 мг/(г*сут) или соответственно в культуре – 12 мг/(л*сут). Скорость накопления фукоксантина была неравномерной, поэтому по-прежнему остается вопрос получения фукоксантина в проточной культуре *C. closterium*. Отмечена линейная зависимость между концентрацией фукоксантина в клетках и суммарных липидов.

Ключевые слова: диатомеи; *Cylindrotheca closterium*; синий свет; фукоксантин

Большинство бентосных диатомовых водорослей обитают в неблагоприятных условиях при низких температурах и низкой освещенности, где в основном преобладает синяя область спектра (освещенность со спектральным составом от 420-520 нм. (Wang et al., 2019) в результате чего они приобрели способность в больших количествах накапливать биологически активные соединения такие как ПНЖК (Almeyda et al., 2020), каротиноиды, включая фукоксантин и др.

Многие медицинские исследования показали уникальные свойства фукоксантина. Было показано, что фукоксантин обладает противоопухолевой активностью, подавляет рост клеток лейкоза человека, рака простаты и молочной железы (Ahmed et al., 2022), способствует активному уменьшению массы тела путем расщепления жиров (Guan et al., 2022), снижает уровень холестерина и глюкозы в крови (Guan et al., 2022). Поэтому диатомеи, как возобновляемый источник фукоксантина, все в большей мере привлекает внимание биотехнологов. Поскольку фукоксантин выполняет защитную функцию в работах было установлено, что синий свет способствует накоплению фукоксантина, а красный и белый – росту и продуктивности (Palanisamy et al., 2022). Для получения ценных полиненасыщенных жирных кислот (ПНЖК) и фукоксантина в промышленных масштабах одним из наиболее

перспективных объектов культивирования является *Cylindrotheca closterium*. Обусловлено это тем, что *C. closterium* обладает достаточно высокими продукционными показателями (Геворгиз 2016; Железнова 2019), способна накапливает фукоксантин до 2,3–2,6% от сухой массы (Zheleznova et al., 2017), а также характеризуется высоким (до 10% от сухой массы) содержанием ПНЖК в биомассе.

Цель работы – исследовать влияние синего света на скорость биосинтеза фукоксантина *Cylindrotheca closterium* в оптически плотной культуре (3 г сухой биомассы на литр).

В работе использовали культуру бентосной диатомовой водоросли *Cylindrotheca closterium* (EhrenbERG) Reimann et Lewin из коллекции культур ИнБЮМ. Культуру *C. closterium* выращивали на питательной среде RS, все компоненты которой увеличены в 3 раза (Железнова, 2015), при постоянной температуре суспензии $20 \pm 1^\circ\text{C}$, в режиме накопительного культивирования в фотобиореакторах плоскопараллельного типа с рабочим объёмом 2 л, слоем 5 см, при освещении белыми и синими светодиодными лампами при цикле 18:6 белый:синий свет. Средняя облучённость рабочей поверхности фотобиореактора составляла $150 \mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ($33 \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-2}$). В процессе выращивания культуру барботировали воздухом (1,1 л воздуха на 1 л культуры в минуту) посредством компрессорной установки. Для увеличения растворимости атмосферного CO_2 в культуральной среде использовали насадку-диспергатор. Плотность культуры в начале накопительного культивирования составляла 0,1–0,2 г сухого вещества на 1 л. Для стимуляции биосинтеза фукоксантина использовали чередование источников излучения белый: синий свет в соотношении 18:6. Интенсивность синего света составляла $120 \mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$.

По результатам наших экспериментов концентрация фукоксантина достигла 23 мг/г сухой массы водорослей, что в пересчёте на литр культуры составляло 69 мг/л. Максимальная скорость накопления фукоксантина в клетках составила 4 мг/(г*сут) или соответственно в культуре – 12 мг/(л*сут). Скорость накопления фукоксантина была неравномерной, поэтому по-прежнему остается вопрос получения фукоксантина в проточной культуре *C. closterium*. Отмечена линейная зависимость между концентрацией фукоксантина в клетках и суммарных липидов. А также накопление ПНЖК. Рассматривая механизм действия синего спектра излучения на накопление фукоксантина, можно отметить следующее: синий свет повышает экспрессию ключевых ферментов, участвующих в биосинтезе каротиноидов, таких как фитоен-синтаза и фитоен-десатураза. Кроме того, воздействие синего света вызывает у диатомей легкий окислительный стресс, который может быть вторичным триггером для накопления каротиноидов. Однако, чрезмерный окислительный стресс может быть губительным, контролируемое воздействие синего света стимулирует антиоксидантную защиту, что приводит к увеличению производства фукоксантина и других защитных пигментов (Song et al., 2025). Таким образом, активация фоторецепторов синим светом запускает каскад сигнальных событий, приводящих к усиленному синтезу фукоксантина через регуляцию транскрипции генов, пост трансляционные модификации и перестройку фотосинтетического аппарата. Таким образом, *C. closterium* зарекомендовала себя как перспективный источник фукоксантина. Понимание механизмов влияния синего света на биосинтез фукоксантина в клетках позволит разработать технологию получения фукоксантина на основе проточной интенсивной культуры.

Работа выполнена в рамках госзадания ФИЦ ИнБЮМ РАН «Комплексное исследование механизмов функционирования морских биотехнологических комплексов с целью получения биологически активных веществ из гидробионтов» (№ 124022400152-1).

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов, требующего раскрытия в данной статье.

Список литературы

1. Геворгиз Р.Г., Железнова С.Н., Зозуля Ю.В., Уваров И.П., Репков А.П., Лелеков А.С. Промышленная технология производства биомассы морской диатомеи *Cylindrotheca closterium* (Ehrenberg) Reimann & Lewin с использованием газовыхревого фотобиореактора // Актуальные вопросы биологической физики и химии. 2016. № 1-1. С. 73–77.
2. Железнова С.Н., Геворгиз Р.Г., Бобко Н.И., Лелеков А.С. Питательная среда для интенсивной культуры диатомовой водоросли *Cylindrotheca closterium* (Ehrenb.) Reimann et Lewin – перспективного объекта биотехнологий // Актуальная биотехнология. 2015. № 3(14). С. 46–48.
3. Железнова С.Н. Продукционные характеристики морской диатомовой водоросли *Cylindrotheca closterium* (Ehrenb.) Reimann et Lewin в интенсивной культуре при различных источниках азота в питательной среде // Морской биологический журнал. 2019. Т.4, №1. С. 33–44. DOI: 10.21072/mbj.2019.04.1.04
4. Almeyda M.D., Scodelaro Bilbao P.G., Popovich C.A., Constenla D., Leonardi P.I. Enhancement of polyunsaturated fatty acid production under low-temperature stress in *Cylindrotheca closterium* // Journal of Applied Phycology. 2020. V.32. P. 989–1001. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10811-020-02047-x>
5. Ahmed S.A., Mendonca P., Elhag R., Soliman K.F.A. Anticancer effects of fucoxanthin through cell cycle arrest, apoptosis induction, angiogenesis inhibition, and autophagy modulation // International Journal of Molecular Sciences. 2022. V.23, №24. P. 1–27. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijms232416091>
6. Guan B., Chen K., Tong Z., Chen L., Chen Q., Su J. Advances in fucoxanthin research for the prevention and treatment of inflammation-related diseases // Nutrients. 2022. V.14, № 22. P. 1–13. DOI: <https://doi.org/10.3390/nu14224768>
7. Palanisamy K.M., Ab. Rahim M.H., Govindan N., Ramaraj R., Kuppusamy P., Maniam G.P. Effect of blue light intensity and photoperiods on the growth of diatom *Thalassiosira pseudonana* // Bioresource Technology Reports. 2022. V.19, №9. P. 1–18. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2022.101152>
8. Song Q., Liu C., Xu R., Cai L. Enhancement of fucoxanthin accumulation in *Phaeodactylum tricornutum* by light quality and intensity shift strategy // Chemical Engineering Journal. 2025. V.505, №11. P. 1–20. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2025.159388>
9. Wang S., Verma S.K., Said I.H., Thomsen L., Ullrich M.S., Kuhnert N. Changes in the fucoxanthin production and protein profiles in *Cylindrotheca closterium* in response to blue light-emitting diode light // Microbial Cell Factories. 2018. V.17, № 110. P. 1–13. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12934-018-0957-0>.
10. Zheleznova S.N., Gevorgiz R.G., Nekhoroshev M.V. Conditions optimization of the *Cylindrotheca closterium* (Ehrenberg) Reimann et Lewin cultivation in order to obtain a high yield of fucoxanthin // 3rd Russian Conference on Medicinal Chemistry (Kazan, 28 Sept. – 03 Oct., 2017): Abstr. book. – Kazan: Kazan Federal University, 2017. – P. 261.

Статья поступила в редакцию 18.06.2025; поступила после доработки 06.09.2025; принята к публикации 07.09.2025

Сведения об авторах

Железнова Светлана Николаевна – к.б.н., с.н.с., ФИЦ «Институт Биологии южных морей им. А.О. Ковалевского РАН», Россия, Севастополь (Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas RAS, Russia, Sevastopol), Отдел экологии бентоса; zheleznovasveta@yandex.ru; ORCID – <https://orcid.org/0000-0003-1800-5902>; SPIN-код 6678-0668.

Геворгиз Руслан Георгиевич – к.б.н., с.н.с., ФИЦ «Институт Биологии южных морей им. А.О. Ковалевского РАН», Россия, Севастополь (Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas RAS, Russia, Sevastopol), Отдел экологии бентоса; r.gevorgiz@yandex.ru; ORCID – <https://orcid.org/0000-0002-8017-5593>; SPIN-код 5327-4101.

Корреспондентский адрес: Россия, 299011, Севастополь, пр. Нахимова, д. 2, ИнБИОМ РАН, тел. (8692)55-07-95.

Influence of light spectral composition on the rate of fucoxanthin biosynthesis in the enhancement culture of the marine diatom *Cylindrotheca closterium*

Svetlana N. Zheleznova, Ruslan G. Gevorgiz

Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas RAS (Russia, Sevastopol)

Irradiation with blue light at $120 \mu\text{E m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ of an optically dense culture (3 g dry weight in litre) increased the rate of fucoxanthin and lipid biosynthesis in diatom *Cylindrotheca closterium*

under a 6 : 18 h blue:white light cycle. The fucoxanthin concentration reached 23 mg/g of dry weight, which is 69 mg/l per litre of culture. The maximum rate of fucoxanthin accumulation in cells was 4 mg/(g*day) or, respectively, 12 mg/(l*day) in culture. The rate of fucoxanthin accumulation was uneven, so the question of obtaining fucoxanthin in a flow *C. closterium* culture remains. A linear relationship was observed between the concentration of fucoxanthin in cells and total lipids.

Key words: Diatoms; *Cylindrotheca closterium*; blue light; fucoxanthin

References

1. Almeyda M.D., Scodelaro Bilbao P.G., Popovich C.A., Constenla D., Leonardi P.I. Enhancement of polyunsaturated fatty acid production under low-temperature stress in *Cylindrotheca closterium*. *Journal of Applied Phycology*. 2020. V.32. P. 989–1001. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10811-020-02047-x>
2. Ahmed S.A., Mendonca P., Elhag R., Soliman K.F.A. Anticancer effects of fucoxanthin through cell cycle arrest, apoptosis induction, angiogenesis inhibition, and autophagy modulation. *International Journal of Molecular Sciences*. 2022. V.23, №24. P. 1–27. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijms232416091>
3. Gevorgiz R.G., Zheleznova S.N., Zozulya Y.V., Uvarov I.P., Repkov A.P., Lelekov A.S. Industrial production technology biomass marine diatoms *Cylindrotheca closterium* (Ehrenberg) Reimann & Lewin using gas vortex photobioreactor. *Russian Journal of Biological Physics and Chemistry*. 2016. № 1-1. P. 73–77. (In Russ.)
4. Guan B., Chen K., Tong Z., Chen L., Chen Q., Su J. Advances in fucoxanthin research for the prevention and treatment of inflammation-related diseases. *Nutrients*. 2022. V.14, № 22. P. 1–13. DOI: <https://doi.org/10.3390/nu14224768>
5. Palanisamy K.M., Ab. Rahim M.H., Govindan N., Ramaraj R., Kuppusamy P., Maniam G.P. Effect of blue light intensity and photoperiods on the growth of diatom *Thalassiosira pseudonana*. *Bioresource Technology Reports*. 2022. V.19, №9. P. 1–18. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2022.101152>
6. Song Q., Liu C., Xu R., Cai L. Enhancement of fucoxanthin accumulation in *Phaeodactylum tricornutum* by light quality and intensity shift strategy. *Chemical Engineering Journal*. 2025. V.505, №11. P. 1–20. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2025.159388>
7. Wang S., Verma S.K., Said I.H., Thomsen L., Ullrich M.S., Kuhnert N. Changes in the fucoxanthin production and protein profiles in *Cylindrotheca closterium* in response to blue light-emitting diode light. *Microbial Cell Factories*. 2018. V.17, № 110. P. 1–13. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12934-018-0957-0>
8. Zheleznova S.N. Production characteristics of the diatom *Cylindrotheca closterium* (Ehrenb.) Reimann et Lewin grown in an intensive culture at various nitrogen sources in the medium. *Marine Biological Journal*. 2019. V.4, №1. P. 33–44. DOI: <https://doi.org/10.21072/mbj.2019.04.1.04> (In Russ.)
9. Zheleznova S.N., Gevorgiz R.G., Bobko N.I., Lelekov A.S. Culture medium for the intensive culture of of diatomic alga *Cylindrotheca closterium* (Ehrenb.) Reimann Et Lewin – promising biotech facility. *Topical biotechnology*. 2015. № 3(14). P. 46–48. (In Russ.)
10. Zheleznova S.N., Gevorgiz R.G., Nekhoroshev M.V. Conditions optimization of the *Cylindrotheca closterium* (Ehrenberg) Reimann et Lewin cultivation in order to obtain a high yield of fucoxanthin. Proceedings of 3rd Russian Conference on Medicinal Chemistry (Kazan, 28 Sept. – 03 Oct., 2017). Kazan Federal University, Kazan, 2017. P. 261.

ССЫЛКА НА СТАТЬЮ:

Железнова С.Н., Геворгиз Р.Г. Влияние спектрального состава света на скорость биосинтеза фукоксантина в накопительной культуре морской диатомы *Cylindrotheca closterium* // Вопросы современной альгологии. 2025. № 1 (37). P. 369–372. URL: <http://algology.ru/2225>

Zheleznova S.N., Gevorgiz R.G. Influence of light spectral composition on the rate of fucoxanthin biosynthesis in the enhancement culture of the marine diatom *Cylindrotheca closterium*. *Voprosy sovremennoi algologii (Issues of modern algology)*. 2025. № 1 (37). P. 369–372. URL: <http://algology.ru/2225>

DOI – [https://doi.org/10.33624/2311-0147-2025-1\(37\)-369-372](https://doi.org/10.33624/2311-0147-2025-1(37)-369-372); EDN – ZLVJNG

Сравнительный анализ биотехнологического потенциала отдельных представителей диатомовых и зелёных водорослей

Biotechnological potentials comparative analysis of diatoms and green algae's individual representatives

Кочубей А.В.¹, Яковийчук А.В.¹, Мальцева И.А.¹, Мальцев Е.И.²

Angelika V. Kochubey, Alexandr V. Yakoviichuk, Iryna A. Maltseva,
Yevhen I. Maltsev

¹Мелитопольский государственный университет (Мелитополь, Россия)

²Институт физиологии растений имени К.А. Тимирязева РАН – ИФР РАН
(Москва, Россия)

В работе проведена сравнительная характеристика биотехнологического потенциала морского штамма из класса Bacillariophyceae svn544 *Navicula salinicola* и почвенного штамма CAMU MZ–Ch39 *Bracteacoccus minor* из Chlorophyta. Установлено, что штамм CAMU MZ–Ch39 *Bracteacoccus minor* обладает большим биотехнологическим потенциалом. Он накапливает более высокие концентрации ценных метаболитов и обладает большей антиоксидантной устойчивостью относительно штамма svn544 *Navicula salinicola*.

Ключевые слова: антиоксидантная активность; витамин А; витамин Е; каротиноиды; липиды; жирные кислоты

Глобальная тенденция развития экономики и общества смещается в сторону построения более экологичного и устойчивого общества для борьбы с проблемами изменения климата и сохранения здоровья (Sharma et al., 2021). В связи с этим разработка и внедрение природоподобных технологий в биотехнологические производства приобретает все более широкое распространение. В Российской Федерации развитие данной отрасли производства утверждено и конкретизировано в пункте 21 пп и Указа Президента Российской Федерации от 28.02.2024 г. № 145 «О Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации».

Среди организмов, которые востребованы для производства фармацевтических препаратов, нутрицевтиков и продуктов питания, все чаще рассматривают микроводоросли (Khatoon, Pal, 2015; Олескин, Цао, 2022). Микроводоросли являются богатым источником таких биотехнологически ценных соединений, как белки, липиды, витамины, пигменты, жирные кислоты, аминокислоты и др. Состав метаболитов с присущими им специфическими полезными свойствами отличается у различных таксономических групп микроводорослей (Олескин, Цао, 2022). Среди биотехнологически ценных видов часто указываются виды диатомовых и зеленых

микроводорослей (Baldisserotto et al., 2019, Thoré et al., 2023). В числе биотехнологически ценных известны виды *Bracteacoccus* Tereg (Lukavský et al., 2023) и *Navicula* Bory (Михайлова и др., 2023).

Цель работы – провести сравнительную характеристику биотехнологического потенциала *Navicula salinicola* Hustedt (штамм svn544) и *Bracteacoccus minor* (Schmidle ex Chodat) Petrová (штамм CAMU MZ–Ch39).

Культивирование морского штамма *Navicula salinicola* svn544 проводили на среде ESAW, а почвенного *Bracteacoccus minor* CAMU MZ–Ch39 – на среде BBM. Изучали следующие биохимические показатели: содержание хлорофиллов, каротиноидов, липидов, витаминов А, Е, состав жирных кислот. Антиоксидантную устойчивость оценивали по коэффициенту антиоксидантной активности (КААС) (Maltseva et al., 2024). Исследования осуществляли при достижении культурами стационарной фазы роста на 18 день. Культуры выращивали в колбах Эрленмейера при стандартном освещении 5000 лк.

В ходе исследования установлены различия в биотехнологическом потенциале как с точки зрения устойчивости штаммов к воздействию возможного стрессора, так и по составу отдельных ценных метаболитов. Анализ значений коэффициента антиоксидантной активности (КААС) и соотношения каротиноиды/хлорофилл *a* свидетельствует, что *Bracteacoccus minor* CAMU MZ–Ch39 характеризуется более высокой антиоксидантной устойчивостью и метаболическим потенциалом, чем *Navicula salinicola* svn544.

Биомасса *Navicula salinicola* svn544 на 18 день культивирования составляла 1,47 г/л, что на 11,4% выше, чем у *Bracteacoccus minor* CAMU MZ–Ch39. Штаммы с высокой скоростью роста считаются более предпочтительными биотехнологическими объектами при условии достаточной продуктивности по целевому продукту. Однако в данном случае при меньшем накоплении биомассы содержание ценных метаболитов у *Bracteacoccus minor* CAMU MZ–Ch39 было выше.

Для штамма *Bracteacoccus minor* CAMU MZ–Ch39 характерно повышенное относительно *Navicula salinicola* svn544 содержание витамина А, каротиноидов и липидов при сопоставимом содержании витамина Е. В частности, содержание ретинола выше в 6,2 раза, каротиноидов – в 1,9 раз, липидов – в 5,9 раз. При этом жирнокислотный состав липидов значительно отличался. В липидах *Navicula salinicola* svn544 установлено пониженное в 2,95 и 28,54 раза содержание омега-3 и омега-6 относительно *Bracteacoccus minor* CAMU MZ–Ch39. Хотя в составе липидов *Navicula salinicola* svn544 идентифицирован ряд полиненасыщенных жирных кислот, среди которых: 22:6n-3 (1,2% от общего количества жирных кислот), 20:5n-3 (5,3%), 18:4n-3 (1,5%). В липидах *Bracteacoccus minor* CAMU MZ–Ch39 такие кислоты отсутствуют, а из ненасыщенных преобладают моно-, ди- и триеновые кислоты: 18:1n-9 (12,24% от общего количества жирных кислот), 18:3n-3 (31,04%) и 18:2n-6 (27,06%).

Биомасса *Navicula salinicola* svn544 содержит 84,2 мг/л липидов, а также ценные полиненасыщенные жирные кислоты, что делает её ценным объектом кормовой базы гидробионтов. *Bracteacoccus minor* CAMU MZ–Ch39 продуцирует более высокие количества липидов (499,2 мг/л) и жирные кислоты, обладающие специфической биологической активностью, что может быть востребовано, например, при производстве кормовых добавок.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов, требующего раскрытия в данной статье.

Список литературы

1. Михайлова Е.В., Попов С.С., Бредихина Т.А. Диатомовые водоросли рода *Navicula*: потенциальное высокопродуктивное сырье для фармацевтической промышленности // Прикладные

- информационные аспекты медицины. 2023. Т. 26. №4. С. 103–114. URL: <https://new.vestnik-surgery.com/index.php/2070-9277/article/view/9323>. DOI: <https://doi.org/10.18499/2070-9277-2023-26-4-%25p>
2. Олескин А.В., Цао Б. Микроводоросли как биотехнологические объекты // Вопросы современной альгологии. 2022. №3 (30). С. 1–23. DOI: [https://doi.org/10.33624/2311-0147-2022-3\(30\)-1-23](https://doi.org/10.33624/2311-0147-2022-3(30)-1-23)
3. Baldissarotto C., Sabia A., Ferroni L., Pancaldi S. Biological aspects and biotechnological potential of marine diatoms in relation to different light regimens // World journal of microbiology & biotechnology. 2019. Vol. 35, Iss. 2. ID 35. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11274-019-2607-z>
4. Khatoon N., Pal R. Microalgae in biotechnological application: a commercial approach // Bahadur B., Venkat Rajam M., Sahijram L., Krishnamurthy K. (ed.). Plant Biology and Biotechnology. – New Delhi: Springer, 2015. DOI: https://doi.org/10.1007/978-81-322-2283-5_2
5. Lukavský J., Kopecký J., Kubáč D., Kviderová J., Procházková L., Řezanka T. The alga *Bracteacoccus bullatus* (Chlorophyceae) isolated from snow, as a source of oil comprising essential unsaturated fatty acids and carotenoids // J Appl Phycol. 2023. V.35. P. 649–660. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10811-023-02916-1>
6. Maltseva I., Yakoviichuk A., Maltseva S., Cherkashina S., Kulikovskiy M., Maltsev Y. Biochemical and antioxidant characteristics of *Chlorococcum oleofaciens* (Chlorophyceae, Chlorophyta) under various cultivation conditions // Plants. 2024. V.13. ID 2413. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants13172413>
7. Sharma N., Simon D.P., Diaz-Garza A.M., Fantino E., Messaabi A., Meddeb-Mouelhi F., Germain H., Desgagné-Penix I. Diatoms biotechnology: various industrial applications for a greener tomorrow // Frontiers in Marine Science. 2021. V.8. ID 636613. DOI: <https://doi.org/10.3389/fmars.2021.636613>
8. Thoré E.S.J., Muylaert K., Bertram M.G., Brodin T. Microalgae // Current Biology. 2023. V.33, Is.3. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cub.2022.12.032>

Статья поступила в редакцию 18.06.2025; поступила после доработки 06.09.2025; принята к публикации 07.09.2025

Сведения об авторах

Кочубей Анжелика Владимировна – ст. преподаватель, Мелитопольский государственный университет, Россия, Мелитополь (Melitopol State University, Russia, Melitopol), каф. биологии и биологического образования; KochubeyA92@yandex.ru; ORCID – <https://orcid.org/0009-0004-8040-4167>; SPIN-код 4166-6049.

Яковичук Александр Владимирович – к.б.н., доцент, Мелитопольский государственный университет, Россия, Мелитополь (Melitopol State University, Russia, Melitopol), каф. химии и химического образования; alex.yakov1991@gmail.com; ORCID – <https://orcid.org/0000-0003-4667-3684>; SPIN-код 9767-0220.

Мальцева Ирина Андреевна – д.б.н., профессор, декан факультета естественных наук, Мелитопольский государственный университет, Россия, Мелитополь (Melitopol State University, Russia, Melitopol); maltseva-irina22@yandex.ru; ORCID – <https://orcid.org/0000-0002-7517-529X>; SPIN-код 9417-0058.

Мальцев Евгений Иванович – д.б.н., доцент, в.н.с., Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН (ИФР РАН), Россия, Москва (Timiryazev Institute of Plant Physiology, RAS, Russia, Moscow); maltsev.ye@yandex.ru; ORCID – <https://orcid.org/0000-0003-4710-319X>; SPIN-код 9410-6478.

Корреспондентский адрес: Россия, 127276, Москва, ул. Ботаническая, д. 35, ИФР РАН, тел. (499) 678-54-00.

Biotechnological potentials comparative analysis of diatoms and green algae's individual representatives

Angelika V. Kochubey¹, Alexandr V. Yakoviichuk^{1,2}, Iryna A. Maltseva¹,
Yevhen I. Maltsev²

¹Melitopol State University (Russia, Melitopol)

²Timiryazev Institute of Plant Physiology, RAS (Russia, Moscow)

A comparative characteristic of the biotechnological potential of the marine strain from the class Bacillariophyceae svn544 *Navicula salinicola* and the soil strain CAMU MZ–Ch39

Bracteacoccus minor from Chlorophyta was carried out. The MZ–Ch39 *Bracteacoccus minor* strain has great biotechnological potential. It accumulates higher concentrations of valuable metabolites and has greater antioxidant resistance relative to the svn544 *Navicula salinicola* strain.

Key words: antioxidant activity; vitamins; vitamin E; carotenoids; lipids; fatty acids

References

1. Baldisserotto C., Sabia A., Ferroni L., Pancaldi S. Biological aspects and biotechnological potential of marine diatoms in relation to different light regimens. *World journal of microbiology & biotechnology*. 2019. Vol. 35, Iss. 2. P. 35. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11274-019-2607-z>
2. Khatoun N., Pal R. Microalgae in biotechnological application: a commercial approach. In: Bahadur B., Venkat Rajam M., Sahijram L., Krishnamurthy K. (Eds.). *Plant Biology and Biotechnology*. Springer, New Delhi, 2015. DOI: https://doi.org/10.1007/978-81-322-2283-5_2
3. Lukavský J., Kopecký J., Kubáč D., Kvíderová J., Procházková L., Řezanka T. The alga *Bracteacoccus bullatus* (Chlorophyceae) isolated from snow, as a source of oil comprising essential unsaturated fatty acids and carotenoids. *J Appl Phycol*. 2023. V.35. P. 649 – 660. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10811-023-02916-1>
4. Maltseva I., Yakoviichuk A., Maltseva S., Cherkashina S., Kulikovskiy M., Maltsev Y. Biochemical and antioxidant characteristics of *Chlorococcum oleofaciens* (Chlorophyceae, Chlorophyta) under various cultivation conditions. *Plants*. 2024. V.13. ID 2413. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants13172413>
5. Mikhaylova E.V., Popov S.S., Bredikhina T.A. Diatom algae of the genus *Navicula* – a potential highly productive raw material for the pharmaceutical industry. *Applied Information Aspects of Medicine*. 2023. V. 26. № 4. P. 103–114. URL: <https://new.vestnik-surgery.com/index.php/2070-9277/article/view/9323>. DOI: <https://doi.org/10.18499/2070-9277-2023-26-4-%25p> (In Russ.)
6. Oleskin A.V., Cao Boyang. Microalgae in terms of modern-day biotechnology. *Voprosy sovremennoi algologii (Issues of modern algology)*. 2022. № 3 (30). P. 1–23. URL: <http://algology.ru/1839>. DOI: [https://doi.org/10.33624/2311-0147-2022-3\(30\)-1-23](https://doi.org/10.33624/2311-0147-2022-3(30)-1-23) (In Russ.)
7. Sharma N., Simon D.P., Diaz-Garza A.M., Fantino E., Messaabi A., Meddeb-Mouelhi F., Germain H., Desgagné-Penix I. Diatoms biotechnology: various industrial applications for a greener tomorrow. *Frontiers in Marine Science*. 2021. V.8. ID 636613. DOI: <https://doi.org/10.3389/fmars.2021.636613>
8. Thoré E.S.J., Muylaert K., Bertram M.G., Brodin T. Microalgae. *Current Biology*. 2023. V.33, Is.3. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cub.2022.12.032>

ССЫЛКА НА СТАТЬЮ:

Кочубей А.В., Яковийчук А.В., Мальцева И.А., Мальцев Е.И. Сравнительный анализ биотехнологического потенциала отдельных представителей диатомовых и зелёных водорослей // Вопросы современной альгологии. 2025. № 1 (37). P. 373–376. URL: <http://algology.ru/2226>

Kochubey A.V., Yakoviichuk A.V., Maltseva I.A., Maltsev Y.I. Biotechnological potentials comparative analysis of diatoms and green algae's individual representatives. *Voprosy sovremennoi algologii (Issues of modern algology)*. 2025. № 1 (37). P. 373–376 URL: <http://algology.ru/2226>

DOI – [https://doi.org/10.33624/2311-0147-2025-1\(37\)-373-376](https://doi.org/10.33624/2311-0147-2025-1(37)-373-376); EDN – XFCJXB

Особенности профилей жирных кислот морских диатомовых водорослей

Characteristics of fatty acid profiles of marine diatoms

Кривова З.В., Кезля Е.М., Куликовский М.С., Мальцев Е.И.

Zinaida V. Krivova, Elena M. Kezlya, Maxim S. Kulikovskiy,
Yevhen I. Maltsev

Институт физиологии растений имени К.А. Тимирязева РАН – ИФР РАН
(Москва, Россия)

Диатомовые водоросли считаются одной из самых разнообразных и широко распространённых групп микроводорослей. Несмотря на это количество работ посвящённых исследованию их жирнокислотного состава невелико. Текущая работа направлена на изучение профилей жирных кислот морских штаммов рода *Psammodyctyon*. Штаммы были выделены из Южно-Китайского моря (Вьетнам). В ходе работы установлено, что доминантными для исследуемых объектов являются насыщенные пальмитиновая и стеариновая, также отмечены омега-3 полиненасыщенные эйкозапентаеновая и докозагексаеновая жирные кислоты.

Ключевые слова: *Psammodyctyon*; Вьетнам; диатомовые водоросли; жирные кислоты

Диатомовые водоросли способны вырабатывать в среднем около 25% липидов от сухого веса (Elfituri et al., 2024), что делает их привлекательным объектом для изучения в области биотехнологических исследований. Для большинства видов *Psammodyctyon* состав жирных кислот общих липидов неизвестен. В литературных источниках есть данные о профиле жирных кислот морского штамма *MASS 35 P. panduriforme* (W.Gregory) D.G.Mann, выделенного на западном побережье Индии. Для него отмечены насыщенные пальмитиновая, миристиновая, арахидовая и стеариновая кислоты и мононенасыщенная олеиновая (Krishnaswami et al., 2024).

Материалом для данной работы послужили штаммы *Psammodyctyon*, выделенные из проб эпилитона и образцов песка, отобранных в прибрежной части Южно-Китайского моря (Вьетнам) в 2024 году. Изоляция отдельных клеток проводилась с помощью микропипетки под световым инвертированным микроскопом Zeiss AxioScope A1 (Германия) с очищением каждой клетки в нескольких каплях дистиллированной воды. Альгологически чистые монокультуры водорослей содержались в жидкой среде ESAW (Polyakova et al., 2018) в чашках Петри (90 мм) при 25°C и постоянном освещении 100 мкмоль фотонов м⁻²·с⁻¹. Таксономическое положение штаммов определяли с помощью анализа морфологии и молекулярно-генетических исследований. Выделение ДНК из диатомовых водорослей проводили набором InstaGene Matrix (BIO RAD, США) в соответствии с протоколом производителя. Последовательности, кодирующие баркодинговый регион V4 гена

18S рРНК (390–410 н.), были амплифицированы с использованием праймеров D512 и D978 (Zimmermann et al., 2015). Последовательности, кодирующие хлоропластный ген *rbcL*, были амплифицированы с помощью праймеров *rbcL40+* (Ruck et al., 2011) и *rbcL1444* (Alverson et al., 2007). Для получения жирнокислотных профилей использовался метод экстрагирования метиловых эфиров жирных кислот (МЭЖК) с помощью гексана. Состав МЭЖК определяли с использованием ГХ-МС (газовая хроматография/масс-спектрометрия) на приборе Agilent 7890A GC (Agilent Technologies, Inc., США) с 60-м капиллярной колонкой DB-23 с внутренним диаметром 0,25 мм. Штаммы были проанализированы после достижения стационарной фазы роста.

В работе сравнивали профили жирных кислот трёх морских штаммов: *Psammodyctyon* sp. SVN 776, *Psammodyctyon* sp. SVN 830, *Psammodyctyon* sp. SVN 839. Для исследуемых штаммов показано, что доминантными жирными кислотами являются насыщенные пальмитиновая (52,01%; 49,28%; 55,24%) и стеариновая (37,06%; 37,03%; 35,68%) жирные кислоты. Также все штаммы накапливают невысокий процент полиненасыщенной длинноцепочечной омега-3 эйкозапентаеновой (6,25%; 10,86%; 6,19%) и докозагексаеновой (2,27%; 0,28%; 1,49%) и мононенасыщенной пальмитолеиновой (2,4%; 2,55%; 1,4%) кислот. Штаммы накапливают высокие концентрации насыщенных жирных кислот и практически не запасают мононенасыщенные и полиненасыщенные. Следовательно, при дальнейшем изучении данных штаммов стоит делать акцент на их практическом применении в качестве продуцентов насыщенных жирных кислот.

Работа выполнена при поддержке гранта Российского научного фонда (проект № 23-74-10081, <https://rscf.ru/project/23-74-10081/>).

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов, требующего раскрытия в данной статье.

Список литературы

1. Alverson A.J., Jansen R.K., Theriot E.C. Bridging the Rubicon: phylogenetic analysis reveals repeated colonizations of marine and fresh waters by thalassiosiroid diatoms // *Molecular phylogenetics and evolution*. 2007. V. 45, № 1. P. 193–210. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ympev.2007.03.024>.
2. Elfituri A. M., Rahman M. A., Yusoff F. M., Banerjee S., Dalhum E. Growth Rate, Lipid and Fatty Acids Content in Some Marine and Freshwater Diatoms // *Journal of King Abdulaziz University: Marine Sciences*. 2024. V. 34, №. 2. DOI:10.4197/Mar.34-2.5
3. Krishnaswami I., Sabu S., Singh I. B., Joseph V. Marine benthic diatom *Psammodyctyon panduriforme* (MACC 35) as a potent producer of long chain hydrocarbons and fatty acids of biofuel significance // *Algal Research*. 2024. V. 79. ID 103492. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.algal.2024.103492>
4. Polyakova S.L., Davidovich O.I., Podunay Yu.A., Davidovich N.A. Modification of the ESAW culture medium used for cultivation of marine diatoms // *Marine Biological Journal*. 2018. V.3, №2. P. 73–80. DOI: <https://doi.org/10.21072/mbj.2018.03.2.06>
5. Ruck E.C., Theriot E.C. Origin and evolution of the canal raphe system in diatoms // *Protist*. 2011. V.162, №5. P. 723–737. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.protis.2011.02.003>.
6. Zimmermann J., Glöckner G., Jahn R., Enke N., Gemeinholzer B. Metabarcoding vs. morphological identification to assess diatom diversity in environmental studies // *Molecular ecology resources*. 2015. V.15, №3. P. 526–542. DOI: <https://doi.org/10.1111/1755-0998.12336>

Статья поступила в редакцию 18.06.2025; поступила после доработки 10.09.2025; принята к публикации 10.09.2025

Сведения об авторах

Кривова Зинаида Викторовна – н.с., Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН (ИФР РАН), Россия, Москва (Timiryazev Institute of Plant Physiology, RAS, Russia, Moscow); kosiapereva@mail.ru; ORCID – <https://orcid.org/0000-0002-9928-4810>; SPIN-код 3675-3153.

Кезля Елена Михайловна – к.б.н., с.н.с., Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН (ИФР РАН), Россия, Москва (Timiryazev Institute of Plant Physiology, RAS, Russia, Moscow); melosira@mail.ru; ORCID – <https://orcid.org/0000-0002-5263-9338>; SPIN-код 3196-8240.

Куликовский Максим Сергеевич – д.б.н., г.н.с., Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН (ИФР РАН), Россия, Москва (Timiryazev Institute of Plant Physiology, RAS, Russia, Moscow); max-kulikovsky@yandex.ru; ORCID – <https://orcid.org/0000-0003-0999-9669>; SPIN-код 4170-2884.

Мальцев Евгений Иванович – д.б.н., в.н.с., Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН (ИФР РАН), Россия, Москва (Timiryazev Institute of Plant Physiology, RAS, Russia, Moscow); maltsev.ye@yandex.ru; ORCID – <https://orcid.org/0000-0003-4710-319X>; SPIN-код 9410-6478.

Корреспондентский адрес: Россия, 127276, Москва, ул. Ботаническая, д. 35, ИФР РАН, тел. (499) 678-54-00.

Characteristics of fatty acid profiles of marine diatoms

Zinaida V. Krivova, Elena M. Kezlya, Maxim S. Kulikovskiy, Yevhen I. Maltsev

Timiryazev Institute of Plant Physiology, RAS (Russia, Moscow)

Diatoms are considered one of the most diverse and widespread groups of microalgae. Despite this, the number of studies devoted to the study of their fatty acid composition is not big. The current work is aimed at studying the fatty acid profiles of marine strains of the genus *Psammodictyon*. The strains were isolated from South China Sea (Vietnam). In the course of the work, it was found that saturated palmitic and stearic acid are dominant for the studied objects, and omega-3 polyunsaturated eicosapentaenoic and docosahexaenoic fatty acids are also noted.

Key words: *Psammodictyon*; Vietnam; diatoms; fatty acids

References

1. Alverson A.J., Jansen R.K., Theriot E.C. Bridging the Rubicon: phylogenetic analysis reveals repeated colonizations of marine and fresh waters by thalassiosiroid diatoms. *Molecular phylogenetics and evolution*. 2007. V. 45, № 1. P. 193–210. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ympev.2007.03.024>.
2. Elfrituri A. M., Rahman M. A., Yusoff F. M., Banerjee S., Dalhum E. Growth Rate, Lipid and Fatty Acids Content in Some Marine and Freshwater Diatoms. *Journal of King Abdulaziz University: Marine Sciences*. 2024. V. 34, №. 2. DOI:10.4197/Mar.34-2.5
3. Krishnaswami I., Sabu S., Singh I. B., Joseph V. Marine benthic diatom *Psammodictyon panduriforme* (MACC 35) as a potent producer of long chain hydrocarbons and fatty acids of biofuel significance. *Algal Research*. 2024. V. 79. ID 103492. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.algal.2024.103492>
4. Polyakova S.L., Davidovich O.I., Podunay Yu.A., Davidovich N.A. Modification of the ESAW culture medium used for cultivation of marine diatoms. *Marine Biological Journal*. 2018. V.3, №2. P. 73–80. DOI: <https://doi.org/10.21072/mbj.2018.03.2.06>
5. Ruck E.C., Theriot E.C. Origin and evolution of the canal raphe system in diatoms. *Protist*. 2011. V.162, №5. P. 723–737. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.protis.2011.02.003>.
6. Zimmermann J., Glöckner G., Jahn R., Enke N., Gemeinholzer B. Metabarcoding vs. morphological identification to assess diatom diversity in environmental studies. *Molecular ecology resources*. 2015. V.15, №3. P. 526–542. DOI: <https://doi.org/10.1111/1755-0998.12336>

ССЫЛКА НА СТАТЬЮ:

Кривова З.В., Кезля Е.М., Куликовский М.С., Мальцев Е.И. Особенности профилей жирных кислот морских диатомовых водорослей // Вопросы современной альгологии. 2025. № 1 (37). P. 377–379. URL: <http://algology.ru/2227>

Krivova Z.V., Kezlya E.M., Kulikovskiy M.S., Maltsev Y.I. Characteristics of fatty acid profiles of marine diatoms. *Voprosy sovremennoi algologii (Issues of modern algology)*. 2025. № 1 (37). P. 377–379. URL: <http://algology.ru/2227>

DOI – [https://doi.org/10.33624/2311-0147-2025-1\(37\)-377-379](https://doi.org/10.33624/2311-0147-2025-1(37)-377-379); EDN – CWWLRT

Мультиомиксные аспекты поиска биотехнологически ценных штаммов диатомовых водорослей

Multi-omics aspects of the study for biotechnologically valuable diatom strains

Мальцев Е.И.¹, Кривова З.В.¹, Яковийчук А.В.^{1,2}, Мальцева С.Ю.¹

Yevhen I. Maltsev, Zinaida V. Krivova, Alexandr V. Yakoviichuk,
Svetlana Yu. Maltseva

¹Институт физиологии растений имени К.А. Тимирязева РАН – ИФР РАН
(Москва, Россия)

²Мелитопольский государственный университет (Мелитополь, Россия)

Использование мультиомиксного подхода для оценки биотехнологического потенциала микроводорослей представлено на примере диатомовых водорослей *Nitzschia pusilla* и *Navicula salinicola*. С помощью метода главных компонент изучено изменение содержания липидов, антиоксидантов, хлорофилла, липидов и жирных кислот в зависимости от концентрации азота и фосфора в среде культивирования. Установлено, что штамм *Nitzschia pusilla* mns105 характеризуется высоким содержанием ретинола и омега-3 жирных кислот, что делает его биомассу перспективным сырьем для фармацевтики и пищевой индустрии. В то же время штамм *Navicula salinicola* svn532 отличается повышенным уровнем накопления каротиноидов и α-токоферола, что представляет интерес для разработки технологий его промышленного культивирования в интересах агробиотехнологии.

Ключевые слова: биотехнология; водоросли; метод главных компонент; метаболом

Углубленное изучение различных аспектов строения и функционирования живых организмов и накопление большого массива данных закономерно требует и их интеграции, построения новых целостных представлений о биологических системах различного уровня, синтеза традиционных и новых методов и идей, особенно для решения глобальных задач, таких как обеспечение высококачественным и экологичным продовольствием населения, используя ресурсный потенциал различных групп живых организмов, в том числе микроводорослей. Новая область научных знаний сегодня формируется с помощью омиксных технологий. Они позволяют осуществлять широкомасштабный анализ биологических систем на различных уровнях и являются новой ступенью к пониманию основ их функционирования. Данные, полученные с помощью анализа мультиомиксных аспектов (филогенетических, экологических, географических, биохимических, транзистентных), представляют высокую ценность для характеристики сложных механизмов регуляции метаболизма микроводорослей, разработки новых стратегий перенаправления метаболических путей определенных штаммов микроводорослей с целью накопления ценных для биотехнологического использования соединений.

В ходе эксперимента с градиентом изменений концентраций азота и фосфора (Maltsev et al., 2023) в питательной среде ESAW (Полякова и др., 2018) проанализированы изменения ключевых характеристик метаболома (содержание липидов, хлорофиллов и их предшественников, каротиноидов, α -токоферола, ретинола, белка и состава жирных кислот) и активности антиоксидантной системы солоноводных штаммов *Nitzschia pusilla* Grunow и морских штаммов *Navicula salinicola* Hustedt.

Среди штаммов *Nitzschia pusilla* наивысшая антиоксидантная устойчивость установлена для mns105, а наименьшая для mns7. Основной вклад в формирование антиоксидантного ответа для *Nitzschia pusilla* вносил ретинол, а остальные компоненты антиоксидантной защиты формировали его в меньшей мере. В связи с этим антиоксидантная активность *Nitzschia pusilla* mns105 была минимальной при повышенном содержании каротиноидов, α -токоферола, высокой активности ферментов антиоксидантной защиты, но при пониженной концентрации ретинола. Применение питательного стресса для штаммов *Nitzschia pusilla* приводило к увеличению накопления ретинола у штамма mns105. Кроме того, для mns105 установлена повышенная ненасыщенность жирных кислот, обусловленная в первую очередь содержанием омега-3. Это делает штамм mns105 перспективным продуцентом данных биопродуктов. Штамм *Nitzschia pusilla* mns7 характеризовался интенсивным накоплением каротиноидов, при этом биотехнологический потенциал штамма был выше по сравнению с mns105, что подтверждалось высоким содержанием хлорофиллов.

Для штаммов *Navicula salinicola* высокая антиоксидантная устойчивость зафиксирована для svn532 при достоверно не отличающейся ненасыщенности жирных кислот по сравнению с svn544. Для данной пары штаммов отмечен определяющий вклад в формирование антиоксидантной устойчивости ретинола и ферментов антиоксидантной защиты, показатели которых у штаммов были на близком уровне. Однако для *Navicula salinicola* svn532 весомый вклад также вносили каротиноиды и α -токоферол, на фоне повышенных концентраций которых установлена высокая антиоксидантная активность. С точки зрения биотехнологического потенциала штамм svn532 более ценен, на что указывало повышенное содержание хлорофиллов, а характер формирования антиоксидантного ответа в условиях накопительной культуры позволяет использовать его в качестве источника каротиноидов и α -токоферола.

С помощью метода главных компонент были исследованы зависимости между накоплением липидов и липидной продуктивностью штаммов *Nitzschia pusilla*, *Navicula salinicola* и количеством азота в среде культивирования, интенсивностью света, продолжительностью культивирования, содержанием фосфора и соотношением N:P. Визуализация исследованных наблюдений в проекционном пространстве главных компонент с одновременным нанесением векторов различных переменных показала, что исследованные штаммы диатомовых водорослей были расположены преимущественно вдоль векторов содержания азота и фосфора и, соответственно наиболее отличаются между собой по реакции на доступность их в среде культивирования. При этом содержание липидов у исследованных штаммов достигало 39,8%, а липидная продуктивность – 55 мг/л×день. Эти максимумы наблюдались при содержании азота 0,025-0,247 г/л и фосфора – 0,0003 г/л.

В целом, для изученных штаммов установлена высокая специфичность антиоксидантной активности, что детерминировано экологическими факторами природных условий обитания и специфическими характеристиками штаммов. Для дальнейшего использования в биотехнологических целях с высокой вероятностью найдет применение биомасса штамма *Navicula salinicola* svn532 для одновременного получения α -токоферола и каротиноидов, а также *Nitzschia pusilla* mns105 в качестве продуцента ретинола и полиненасыщенных жирных кислот.

Работа выполнена при поддержке гранта Российского научного фонда (проект № 23-74-10081, <https://rscf.ru/project/23-74-10081/>).

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов, требующего раскрытия в данной статье.

Список литературы

1. Maltsev Y., Kulikovskiy M., Maltseva S. Nitrogen and phosphorus stress as a tool to induce lipid production in microalgae // Microbial Cell Factories. 2023. V.22. ID 239. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12934-023-02244-6>

2. Polyakova S.L., Davidovich O.I., Podunay Yu.A., Davidovich N.A. Modification of the ESAW culture medium used for cultivation of marine diatoms // Marine Biological Journal. 2018. V.3, №2. P. 73–80. DOI: <https://doi.org/10.21072/mbj.2018.03.2.06>

Статья поступила в редакцию 18.06.2025; поступила после доработки 10.09.2025; принята к публикации 10.09.2025

Сведения об авторах

Мальцев Евгений Иванович – д.б.н., доцент, в.н.с., Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН (ИФР РАН), Россия, Москва (Timiryazev Institute of Plant Physiology, RAS, Russia, Moscow); maltsev.ye@yandex.ru; ORCID – <https://orcid.org/0000-0003-4710-319X>; SPIN-код 9410-6478.

Кривова Зинаида Викторовна – н.с., Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН (ИФР РАН), Россия, Москва (Timiryazev Institute of Plant Physiology, RAS, Russia, Moscow); kosiapera@mail.ru; ORCID – <https://orcid.org/0000-0002-9928-4810>; SPIN-код 3675-3153.

Яковичук Александр Владимирович – к.б.н., м.н.с., Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН (ИФР РАН), Россия, Москва (Timiryazev Institute of Plant Physiology, RAS, Russia, Moscow); доцент, Мелитопольский государственный университет, Россия, Мелитополь (Melitopol State University, Russia, Melitopol), каф. химии и химического образования; alex.yakov1991@gmail.com; ORCID – <https://orcid.org/0000-0003-4667-3684>; SPIN-код 9767-0220.

Мальцева Светлана Юрьевна – к.б.н., с.н.с., Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН (ИФР РАН), Россия, Москва (Timiryazev Institute of Plant Physiology, RAS, Russia, Moscow); svetadm32@gmail.com; ORCID – <https://orcid.org/0000-0002-6060-3968>; SPIN-код 3709-5940.

Корреспондентский адрес: Россия, 127276, Москва, ул. Ботаническая, д. 35, ИФР РАН, тел. (499) 678-54-00.

Multi-omics aspects of the study for biotechnologically valuable diatom strains

Yevhen I. Maltsev¹, Zinaida V. Krivova¹, Alexandr V. Yakoviichuk^{1,2},
Svetlana Yu. Maltseva¹

¹Timiryazev Institute of Plant Physiology, RAS (Russia, Moscow)

²Melitopol State University (Russia, Melitopol)

The use of a multi-omics approach to assess the biotechnological potential of microalgae is presented using the diatoms *Nitzschia pusilla* and *Navicula salinicola* as an example. The principal component analysis was used to study changes in the content of lipids, antioxidants, chlorophyll, lipids, and fatty acids depending on the concentration of nitrogen and phosphorus in the culture medium. It was found that the *Nitzschia pusilla* mns105 strain is characterised by a high content of retinol and omega-3 fatty acids, which makes its biomass a promising raw material for pharmaceuticals and the food industry. At the same time, the *Navicula salinicola* svn532 strain is characterised by an increased level of accumulation of carotenoids and α -tocopherol, which is of

interest for the development of technologies for its industrial cultivation in the interests of agrobiotechnology.

Key words: biotechnology; algae; principal component analysis; metabolome

References

1. Maltsev Y., Kulikovskiy M., Maltseva S. Nitrogen and phosphorus stress as a tool to induce lipid production in microalgae. *Microbial Cell Factories*. 2023. V.22. ID 239. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12934-023-02244-6>
2. Polyakova S.L., Davidovich O.I., Podunay Yu.A., Davidovich N.A. Modification of the ESAW culture medium used for cultivation of marine diatoms. *Marine Biological Journal*. 2018. V.3, №2. P. 73–80. DOI: <https://doi.org/10.21072/mbj.2018.03.2.06>

ССЫЛКА НА СТАТЬЮ:

Мальцев Е.И., Кривова З.В., Яковийчук А.В., Мальцева С.Ю. Мультиомиксные аспекты поиска биотехнологически ценных штаммов диатомовых водорослей // Вопросы современной альгологии. 2025. № 1 (37). P. 380–383. URL: <http://algology.ru/2228>

Maltsev Y.I., Krivova Z.V., Yakoviichuk A.V., Maltseva S.Y. Multi-omics aspects of the study for biotechnologically valuable diatom strains. *Voprosy sovremennoi algologii (Issues of modern algology)*. 2025. № 1 (37). P. 380–383. URL: <http://algology.ru/2228>

DOI – [https://doi.org/10.33624/2311-0147-2025-1\(37\)-380-383](https://doi.org/10.33624/2311-0147-2025-1(37)-380-383); EDN – HODYZX

Криоконсервация диатомовой водоросли *Melosira* sp.

Cryopreservation of *Melosira* sp. (Bacillariophyta)

Маркина Ж.В., Борода А.В.

Zhanna V. Markina, Andrei V. Boroda

*Национальный научный центр морской биологии имени А.В. Жирмунского ДВО РАН –
ННЦМБ ДВО РАН (Владивосток, Россия)*

Интерес к криоконсервации микроводорослей актуален более 60 лет, однако разработать универсальный протокол для замораживания-оттаивания невозможно и его подбирают эмпирически. Мы провели успешную криоконсервацию диатомовой водоросли *Melosira* sp. в присутствии 5% диметилсульфоксида и 2% поливинилпирролидона ступенчатым режимом замораживания. Диметилсульфоксид оказался более эффективным, позволяя сохранять большее количество клеток и их пролиферативный потенциал после оттаивания.

Ключевые слова: диатомовые водоросли; *Melosira* sp.; криоконсервация; криопротекторы

Интерес к криоконсервации одноклеточных водорослей возник с 1960-х годов и данная тема остается актуальной до сих пор. Разработка универсального протокола для криоконсервации невозможна из-за недостаточного понимания всех механизмов повреждения клеток в процессах замораживания и оттаивания, а также из-за значительных морфологических и биохимических отличий между микроводорослями (Abreu et al., 2012). Морские виды микроводорослей, особенно образующие многоклеточные скопления, имеющие крупные клетки и вакуоли являются сложными для криосохранения. Цель настоящей работы заключалась в разработке способа криоконсервации водоросли *Melosira* sp. (Bacillariophyta) и оценке скорости её восстановления после криоконсервации.

Материалы и методы. Культура диатомовой водоросли *Melosira* sp. была выделена Ж.В. Маркиной и А.В. Бородой из пробы морской воды, отобранной на выходе из р. Армань (Амахтонский залив, Охотское море) в июле 2023 г. Генетическое определение водоросли проведено К.В. Ефимовой. Клетки культивировали в среде *f* (Guillard, Ryther, 1962) при 18°C с периодическим встряхиванием, освещением люминесцентными лампами белого света с интенсивностью 70 мкмоль фотонов/(м²×с) (3500 люкс) и свето-темновым периодом 12 ч свет : 12 ч темнота до конца логарифмической фазы роста (9 сут), после чего проводили криоконсервацию. Концентрацию клеток определяли с помощью прямого визуального подсчета под световым инвертированным микроскопом Axiovert-200M (Carl Zeiss, Германия) с использованием камеры Нажотта. Клетки без видимого плазмолиза и с интактными оболочками и хлоропластами считали живыми.

Микроводоросли замораживали до температуры жидкого азота (-196°C) в присутствии диметилсульфоксида (ДМСО), как классического проникающего внутрь

клетки криопротектора, и поливинилпирролидона (ПВП) – непроникающего криопротектора. Растворы криопротекторов готовили на стерильной морской воде (МВ) с соленостью 32‰. ДМСО добавляли до конечной концентрации 5% (об/об), ПВП до 2% (масса/об). Суспензию микроводорослей переносили в 2 мл криопробирки и постепенно добавляли охлаждённые растворы криопротекторов. Криоконсервацию проводили ступенчато: криопробирки охлаждали до -10°C со скоростью $1^{\circ}\text{C}/\text{мин}$, затем до -45°C со скоростью $1,7^{\circ}\text{C}/\text{мин}$, далее до -90°C со скоростью $2,0^{\circ}\text{C}/\text{мин}$ и переносили в жидкий азот. После хранения в жидком азоте образцы оттаивали на водяной бане при $+30^{\circ}\text{C}$, переносили в 15 мл пробирки и постепенно разбавляли МВ в 10 раз. Клетки осаждали центрифугированием, промывали МВ, ресуспендировали в питательной среде и культивировали, как описано выше.

Эксперименты проведены в трех биологических повторностях. Данные представлены как среднее значение $\pm$ стандартное отклонение. Статистическую обработку данных осуществляли в программе Excel (Microsoft, США).

Результаты. Рост контрольных клеток *Melosira* sp. описывается типичной s-образной кривой, характерной для большинства клеток водорослей в культуре (рис. 1).

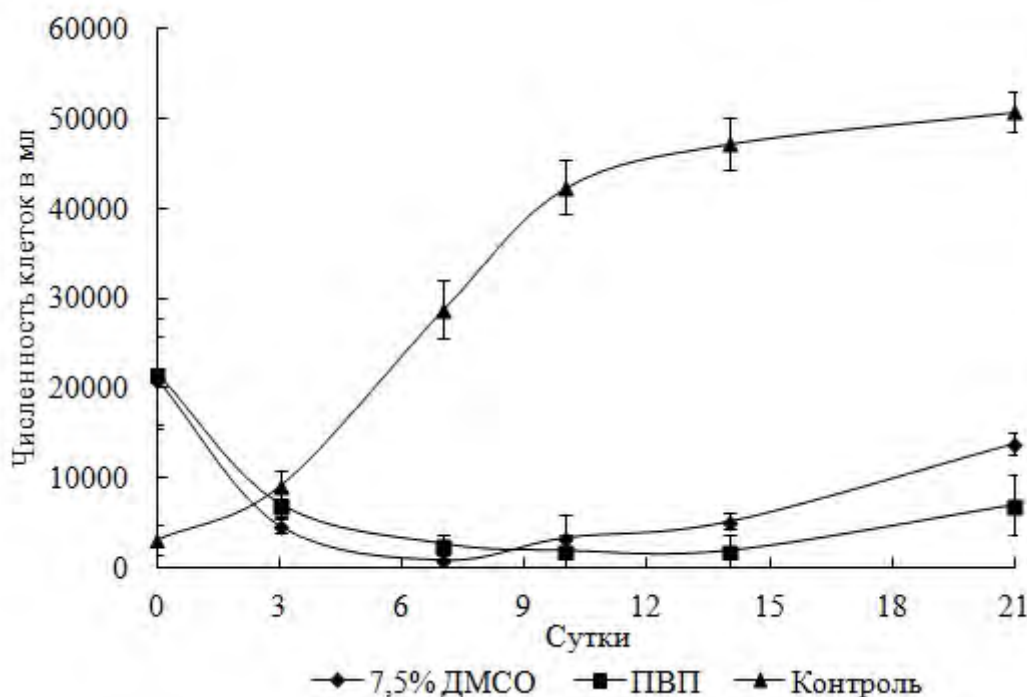


Рис. 1. Динамика численности клеток диатомовой водоросли *Melosira* sp. в контроле и после криоконсервации.

Fig. 1. Cell number dynamics of diatom alga *Melosira* sp. in control and after cryopreservation.

К третьим суткам после криоконсервации часть клеток погибала независимо от использованного криопротектора, причём большее количество клеток погибало в случае, если в качестве криопротектора использовали только ДМСО. Однако при этом с 10 сут после оттаивания восстановление культуры происходило быстрее.

Даже спустя 21 сут после криоконсервации в суспензии оставались поврежденные клетки (рис. 2), но в культуре наблюдали постепенный рост нитей водорослей.

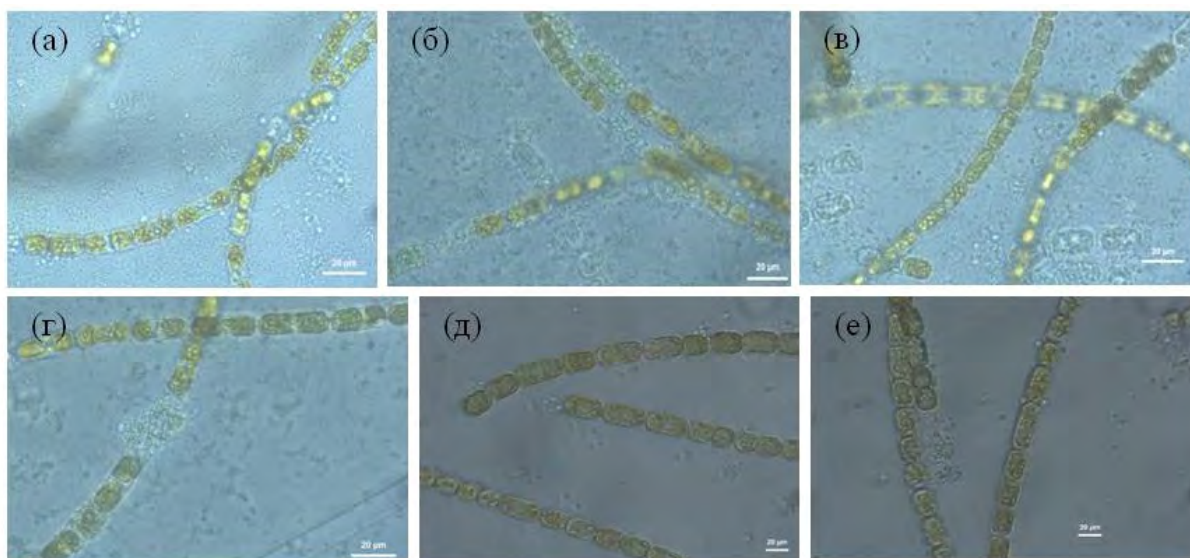


Рис. 2. Внешний вид *Melosira* sp. после криоконсервации и в контроле: а) – в день оттаивания после криоконсервации в ДМСО, б) – на 21-е сутки культивирования после криоконсервации в ДМСО, в) – в день оттаивания после криоконсервации в ПВП, г) – на 21-е сутки культивирования после криоконсервации с ПВП, д, е) – контроль.

Fig. 2. The appearance of *Melosira* sp. after cryopreservation and in control.

ДМСО является проникающим внутрь клеток криопротектором, связывающим воду внутри клеток и блокирующим формирование внутриклеточного льда – основной причины гибели клеток. Однако, он является токсичным для многих клеток (Miyagi-Shiohira et al., 2015). В качестве эффективной малотоксичной альтернативы при криоконсервации водорослей иногда использовали ПВП (Benhra et al., 1997). Однако, ПВП практически бесполезен при замораживании относительно крупных клеток, какими являются клетки *Melosira* sp. (более 10–15 мкм), с высоким содержанием воды из-за его неспособности проникнуть через клеточную стенку (Hubalek, 2003) и, таким образом, предотвратить образование внутриклеточного льда.

Успешность криоконсервации можно измерить количеством клеток, которые остаются жизнеспособными и возобновляют нормальную физиологическую активность после оттаивания. Рекомендуемая минимальная жизнеспособность после криоконсервации культур микроводорослей, хранящихся в Коллекции культур водорослей и простейших ССАР (Великобритания), составляет 60% (Morris, 1981). Однако для многих видов водорослей это значение невозможно достичь по разным причинам: их жизнеспособность после оттаивания не превышает 5% (Day and Brand, 2005). Выживаемость *Melosira* sp. сразу после оттаивания составляла 4,8% для варианта с ДМСО и 12,2% для варианта с ПВП, но восстановление культуры до 66% в опыте с ДМСО и 33% в опыте с ПВП от первоначального количества происходило за 3 недели, что достаточно быстро, учитывая относительно крупный размер клеток и наличие вакуоли, занимающей большую часть клетки.

Работа выполнена в рамках государственной темы НИЦМБ ДВО РАН «Динамика морских экосистем, адаптации организмов и сообществ к факторам внешней среды» (№ 124021900009-6).

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов, требующего раскрытия в данной статье.

Список литературы

1. Abreu L., Borges L., Marangoni J., Abreu P.C. Cryopreservation of some useful microalgae species for biotechnological exploitation // *Journal of Applied Phycology*. 2012. V.24, №6. P. 1579–1588. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10811-012-9818-0>
2. Benhra A., Radetski C.M., Ferard J.F. Cryoalgotox: Use of cryopreserved alga in a semistatic microplate test // *Environmental Toxicology and Chemistry*. 1997. V. 16, № 3. P. 505–508. DOI: <https://doi.org/10.1002/etc.5620160316>
3. Day J.G., Brand J.J. Cryopreservation methods for maintaining microalgal cultures // R.A. Andersen (ed.). *Algal culturing techniques*. – Amsterdam: Elsevier, 2005. – P. 165–187.
4. Guillard R.R.L., Ryther J.H. Studies of marine planktonic diatoms: i. *Cyclotella nana* Hustedt, and *Detonula confervacea* (Cleve) Gran // *Canadian Journal of Microbiology*. 1962. V. 8, № 2. P. 229–239. DOI: <https://doi.org/10.1139/m62-029>
5. Hubalek Z. Protectants used in the cryopreservation of microorganisms // *Cryobiology*. 2003. V. 46, № 3. P. 205–229. DOI: [https://doi.org/10.1016/s0011-2240\(03\)00046-4](https://doi.org/10.1016/s0011-2240(03)00046-4)
6. Miyagi-Shiohira C., Kurima K., Kobayashi N., Saitoh I., Watanabe M., Noguchi Y., Matsushita M., Noguchi H. Cryopreservation of Adipose-Derived Mesenchymal Stem Cells // *Cell Medicine*. 2015. V. 8, № 1–2. P. 3–7. DOI: <https://doi.org/10.3727/215517915X689100>
7. Morris G.J. Cryopreservation: an introduction to cryopreservation in culture collections. – Cambridge: Institute of Terrestrial Ecology, 1981. – 37 p.

Статья поступила в редакцию 18.06.2025; поступила после доработки 10.09.2025; принята к публикации 10.09.2025

Сведения об авторах

Маркина Жанна Васильевна – к.б.н., н.с., Национальный научный центр морской биологии им. А.В. Жирмунского ДВО РАН (НИЦМБ ДВО РАН), Россия, Владивосток (Zhirmunsky National Scientific Center of Marine Biology, Far Eastern Branch, RAS, Russia, Vladivostok); zhannav@mail.ru; ORCID – <https://orcid.org/0000-0001-7135-1375>.

Борода Андрей Викторович – к.б.н., с.н.с., Национальный научный центр морской биологии им. А.В. Жирмунского ДВО РАН (НИЦМБ ДВО РАН), Россия, Владивосток (Zhirmunsky National Scientific Center of Marine Biology, Far Eastern Branch, RAS, Russia, Vladivostok); borodandy@gmail.com; ORCID – <https://orcid.org/0000-0003-0257-748X>; SPIN-код 1506-4382.

Корреспондентский адрес: Россия, 690041, Владивосток, ул. Пальчевского, 17, НИЦМБ ДВО РАН, тел. (423) 231-09-05.

Cryopreservation of *Melosira* sp. (Bacillariophyta)

Zhanna V. Markina, Andrei V. Boroda

Zhirmunsky National Scientific Center of Marine Biology, Far Eastern Branch, RAS (Russia, Vladivostok)

Interest in cryopreservation of microalgae has been topical for over 60 years, but it is impossible to develop a universal protocol for freezing and thawing and it is selected empirically. We have successfully cryopreserved the diatom *Melosira varians* in the presence of 5% dimethyl sulfoxide and 2% polyvinylpyrrolidone using a stepwise freezing. Dimethyl sulfoxide turned out to be more effective, allowing us to preserve a larger number of cells and their proliferative potential after thawing.

Key words: Diatom; *Melosira* sp.; cryopreservation; cryoprotectants

References

1. Abreu L., Borges L., Marangoni J., Abreu P.C. Cryopreservation of some useful microalgae species for biotechnological exploitation. *Journal of Applied Phycology*. 2012. V.24, №6. P. 1579–1588. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10811-012-9818-0>

2. Benhra A., Radetski C.M., Ferard J.F. Cryoalgotox: Use of cryopreserved alga in a semistatic microplate test. *Environmental Toxicology and Chemistry*. 1997. V. 16, № 3. P. 505–508. DOI: <https://doi.org/10.1002/etc.5620160316>
3. Day J.G., Brand J.J. Cryopreservation methods for maintaining microalgal cultures. In: R.A. Andersen (Ed.). *Algal culturing techniques*. Elsevier, Amsterdam, 2005. P. 165–187.
4. Guillard R.R.L., Ryther J.H. Studies of marine planktonic diatoms: i. *Cyclotella nana* Hustedt, and *Detonula confervacea* (Cleve) Gran. *Canadian Journal of Microbiology*. 1962. V. 8, № 2. P. 229–239. DOI: <https://doi.org/10.1139/m62-029>
5. Hubalek Z. Protectants used in the cryopreservation of microorganisms. *Cryobiology*. 2003. V.46, №3. P. 205–229. DOI: [https://doi.org/10.1016/s0011-2240\(03\)00046-4](https://doi.org/10.1016/s0011-2240(03)00046-4)
6. Miyagi-Shiohira C., Kurima K., Kobayashi N., Saitoh I., Watanabe M., Noguchi Y., Matsushita M., Noguchi H. Cryopreservation of Adipose-Derived Mesenchymal Stem Cells. *Cell Medicine*. 2015. V.8, № 1–2. P. 3–7. DOI: <https://doi.org/10.3727/215517915X689100>
7. Morris G.J. Cryopreservation: an introduction to cryopreservation in culture collections. Institute of Terrestrial Ecology, Cambridge, 1981. 37 p.

ССЫЛКА НА СТАТЬЮ:

Маркина Ж.В., Борода А.В. Криоконсервация диатомовой водоросли *Melosira* sp. // Вопросы современной альгологии. 2025. № 1 (37). P. 384–388. URL: <http://algology.ru/2229>

Markina Zh.V., Boroda A.V. Cryopreservation of *Melosira* sp. (Bacillariophyta). *Voprosy sovremennoi algologii (Issues of modern algology)*. 2025. № 1 (37). P. 384–388. URL: <http://algology.ru/2229>

DOI – [https://doi.org/10.33624/2311-0147-2025-1\(37\)-384-388](https://doi.org/10.33624/2311-0147-2025-1(37)-384-388); EDN – IJKZJH

Влияние концентрации азота в питательной среде на рост культур *Stephanocyclus meneghinianus*

The effect of the nitrogen concentration in the medium on the growth of *Stephanocyclus meneghinianus*

Селезнева А.П., Кривова З.В., Куликовский М.С., Мальцев Е.И.

Anna P. Selezneva, Zinaida V. Krivova, Maxim S. Kulikovskiy,
Yevhen I. Maltsev

Институт физиологии растений имени К.А. Тимирязева РАН – ИФР РАН
(Москва, Россия)

В ходе исследования был проведён анализ влияния ступенчатого изменения концентрации азота (от 0 до 0,6 г/л) в среде WC на рост культур двух штаммов *Stephanocyclus meneghinianus* (M418 и M456). Результаты эксперимента показали, что увеличение количества азота в питательной среде стимулирует рост культур. Доминантными жирными кислотами для обоих штаммов были пальмитиновая, пальмитолеиновая, миристиновая и эйкозапентаеновая кислоты. Установлено, что высокое содержание азота в питательной среде оптимально для накопления моновенасыщенных жирных кислот, в то время как азотное голодание стимулирует накопление полиненасыщенных.

Ключевые слова: диатомовые водоросли; жирные кислоты; культивирование; оптическая плотность; стрессирование; сухая биомасса

Культивирование микроводорослей используется в биотехнологии для создания кормов и подкормок для животноводства и аквакультур, биотоплива, а также получения различных метаболитов, в том числе пигментов, липидов (например, омега-3-ненасыщенных кислот), изопреноидов (Pulz, Gross, 2004). На накопление данных веществ в клетках влияют условия культивирования и состав питательной среды (Hu, 2013), поэтому изучение того, как различные типы стресса влияют на метаболизм клеток, является актуальным.

Одним из важнейших факторов, влияющих на рост микроводорослей, является содержание азота в питательной среде. Помимо влияния на продуктивность и скорость роста культуры, азотное голодание также влияет и на синтез метаболитов (Maltsev et al., 2023).

В данной работе был проведён эксперимент по культивированию двух пресноводных штаммов *Stephanocyclus meneghinianus* (Kützinger) Kulikovskiy, Genkal & Kocielek (M418 и M456) в течении 13 дней на среде WC (Guillard, Lorenzen 1972) с разной концентрацией азота от 0 до 0,6 г/л. Всего было использовано 5 градаций концентрации азота: без азота (0 г/л), сильное ограничение азота (0,05 г/л), умеренное ограничение азота (0,15 г/л), среднее содержание азота (0,3 г/л) и насыщенное содержание азота (0,6 г/л) (Maltsev et al., 2023).

Оценка динамики роста культур проводилась с помощью измерения оптической плотности при $k=680$ нм (OD_{680}): на богатой азотом среде оба штамма достигли максимальной оптической плотности при культивировании (0,147 для штамма М456 и 0,094 для штамма М418). Кроме того, по окончании эксперимента штамм М456 имел бóльшую оптическую плотность в сравнении с штаммом М418.

Также, был проведён анализ состава жирных кислот для обоих штаммов. Доминантными жирными кислотами для обоих штаммов стали миристиновая 14:0, пальмитиновая 16:0, пальмитолеиновая 16:1n-7 и эйкозапентаеновая 20:5n-3 кислоты – на них приходилось от 95 до 97% от общей суммы жирных кислот. В значительно меньших количествах были представлены другие жирные кислоты. При этом отмечено, что с увеличением концентрации азота в питательной среде увеличивалось количество мононенасыщенных жирных кислот, в то время как доля полиненасыщенных снижалась. В условиях эксперимента штамм М418 показал самое высокое содержание пальмитиновой кислоты (44,5% при сильном ограничении азота), стеариновой кислоты (1,64% при сильном ограничении азота), в то время как штамм М456 – миристиновой (6,72% при умеренном ограничении азота), пальмитолеиновой (58,92% на насыщенной азотом среде), олеиновой (0,83% при отсутствии азота) кислот.

По результатам исследования установлено, что изменение концентрации азота в питательной среде влияет на рост штаммов *Stephanocyclus meneghinianus*. Концентрация азота 0,6 г/л оказалась оптимальной для роста штаммов М418 и М456 – в данных условиях зафиксирована самая высокая оптическая плотность. Кроме того, при разных концентрациях азота наблюдалось изменение профиля жирных кислот в клетках диатомовых водорослей. Низкие концентрации азота оказались оптимальными для накопления в клетках полиненасыщенных жирных кислот, в том числе омега-3.

Работа выполнена при поддержке гранта Российского научного фонда (проект № 23-74-10081, <https://rscf.ru/project/23-74-10081/>).

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов, требующего раскрытия в данной статье.

Список литературы

1. Guillard R.R.L., Lorenzen C.J. Yellow-green algae with chlorophyllide c // Journal of Phycology. 1972. V.8. P. 10–14.
2. Hu Q. Environmental Effects on Cell Composition // Richmond A. (ed.). Handbook of Microalgal Culture: Applied Phycology and Biotechnology. – Oxford: Blackwell Science, 2013. – P. 114–122. DOI: <https://doi.org/10.1002/9781118567166.ch7>
3. Maltsev Y., Kulikovskiy M., Maltseva S. Nitrogen and phosphorus stress as a tool to induce lipid production in microalgae // Microbial Cell Factories. 2023. V.22. ID 239. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12934-023-02244-6>
4. Pulz O., Gross W. Valuable products from biotechnology of microalgae // Applied Microbiology and Biotechnology. 2004. V. 65. P. 635–648. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00253-004-1647-x>

Статья поступила в редакцию 18.06.2025; поступила после доработки 11.09.2025; принята к публикации 11.09.2025

Сведения об авторах

Селезнева Анна Павловна – инженер, Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН (ИФР РАН), Россия, Москва (Timiryazev Institute of Plant Physiology, RAS, Russia, Moscow); seleznevaanna03@gmail.com.

Кривова Зинаида Викторовна – н.с., Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН (ИФР РАН), Россия, Москва (Timiryazev Institute of Plant Physiology, RAS, Russia, Moscow); kosiapeya@mail.ru; ORCID – <https://orcid.org/0000-0002-9928-4810>; SPIN-код 3675-3153.

Куликовский Максим Сергеевич – д.б.н., г.н.с., Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН (ИФР РАН), Россия, Москва (Timiryazev Institute of Plant Physiology, RAS, Russia, Moscow); max-kulikovsky@yandex.ru; ORCID – <https://orcid.org/0000-0003-0999-9669>; SPIN-код 4170-2884.

Мальцев Евгений Иванович – д.б.н., в.н.с., Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН (ИФР РАН), Россия, Москва (Timiryazev Institute of Plant Physiology, RAS, Russia, Moscow); maltsev.ye@yandex.ru; ORCID – <https://orcid.org/0000-0003-4710-319X>; SPIN-код 9410-6478.

Корреспондентский адрес: Россия, 127276, Москва, ул. Ботаническая, д. 35, ИФР РАН, тел. (499) 678-54-00.

The effect of the nitrogen concentration in the medium on the growth of *Stephanocyclus meneghinianus*

Anna P. Selezneva, Zinaida V. Krivova, Maxim S. Kulikovskiy, Yevhen I. Maltsev

Timiryazev Institute of Plant Physiology, RAS (Russia, Moscow)

This research analysed the impact of a stepwise change in nitrogen concentration (from 0 to 0,6 g/L) in WC medium on the growth of cultures of two strains (M418 and M456) of *Stephanocyclus meneghinianus*. The results revealed that increasing nitrogen content in the medium stimulates the growth of cultures. Maximum values of dry biomass content were achieved at strong nitrogen limitation in the medium (4,6 g/L). The dominant fatty acids for both strains were palmitic, palmitoleic, myristic and eicosapentaenoic acids. It was found that high nitrogen content in the nutrient medium is optimal for the accumulation of monounsaturated FAs, while nitrogen starvation stimulates the accumulation of polyunsaturated fatty acids.

Key words: Diatoms; cultivation; stressing; fatty acids; optical density; dry biomass

References

1. Guillard R.R.L., Lorenzen C.J. Yellow-green algae with chlorophyllide c. *Journal of Phycology*. 1972. V.8. P. 10–14.
2. Hu Q. Environmental Effects on Cell Composition. In: Richmond A. (Ed.). *Handbook of Microalgal Culture: Applied Phycology and Biotechnology*. Blackwell Science, Oxford, 2013. P. 114–122. DOI: <https://doi.org/10.1002/9781118567166.ch7>
3. Maltsev Y., Kulikovskiy M., Maltseva S. Nitrogen and phosphorus stress as a tool to induce lipid production in microalgae. *Microbial Cell Factories*. 2023. V.22. ID 239. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12934-023-02244-6>
4. Pulz O., Gross W. Valuable products from biotechnology of microalgae. *Applied Microbiology and Biotechnology*. 2004. V. 65. P. 635–648. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00253-004-1647-x>

ССЫЛКА НА СТАТЬЮ:

Селезнева А.П., Кривова З.В., Куликовский М.С., Мальцев Е.И. Влияние концентрации азота в питательной среде на рост культур *Stephanocyclus meneghinianus* // Вопросы современной альгологии. 2025. № 1 (37). P. 389–391. URL: <http://algology.ru/2230>

Selezneva A.P., Krivova Z.V., Kulikovskiy M.S., Maltsev Y.I. The effect of the nitrogen concentration in the medium on the growth of *Stephanocyclus meneghinianus*. *Voprosy sovremennoi algologii (Issues of modern algology)*. 2025. № 1 (37). P. 389–391. URL: <http://algology.ru/2230>

DOI – [https://doi.org/10.33624/2311-0147-2025-1\(37\)-389-391](https://doi.org/10.33624/2311-0147-2025-1(37)-389-391); EDN – HVZOLG

Секция 9.

Учителя и ученики.

История альгологических исследований

Нина Александровна Айздайчер – основательница и хранительница Коллекции культур морских одноклеточных водорослей ННЦМБ ДВО РАН

Nina Alexandrovna Aizdaicher is the founder and keeper of the Collection of marine cultures unicellular algae of the NSCMB Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences

Маркина Ж.В.

Zhanna V. Markina

Национальный научный центр морской биологии имени А.В. Жирмунского ДВО РАН – ННЦМБ ДВО РАН (Владивосток, Россия)

Статья посвящена жизненному и научному пути Нины Александровны Айздайчер – основателю и куратору коллекции одноклеточных водорослей в Национальном научном центре морской биологии им. А.В. Жирмунского (ННЦМБ ДВО РАН), находящейся в составе биоресурсной коллекции «Морской биобанк».

Ключевые слова: диатомеи; альгологическая коллекция

В Национальном научном центре морской биологии им. А.В. Жирмунского (ННЦМБ ДВО РАН), ранее Институт биологии моря ДВО РАН, долгие годы существует коллекция морских одноклеточных водорослей настоящее время в этой коллекции содержится более 40 видов микроводорослей. Все они, за небольшим исключением, были выделены в альгологически чистые культуры именно Ниной Александровной. Ряд микроводорослей, выделены еще Ланской Лидией Александровной – основателем коллекции живых культур морских планктонных микроводорослей Института биологии южных морей им. А.О. Ковалевского (ИнБЮМ РАН) более 50 лет назад. Однако эти культуры живы благодаря усилиям и заботливым рукам Нины Александровны до сих пор. В коллекции содержатся не только диатомовые водоросли, но и представители других отделов – криптофитовых, зеленых, динофлагеллят, гаптофитовых.

Нина Александровна родилась в с. Тилинино Горьковской (в настоящее время Нижегородской) области в сложное время, шла Великая отечественная война. Ее детство пришлось на годы восстановления страны после этих страшных событий. После окончания школы с 1962 по 1964 гг. работала в бактериологической лаборатории Ново-Сормовской водопроводной фильтровальной станции. В 1964 г. поступила на биологический факультет Горьковского государственного университета.

После окончания университета получила распределение на Дальний Восток в Тихоокеанский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии (ТИНРО, в настоящее время Тихоокеанский филиал ФГБНУ «ВНИРО»), куда она отправилась «за романтикой дальневосточных морей». В ТИНРО работала в Лаборатории морской аквакультуры, затем в Лаборатории культивирования живых кормов. В 1985 г. ее пригласил академик Алексей Викторович Жирмунский в Институт биологии моря ДВО РАН, где по его инициативе создала коллекцию живых культур морских микроводорослей.

В 1987 г. Н.А. Айздайчер защитила кандидатскую диссертацию «Жизнеспособность морских микроводорослей в зависимости от условий хранения». В 2005 г. ей было присвоено звание доцента по специальности «экология».

На протяжении многих лет Нина Александровна читала лекции и проводила практические занятия для слушателей Малой академии морской биологии. Она автор и соавтор более 160 печатных работ, трех патентов и одной монографии. Опубликовано в 2011 г. в соавторстве с Т.Ю. Орловой и И.В. Стоник научно-методическое пособие по лабораторному культивированию морских микроводорослей стало настольной книгой для многих альгологов.

В настоящее время коллекция микроводорослей находится в составе ЦКП «Морской биобанк». Постоянно происходит ее пополнение, в основном, микроводорослями из вод Дальнего Востока России. Благодаря Нине Александровне выделены новые для дальневосточных морей виды диатомовых водорослей *Attheya longicornis*, *Attheya ussuriensis*,

Chaetoceros socialis f. *radians*. Совместно с И.В. Стоник, М.С. Селиной и О.Г. Шевченко изучены не только морфология, но и экология многих из этих видов. Постоянное ведение культур микроводорослей – очень кропотливый труд, требующий огромной концентрации внимания, терпения, усидчивости, а самое главное – любви. Нина Александровна именно тот человек, который беззаветно любит свою работу, переживает за сохранность каждой микроводоросли, бережет ее, стараясь не потерять ни одного вида. Выращенные ею микроводоросли помогли сотрудникам центра, изучавшим личиночное развитие морских ракообразных, моллюсков и иглокожих, успешно культивировать личинок гидробионтов в лабораторных условиях.

Нина Александровна внесла свой весомый вклад в исследования, проводимые сотрудниками ННЦМБ ДВО РАН и других институтов. В соавторстве с коллегами оценено воздействие на жизнедеятельность микроводорослей таких важных экологических факторов прибрежной среды, как соленость, загрязнение тяжелыми металлами и детергентами. С коллегами из Лаборатории клеточных технологий разрабатывались методы криоконсервации культур одноклеточных водорослей. Совместно с НИИ эпидемиологии и микробиологии СО РАМН и (ТИНРО) изучалось воздействие метаболитов микроводорослей на бактериальную активность. Кроме того, Нина Александровна принимала участие в исследованиях, проводившихся сотрудниками Лаборатории сравнительной биохимии и Лаборатории генетики (Айздайчер, 2008).

Был защищен ряд диссертационных и дипломных работ, в экспериментах которых использовали микроводоросли из созданной Ниной Александровной коллекции.

За долгую и добросовестную работу Нине Александровне присвоено почетное звание «Ветеран Дальневосточного отделения РАН», награждена почетной грамотой Дальневосточного отделения Российской академии наук.

Нина Александровна продолжает выделять культуры и консультирует по вопросам выращивания морских одноклеточных водорослей.

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

Список литературы

1. Айздайчер Н.А. Коллекция культур морских микроводорослей Института биологии моря им. А.В. Жирмунского ДВО РАН // Биология моря. 2008. Т. 34, №. 2. С. 152–155.

Статья поступила в редакцию 18.06.2025; поступила после доработки 10.09.2025; принята к публикации 11.09.2025

Сведения об авторах

Маркина Жанна Васильевна – к.б.н., н.с., Национальный научный центр морской биологии им. А.В. Жирмунского ДВО РАН (ННЦМБ ДВО РАН), Россия, Владивосток (Zhirmunsky National Scientific Center of Marine Biology, Far Eastern Branch, RAS, Russia, Vladivostok); zhannav@mail.ru; ORCID – <https://orcid.org/0000-0001-7135-1375>.

Корреспондентский адрес: Россия, 690041, Владивосток, ул. Пальчевского, 17, ННЦМБ ДВО РАН, тел. (423) 231-09-05.

Nina Alexandrovna Aizdaicher is the founder and keeper of the Collection of marine cultures unicellular algae of the NSCMB Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences

Zhanna V. Markina

Zhirmunsky National Scientific Center of Marine Biology, Far Eastern Branch, RAS (Russia, Vladivostok)

The article is devoted to the life and scientific path of Nina Aleksondrovna Aizdeicher, the founder and curator of the collection of unicellular algae at the A.V. Zhirmunsky National Scientific Center for Marine Biology (NSCMB FEB RAS), which is part of the Marine Biobank bioresource collection.

Key words: Diatoms; algological collection

References

1. Aizdaicher N.A. Collection of Marine Microalgae at the A. V. Zhirmunsky Institute of Marine Biology. *Marine Biology*. 2008. V. 34. №. 2. P. 152–155. DOI: <https://doi.org/10.1134/S1063074008020090>

ССЫЛКА НА СТАТЬЮ:

Маркина Ж.В. Нина Александровна Айздайчер – основательница и хранительница Коллекции культур морских одноклеточных водорослей ННЦМБ ДВО РАН // Вопросы современной альгологии. 2025. № 1 (37). Р. 392–394. URL: <http://algology.ru/2231>

Markina Zh.V. Nina Alexandrovna Aizdaicher is the founder and keeper of the Collection of marine cultures unicellular algae of the NSCMB Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences. *Voprosy sovremennoi algologii (Issues of modern algology)*. 2025. № 1 (37). P. 392–394. URL: <http://algology.ru/2231>

DOI – [https://doi.org/10.33624/2311-0147-2025-1\(37\)-392-394](https://doi.org/10.33624/2311-0147-2025-1(37)-392-394); EDN – HUXMGY

**Анастасия Пантелеймоновна Жузе – основатель
московской школы диатомологов.
К 120-летию со дня ее рождения**

**Anastasia Panteleimonovna Jouse – founder of the
Moscow School of Diatomologists.
On the 120-th anniversary of her birth**

Полякова Е.И.

Yelena I. Polyakova

*Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,
географический факультет (Москва, Россия)*

Работа посвящена выдающемуся советскому ученому А.П.Жузе, созданию ею отечественной Школы морской микропалеонтологии.

Ключевые слова: Жузе; диатомеи; микропалеонтология; биостратиграфия; Мировой океан



18 [31] июля 1905 – 12 сентября 1981

В этом году исполняется 120 лет со дня рождения выдающегося советского гидробиолога, микропалеонтолога, диатомолога, доктор географических наук, основателя Советской Школы морской микропалеонтологии, лауреата Сталинской премии, Анастасии Пантелеймоновны Жузе. В этом году будет уже 44 года как Анастасии Пантелеймоновны нет с нами, и все меньше остается ее учеников, которые имели счастье учиться или работать под ее руководством, или просто обращаться к ней с научными вопросами. Она всегда находила время объяснить, посоветовать, помочь, рекомендовать научные статьи. При этом неизменно оставалась спокойной и

доброжелательной, и только значительно позднее я узнала какой непростой, трагической была ее судьба! В данном коротком сообщении мне хотелось бы не только еще раз вспомнить А.П. Жузе, но и рассказать молодым специалистам каким необыкновенным, разносторонне талантливым и очень целеустремленным человеком она была! Как много успела сделать в науке! Фактически, Анастасией Пантелеймоновной помимо обширных гидробиологических исследований, разработала три новых в микропалеонтологической науке направления. Первое связано с использованием диатомового анализа в палеогеографических реконструкциях, которым она занималась в самом начале своей научной деятельности в Альгологической (позднее Микропалеоботанической) лаборатории во Всероссийском Геологическом Институте (ВСЕГЕИ), где под руководством ведущего диатомолога В.С. Порецкого с 1931 по 1937 года она проводила исследования диатомовой флоры водоемов Центральной России, Среднего Урала и Зауралья. Это были первые в практике мировой микропалеонтологии опыты применения диатомового анализа для восстановления истории современных водоемов. Начиная с 1933 года Анастасия Пантелеймоновна публикует работы по экологии и морфологии диатомей, реконструкциям палеообстановок в четвертичный период на основе диатомового анализа, а в 1939 г. уже в Москве в Институте географии она защитила кандидатскую диссертацию и опубликовала на ее основе монографию «Палеогеография водоемов на основе диатомового анализа». Выход из печати книги был большим событием в научной жизни, так как в этой работе обобщены обширные материалы как отечественной, так и зарубежной литературы и намечены направления дальнейших исследований в области диатомологии, которые не потеряли своей актуальности и в настоящее время. Поражает, что в этот период Анастасии было всего 34 года!

Второе важнейшее направление научных работ А.П. Жузе стало биостратиграфическое. В тридцатые годы в Ленинграде сложился талантливый коллектив альгологов – В.С. Порецкий, В.С. Шешукова-Порецкая, А.И. Прошкина-Лавренко, О.М. Знаменская, И.А. Киселев, которыми были заложены основы биостратиграфического направления в диатомовом анализе, надолго определившие бесспорно ведущее положение советской науки в мировой практике таких исследований. К этим работам Анастасия Пантелеймоновна вернулась уже после Великой Отечественной войны. С 1946–1948 годов, переехав с мужем К.К. Марковым в Москву, она начала заниматься на договорной основе изучением морской диатомовой флоры мела и палеогена в связи с нефтегазоносностью отложений, и была первой, кто описал диатомовые комплексы раннего мела Поволжья и позднего мела – палеогена Восточного Урала. Анастасия Пантелеймоновна также провела детальное изучение стратиграфического распространения и систематического состава палеогеновых диатомей Поволжья и Украины, описав около 170 новых видов (Казарина, Мухина, 1995). Опубликованные ею работы по меловой и палеогеновой диатомовой флоре не потеряли своего научного значения по настоящее время и создали начальный базис для стратиграфического расчленения кремнистых толщ. Эти материалы были ею отражены также в трехтомной фундаментальной монографии по современным и ископаемым диатомеям «Диатомовый анализ», которая в 1951 г. получила высшую в Советском Союзе «Сталинскую Премию» I степени по разделу биологические науки. Собранная ею коллекция видов диатомей со всего Советского Союза, начиная с Ленинградской области до озера Ханка на Дальнем Востоке хранилась на созданной К.К. Марковым кафедре Общей физической географии и палеогеографии географического факультета Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова, а в настоящее время в Научно-исследовательской лаборатории новейших отложений и палеогеографии плейстоцена факультета.

Начиная с 1951 года и до кончины в 1981 году научная деятельность А.П. Жузе была неразрывно связана с Институтом океанологии им. П.П. Ширшова АН СССР, где

она работала в Отделе морской геологии. Пятидесятые – шестидесятые годы явились началом интенсивных всесторонних исследований Мирового океана, пионером которых стало научно-исследовательское судно «Витязь» (1949-1979) и еще 6 кораблей, преобразованных в «научно-исследовательские институты», которые под вымпелом Академии наук совершили 65 рейсов в Тихом, Индийском и Атлантическом океанах. «Золотая эра океанологии» — так океанологи называли 70-е – 80-е годы.

А.П. Жузе благодаря сотрудничеству с ведущими российскими морскими геологами – В.Г. Богоровым, П.Л. Безруковым, А.П. Лисицыным, Г.Б. Удинцевым инициировала использование диатомей в обширных биостратиграфических и палеоокеанологических исследованиях океана. На основе диатомового анализа осадков из северных районов Тихого океана, Берингова, Охотского и Японского морей Анастасия Пантелеймоновна осуществила первые детальные палеореконструкции, которые создали важную методическую основу для последующего изучения материалов глубоководных колонок. В 1959 году она блестяще защитила докторскую диссертацию, по материалам которой в 1962 году опубликовала монографию «Стратиграфические и палеогеографические исследования в северо-западной части Тихого океана». В 60-х годах А.П. Жузе организовала и возглавила в Институте океанологии им. П.П. Ширшова группу специалистов по диатомеям, радиоляриям, кокколитофоридам, в которую вошли В.В. Мухина, С.Б. Кругликова, О.Г. Козлова, Г.Х. Казарина, М.Г. Ушакова. Благодаря высокому международному авторитету Анастасия Пантелеймоновна и ее группа были приглашены и активно участвовали в Программах глубоководного бурения (DSDP), начатых в 1968 г., изучении скважин из Черного и Норвежского морей, Тихого и Индийского океанов.

До конца своих дней А.П. Жузе была признанным лидером в российском и международном диатомовом сообществе, много лет являлась президентом микропалеонтологической секции Океанографического Комитета АН СССР и Комитета по Альгологии АН СССР. Она инициировала регулярную работу «International Diatom Symposium» с 1970 года. Зарубежные коллеги-диатомологи с радостью откликнулись на мое предложение почтить память Анастасии Пантелеймоновны и опубликовать статью в «Diatom Research» к ее 100-летию Юбилею (Burckle et al., 2006).

В домашнем архиве семьи Марковых-Жузе бережно хранятся дневниковые записи, которые Анастасия Пантелеймоновна вела практически всю свою жизнь (Мухина и др., 2005). В них открывается мир трогательных отношений в большой дружной семье Пантелеймона Крестовича Жузе – известного историка, арабиста, знавшего 16 языков, профессора и декана Восточный факультет Бакинского университета. Встреча Аси с Марковым Константином Константиновичем, влюбленность и замужество, увлечение наукой и классической музыкой, драматическим театром и чтение зарубежных романов в оригинале на французском, немецком, английском языках. Удивительно гармоничный и талантливый во всем человек. Светлая ей память!

Работа выполнена в рамках госзадания Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова №121051100135-0.

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

Список литературы

1. Казарина Г.Х. Мухина В.В. Исследования А.П. Жузе в области систематики диатомовых водорослей // Современный и ископаемый планктон Мирового океана. – М.: Наука, 1995. – С. 4–8.
2. Мухина В.В., Казарина Г.Х., Маркова А.К. Школа А.П. Жузе // Природа. 2005. № 7. С. 73–79.
3. Полякова Е.И., Казарина Г.Х., Мухина В.В., Дмитренко О.В., Ушакова М.Г. Научная школа Анастасии Пантелеймоновны Жузе. К 110-летию со дня ее рождения // Актуальные проблемы

палеогеографии и стратиграфии плейстоцена: Всероссийская научная конференция «Марковские чтения 2015 года», посвященная 110-летию академика К.К. Маркова. – М., 2015. – С. 161–162.

4. Burckle L.H., Polyakova Ye I., Crawford R.M., Markova A.K., Mukhina V.V., Kazarina G.Kh. In memory of Professor Anastasia Jouse on the one hundredth anniversary of her birth // *Diatom Research*, 2006. V. 21, № 1. P. 229–239.

Статья поступила в редакцию 18.06.2025; поступила после доработки 06.09.2025; принята к публикации 07.09.2025

Сведения об авторах

Полякова Елена Ивановна – д.г.н., доцент, в.н.с., Московский Государственный Университет им. М.В. Ломоносова, географический факультет, Россия, Москва (Lomonosov Moscow State University, Russia, Moscow); ye.polyakova@mail.ru; ORCID – <https://orcid.org/0000-0001-9327-5916>.

Корреспондентский адрес: Россия, 119234, Москва, Ленинские горы, д. 1, Географический факультет МГУ, тел. (495) 939-22-38.

Anastasia Panteleimonovna Jouse – founder of the Moscow School of Diatomologists.

On the 120-th anniversary of her birth.

Yelena I. Polyakova

Lomonosov Moscow State University (Russia, Moscow)

The work is dedicated to the great Soviet scientist A.P.Jouse, creation of the National school of marine micropaleontology.

Key words: Jouse; diatoms; micropaleontology; biostratigraphy; World Ocean

References

1. Kazarina G.Kh., Mukhina V.V. A.P. Jouse's research in the field of systematics of diatoms. *Sovremennyyi i iskopaemyi plankton Mirovogo Okeana [Modern and fossil plankton of the World Ocean]*. Nauka, Moscow, 1995. P. 4–8.
2. Mukhina V.V., Kazarina G.Kh., Markova A.K. School of A.P.Jouse. *Priroda*. 2005. №7. P. 73–79.
3. Polyakova Ye.I., Kazarina G.Kh., Mukhina V.V., Dmitrenko O.V., Ushakova M.G. The scientific school of Anastasia Panteleimonovna Jouse. On the 110th anniversary of her birth. In: Actual problems of paleogeography and stratigraphy of the Pleistocene: The All-Russian scientific conference “Markov Readings 2015”, dedicated to the 110th anniversary of Academician K.K. Markov. Moscow, 2015. P. 161–162.
4. Burckle L.H., Polyakova Ye I., Crawford R.M., Markova A.K., Mukhina V.V., Kazarina G.Kh. In memory of Professor Anastasia Jouse on the one hundredth anniversary of her birth. *Diatom Research*. 2006. V.21, №1. P. 229–239.

ССЫЛКА НА СТАТЬЮ:

Полякова Е.И. Анастасия Пантелеймоновна Жузе – основатель московской школы диатомологов. К 120-летию со дня ее рождения // *Вопросы современной альгологии*. 2025. № 1 (37). P. 395–398. URL: <http://algology.ru/2232>

Polyakova Ye.I. Anastasia Panteleimonovna Jouse – founder of the moscow school of diatomologists. On the 120-th anniversary of her birth. *Voprosy sovremennoi algologii (Issues of modern algology)*. 2025. № 1 (37). P. 395–398. URL: <http://algology.ru/2232>

DOI – [https://doi.org/10.33624/2311-0147-2025-1\(37\)-395-398](https://doi.org/10.33624/2311-0147-2025-1(37)-395-398); EDN – QGGEAU

Анастасия Пантелеймоновна Жузе – жизнь в науке и мировое признание

Anastasia Panteleimonovna Jouze – life in science and global renown

Пушкарь В.С.¹, Казарина Г.Х.²

Vladimir S. Pushkar, Galina Ch. Kazarina

¹*Дальневосточный геологический институт – ДВГИ ДВО РАН (Владивосток, Россия)*

²*Институт океанологии имени П.П.Ширшова – ИО РАН (Москва, Россия)*

В 2025 году исполняется 120 лет со дня рождения выдающегося советского ученого, доктора географических наук, профессора и основателя отечественной школы морской микропалеонтологии, зональной биостратиграфии и палеоэкологии, лауреата Сталинской премии I степени Анастасии Пантелеймоновны Жузе. Большой ее научной заслугой является разработка и научное обоснование нового в мировой практике высокоразрешающего метода – диатомового анализа, позволившего получить новые данные в области современных биостратиграфии и палеогеографии. С именем А.П. Жузе связаны разработки первых морских зональных диатомовых шкал кайнозоя Евразии и Мирового океана, выделение ледниковых и межледниковых циклов осадконакопления, что послужило развитию нового этапа палеогеографических исследований квартера на мировом уровне.

Ключевые слова: диатомеи; диатомовый анализ; биостратиграфия; палеогеография; палеоэкология; кайнозой; Мировой океан

Анастасия Пантелеймоновна родилась 31 июля 1905 г. в Казани. Ее отец – профессор Казанского университета Пантелеймон Крестович Жузе (Бандали ибн Салиба аль Джаузи, 1870–1942) – был историком, арабистом, настоящим полиглотом, знал 16 языков. Мать – Людмила Лаврентьевна Жузе (1880–1931), происходила из купеческой семьи, была замечательной женщиной, создавшей вместе с мужем прекрасную атмосферу в доме.

Свое первое образование юная Анастасия получила в Казанской гимназии. В 1920 г. семья П.К. Жузе переезжает в Баку. Здесь в университете Анастасия прошла обучение на естественном отделении физико-математического факультета по специальности «Гидробиология», который окончила в 1929 г. На способности А.П. Жузе вести научную работу в области альгологии обращает внимание профессор Ленинградского университета В.С. Порецкий, основоположник изучения ископаемых диатомовых водорослей для целей стратиграфии и палеогеографии. Это направление исследований получило название «метод диатомового анализа», для разработки и совершенствования которого А.П. Жузе и была приглашена в 1930 г. в микропалеонтологическую лабораторию Всесоюзного геологического института (ВСЕГЕИ, г. Ленинград),

организованную выдающимся палеогеографом, основателем нового научного направления «эволюционная география», будущим академиком К.К. Марковым. С этого времени начинается плодотворная научная деятельность Анастасии Пантелеймоновны. Появляются ее первые работы по морфологии, экологии и распространению диатомей, как в биоценозах, так и в современных осадках. В 1932 г. Анастасия Пантелеймоновна вышла замуж за Константина Константиновича Маркова. В их творческой деятельности удачно переплетались обширный кругозор, талант, смелое дерзание и скрупулёзность исследователя-аналитика. В частной жизни им были присущи необычайная скромность, искренняя благожелательность и душевная щедрость. Их семейный и творческий союз, выдержавший многие испытания, в том числе потерю в военные годы троих детей, длился до самого конца жизни почти 50 лет.



Анастасия Пантелеймоновна Жузе (1905-1981)

С 1931 по 1937 гг. А.П. Жузе проводит исследования современной и субфоссильной флоры водоемов Среднего Урала, Зауралья и Центральной России. Это были первые в практике мировой микропалеонтологии опыты применения метода диатомового анализа для восстановления истории современных водоемов. При этом большое внимание уделось закономерностям изменения видового состава диатомовых сообществ в зависимости от физико-химических параметров и географического положения. Эти работы и послужили развитию методологии диатомового анализа в области палеогеографических исследований, а также легли в основу блестяще защищенной в Ленинградском университете в 1939 г. кандидатской диссертации «Палеогеография водоемов на основе диатомового анализа». Вскоре вышла одноименная крупная и первая в мире монография по ископаемым диатомеям.

Начало войны А.П. Жузе провела в эвакуации в Алма-Ате, в 1942 г. вернулась в Москву, работала в Институте географии АН СССР (1942–1943 гг.), в Московском геологоразведочном институте им. Орджоникидзе (1944–1945 гг.), на договорных началах с ВСЕГЕИ (1946–1948 гг.). В 1949–1951 гг. принимала участие в создании

фундаментального труда по современным и ископаемым диатомеям СССР («Диатомовый анализ» в 3-х томах). Этот коллективный труд был отмечен премией имени академика В.Л. Комарова (1950) и Сталинской премией 1 степени по разделу биологических наук (1951).

В начале 1950-ых А.П. Жузе посвятила ряд научных статей изучению эволюционной этапности развития диатомей в неогене и квартере Дальнего Востока. В частности, впервые была изучена неогеновая и четвертичная флора оз. Ханка (Приморье). До сих пор эти работы имеют важное значение при разработке зональных диатомовых шкал и составлении Унифицированной стратиграфической схемы кайнозоя Приморья.

С 1951 г. научная деятельность А.П. Жузе связана с морской микропалеонтологией и биостратиграфией осадков Мирового океана и выполнению ряда государственных программ в Отделе геологии океана Института океанологии им. П.П. Ширшова АН СССР (г. Москва). Многочисленные рейсы НИС «Витязь» дали возможность получить богатый керновый материал из различных морей и океанов. По этим материалам в 1959 г. А.П. Жузе защищает докторскую диссертацию «Стратиграфические и палеогеографические исследования в северо-западной части Тихого океана» и получает степень доктора географических наук.

В 1960-х годах А.П. Жузе возглавила в Институте океанологии группу микропалеонтологов – специалистов по диатомеям, силикофлагеллятам, радиоляриям и кокколитами. Результаты исследований этой группы опубликованы в ряде работ, в том числе в монографии «Тихий океан. Микрофлора и микрофауна в современных осадках океанов» (1969) и в «Атласе микроорганизмов в донных осадках Мирового океана» (1977).

На основании изучения ископаемых материалов, включая материалы глубоководного бурения с б/с «Гломар Челленджер» (программа DSDP), Анастасией Пантелеймоновной была впервые установлена последовательность эволюционного развития бореальной, тропической, антарктической флор диатомей, начиная с эоцена. Международный Комитет по глубоководному бурению поручал А.П. Жузе и ее коллективу обработку уникальных материалов керна скважин. География этих исследований была очень широкой – тропическая область Мирового океана – рейсы 26, 54, 67 DSDP; Черное море – 42 рейс DSDP; Северная Атлантика, Норвежско-Гренландский бассейн – 38 рейс DSDP. В современных мировых стратиграфических зональных шкалах по диатомеям широко используются зональные подразделения, выделенные А.П. Жузе и сотрудниками ее группы. Важно отметить и ряд установленных диатомовых стратиграфических уровней эволюционного появления и вымирания диатомей, которые использованы в зональных шкалах палеогена-квартера Атлантики и Пацифики, в том числе в тропических и антарктических областях, а также континентального обрамления. Полученные данные вошли в многотомное издание трудов по DSDP и IPOD.

А.П. Жузе была очень хорошим организатором и пользовалась огромным авторитетом у отечественных и зарубежных исследователей. Благодаря ее инициативе и непосредственному участию, была образована национальная организация при Международном Комитете по изучению океана (SCOR) при ЮНЕСКО. В нашей стране регулярно проводились совещания по проблемам морской микропалеонтологии, организация которых осуществлялась возглавляемой А.П. Жузе секцией по морской микропалеонтологии при Океанографической комиссии АН СССР. Она также занимала пост председателя комиссии по водорослям в Научном Совете АН СССР по проблеме «Пути и закономерности исторического развития животных и растительных организмов» (1965–1981 гг.), являлась инициатором и один из организаторов периодически действующего с 1967 г. Международного симпозиума «Современные и ископаемые диатомовые водоросли».

В честь Анастасии Пантелеймоновны Жузе названы несколько таксонов диатомей и радиолярий разного ранга: род *Jousea* Gleser, виды: *Jousea elliptica* Gleser, *Synedra jouseana* Sheshukova, *Aulacosira jouseana* Moisseeva, *Nitzschia jouseae* Burckle, *Dictyocoryne jouseae* Kruglikova (radiolaria). В память об Анастасии Пантелемоновне Жузе в 2012 г. была названа подводная гора высотой в 1608 м, расположенная в Индийском океане – Zhuze Seamount, координаты которой – 23°30'0" ю.ш.; 60°15'47.9" в.д.

Работа выполнена в рамках госзадания ДВГИ ДВО РАН (№ 125033104606-3).

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов, требующего раскрытия в данной статье.

Статья поступила в редакцию 18.06.2025; поступила после доработки 06.09.2025; принята к публикации 07.09.2025

Сведения об авторах

Пушкарь Владимир Степанович – д.г.н., г.н.с., Дальневосточный геологический институт ДВО РАН, Россия, Владивосток (Far East Geological Institute, Far Eastern Branch, RAS, Russia, Vladivostok); vlpushkar@mail.ru; ORCID – <https://orcid.org/0000-0003-0235-9474>; SPIN-код 6587-3399.

Казарина Галина Христофоровна – к.г.н., в.н.с., Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН (Shirshov Institute of Oceanology RAS, Russia, Moscow); gkazarina@mail.ru; ORCID – <https://orcid.org/0009-0002-6505-3181>; SPIN-код 7074-7596.

Корреспондентский адрес: Россия, 690022, Владивосток, пр-т 100-летия Владивостока, д. 159, ДВГИ ДВО РАН, тел. (423) 231-87-50

Anastasia Panteleimonovna Jouze – life in science and global renown

Vladimir S. Pushkar¹, Galina Ch. Kazarina²

¹Far East Geological Institute, Far Eastern Branch, RAS (Russia, Vladivostok)

²Shirshov Institute of Oceanology RAS (Russia, Moscow)

2025 marks the 120th anniversary of the birth of Anastasia Panteleimonovna Jouze, an eminent Soviet scientist and professor of geographical sciences. She was the founder of the Russian school of marine micropaleontology, zonal biostratigraphy, and paleoecology, and a winner of the 1st Degree Stalin Prize. Anastasia Panteleimonovna is renowned for developing and scientifically substantiating a new, world-leading high-resolution method—diatom analysis—which has provided new data in the fields of modern biostratigraphy and palaeogeography. She is also associated with the development of the first marine zonal diatom scales of the Cenozoic in Eurasia and the World Ocean, as well as the identification of glacial and interglacial sedimentation cycles. Her work has significantly advanced Quaternary paleogeographic studies on a global level.

Key words: Diatoms; evolution and ecological diatom associations' recombination, paleoclimate; sea level; Quaternary; North Pacific

ССЫЛКА НА СТАТЬЮ:

Пушкарь В.С., Казарина Г.Х. Анастасия Пантелеймоновна Жузе – жизнь в науке и мировое признание // Вопросы современной альгологии. 2025. № 1 (37). Р. 399–402. URL: <http://algology.ru/2233>

Pushkar V.S., Kazarina G.Ch. Anastasia Panteleimonovna Jouze – life in science and global renown. *Voprosy sovremennoi algologii (Issues of modern algology)*. 2025. № 1 (37). Р. 399–402. URL: <http://algology.ru/2233>

DOI – [https://doi.org/10.33624/2311-0147-2025-1\(37\)-399-402](https://doi.org/10.33624/2311-0147-2025-1(37)-399-402); EDN – RSINYO

К 120-летию со дня рождения А.П. Жузе (воспоминания Логиновой Л.П.)

On the 120th anniversary of the birth of A.P. Zhuse (memoirs of Loginova L.P.)

Логинова Л.П.

Ludmila P. Loginova

Я – одна из немногих ныне здравствующих была лично знакома с Анастасией Пантелеймоновной Жузе. Познакомилась с ней в 1965 году, будучи студенткой 4 курса кафедры «Новейшие отложения антропогена» геофака МГУ. Кафедрой руководил академик Константин Константинович Марков, муж Анастасии Пантелеймоновны. В то время я осваивала метод диатомового анализа под руководством опытного специалиста и педагога Зои Владимировны Алешинской. В овладении методом помогала и консультировала меня Анастасия Пантелеймоновна. Она была рецензентом моей дипломной работы, и мне приходилось бывать у нее дома.

В своих воспоминаниях я хочу поделиться своими впечатлениями о жизни этой замечательной семьи Маркова-Жузе. Внешне они совершенно не похожи друг на друга, но по взглядам на жизнь, по отношению друг к другу, по отношению к людям, они были как единое целое, словно две половинки одного яблока. Представить их отдельно друг от друга просто невозможно.

Анастасия Пантелеймоновна – добрейшей души человек невысокого роста, черноглазая, с внимательным взглядом, с негромким спокойным голосом, с простой русской прической, с гладко зачесанными и собранными в пучок на затылке, волосами. От всего ее облика исходило обаяние, тепло и материнское притяжение.

Константин Константинович был также невысокого роста, блондин с пушком волос на голове, с очень добрым и проницательным взглядом. Группа наша была небольшая и он, казалось, знал о нас буквально все – кто и откуда мы, и чем интересуемся, и чем дышим. В трудные минуты некоторых студентов, особо нуждающихся, поддерживал материально, предоставлял возможность работать на полставки в качестве лаборанта в лаборатории. Он старался дать нам как можно больше знаний, приглашал сотрудников из Института геологии РАН, которые читали нам лекции по археологии и палеонтологии, не включенные в учебную программу. Часто брал нас на конференции и совещания, проводимые в Институте геологии, где мы знакомились с докладами известных ученых-геологов. На одном из таких совещаний Константин Константинович познакомил меня с академиком Гаврилой Ивановичем Горецким и рекомендовал меня как будущего диатомолога, что и определило мою дальнейшую судьбу.

После окончания университета Гаврила Иванович пригласил меня в аспирантуру в Институт геохимии и геофизики АН БССР и определил мне тему по изучению диатомовой флоры лихвинского межледниковья средней полосы Восточно-европейской равнины, включая территорию Белоруссии, что в дальнейшем легло в основу

кандидатской работы. Сведений по диатомовой флоре этой геологической эпохи было очень мало. Первые исследования диатомовой флоры из классического разреза в окрестностях г. Лихвин (ныне Чекалин) провела и опубликовала Анастасия Пантелеймоновна. С этого момента Анастасия Пантелеймоновна стала для меня учителем, консультантом, помощником и добрым советником. Мы стали встречаться по мере возможности. Я привозила свои работы для подтверждения правильного определения диатомовой флоры. Встречались мы в Институте океанологии, но чаще – у нее дома. Я еще больше и ближе узнала Анастасию Пантелеймоновну. От нее исходила материнская забота, доброта и радушие. Она была не только великим ученым, но и великолепнейшей хозяйкой, нежной мамой, чудесной бабушкой. Когда заходил разговор о детях и внуках, ее глаза блестели счастьем. У нее на все и всех хватало времени: на науку, на семью, на учеников. Домашнее хозяйство она вела сама, никогда я не видела в их доме помощницы. А какие замечательные пекла пироги, даже рецептом со мной поделилась. Она была хлебосольной хозяйкой, никогда никого не отпускала без угощения и чаепития.

Во время чаепития Анастасия Пантелеймоновна осторожно по-матерински расспрашивала о семье, о детях, интересовалась планами дальнейшей работы. Мне запомнилась моя поездка к Анастасии Пантелеймоновне, когда я привезла свою кандидатскую диссертацию на рецензию, как оппоненту. Я была вынуждена взять с собой свою пятилетнюю дочь. Анастасия Пантелеймоновна приняла нас по-матерински тепло, подарила моей дочке одну из коллекционных кукол, стоящих в буфете. Она с теплотой и любовью рассказывала о своем единственном внуке, радовалась его возрастным переменам, жила его интересами, была очень любящей бабушкой. С тех пор прошло 50 лет, моя дочь стала мамой и бабушкой, но до сих пор помнит этот дорогой, для детской души, подарок, красивую куколку в одежде стюардессы. Позже Анастасия Пантелеймоновна была редактором публикации моей монографии «Палеогеография лихвинского межледникового средней полосы Восточно-Европейской равнины», и это было большой честью для меня. По прошествии многих лет начинаешь понимать и осознавать, что находилась рядом с такими великими и маститыми учеными и в тоже время очень простыми, скромными, интеллигентными людьми, у которых мы учились жизни, за что им очень благодарны. Я благодарна судьбе, что была знакома, встречалась и прикоснулась к таким величайшим знаменитостям в науке. Такие люди не уходят бесследно, они оставляют большое наследие в своих трудах и этим они вечно живы, память нетленна. Я благодарна своим учителям Константину Константиновичу Маркову и Анастасии Пантелеймоновне Жузе, родоначальнице изучения лихвинской диатомовой флоры, которые определили мою судьбу. Я горда тем, что мне дали возможность проститься и проводить в последний путь в 1980 году Константина Константиновича Маркова, а в 1981 г. мы уже с Галиной Кузьминичной Хурсевич проводили в последний путь дорогую Анастасию Пантелеймоновну Жузе.

Статья поступила в редакцию 18.06.2025; поступила после доработки 10.09.2025; принята к публикации 11.09.2025

Сведения об авторе

Логинова Людмила Павловна – кандидат географических наук; sviridanna.61@mail.ru.

К 120-летию юбилею Анастасии Пантелеймоновны Жузе

Dedicated to the 120th anniversary of Anastasia Panteleimonovna Zhuse

Хурсевич Г.К.

Galina K. Khursevich

Диатомовый анализ как палеонтологический метод получил признание в практике геологических исследований впервые на территории Советского Союза, начиная с 40-50-ых годов прошлого столетия. Его развитие было связано в первую очередь с именами В.С. Порецкого, А.П. Жузе и В.С. Шешуковой-Порецкой, с которыми хорошо был знаком Г.И. Горецкий.

Использование метода диатомового анализа (в комплексе с геологическими и другими палеонтологическими методами) для биостратиграфии, корреляции разновозрастных верхнекайнозойских отложений и выяснения палеогеографических условий их формирования в Беларуси было начато именно по инициативе академика Г.И. Горецкого в Институте геохимии и геофизики АН БССР в конце 60-х гг. XX в. Для освоения этого метода и его внедрения в практику геологических работ БССР Л.П. Логинова и я были приглашены для поступления в аспирантуру нашего института. Работая над кандидатскими диссертациями, мы неоднократно ездили в командировки по различным вопросам диатомового анализа как в Санкт-Петербург, СПбГУ, на кафедру низших растений, где работали ведущие диатомологи В.С. Шешукова-Порецкая, Н.И. Стрельникова, Т.Ф. Козыренко и Н.И. Головенкина, так и в Москву, Институт океанологии АН СССР на консультацию к А.П. Жузе и В.В. Мухиной. В этих учреждениях мы ознакомились с обширной советской и зарубежной литературой по морфологии, таксономии, систематике, экологии, биогеографии диатомей, по современным и ископаемым диатомовым флорам из различных регионов России, Европы и др., а также с некоторыми коллекциями пресноводных современных и ископаемых диатомей российских коллег.

Работы А.П. Жузе (персональные и в соавторстве) были настольными книгами для нас. Ее перу принадлежит монография «Палеогеография водоемов на основе диатомового анализа» (1939). Это была одна из первых работ в практике мировой микропалеонтологии, посвященная применению метода диатомового анализа для восстановления истории развития современных водоемов. А.П. Жузе принимала участие в создании коллективного фундаментального труда «Диатомовый анализ», в 3х книгах (1949–1950), который был отмечен Государственной премией (1951). Она входила в состав редколлегии книги «Диатомовые водоросли СССР. Ископаемые и современные». (1974. Т. I). В этом томе в главе VI А.П. Жузе с соавторами подробно рассмотрели методику исследования, а в главе VII она обратила особое внимание на роль диатомей в процессе осадкообразования в морях и континентальных водоемах.

А.П. Жузе внесла несомненный вклад в изучение ископаемого диатомового материала из различных частей Мирового океана, включая материал глубоководного бурения с судна «Гломар Челленджер», выполненного в 1975 г. в юго-западной части Черного моря по Международной программе. Стратиграфия верхнекайнозойских отложений и палеогеография Черного моря (по данным диатомового анализа) первоначально детально охарактеризована А.П. Жузе совместно с В.В. Мухиной в «Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project», Vol. 42, pt. 2 (1978), а позднее – в коллективной монографии «Геологическая история Черного моря по результатам глубоководного бурения» (1980). Особый интерес в них вызывает сукцессия диатомей, выявленная в плиоценовых донных осадках Черного моря, мощность которых составляет 129,5 м в скв. 381 и 201,5 м в скв. 380А. Она представлена закономерной сменой доминантных вымерших видов *Aulacosira*, *Cyclotella*, *Stephanodiscus* и *Cyclostephanos* и отражает специфику изменений палеоэкологических условий в Черноморском бассейне (в сторону существенного опреснения) на протяжении плиоцена. Таксономическая принадлежность видов *Stephanodiscus* и *Cyclostephanos* была уточнена позднее с использованием сканирующей электронной микроскопии Г.К. Хурсевич и В.В. Мухиной (1986, 1990, 1995). Многие из них являются плиоценовыми эндемиками Черного моря и имеют ограниченное вертикальное распространение по изученным разрезам.

А.П. Жузе была официальным оппонентом наших кандидатских диссертаций. К сожалению, на защите моей диссертации, которая проходила в БГУ (Минск, 1974), она не присутствовала по состоянию здоровья. Однако Анастасия Пантелеймоновна, как очень ответственный и исполнительный человек, смогла своевременно написать и отправить отзыв в Специализированный совет, за что я искренне благодарна ей. Защита состоялась вовремя. Позднее А.П. Жузе была редактором моей монографии «История развития диатомовой флоры озер Нарочанского бассейна», опубликованной в 1976 г. по материалам исследований, которые проводились в период обучения в аспирантуре. В монографии были учтены все замечания и рекомендации, отмеченные А.П. Жузе в отзыве на диссертационную работу.

Особенно приятные воспоминания сохранились у меня о встрече с А.П. Жузе весной 1980 г. во время обсуждения материалов подготовленной к публикации работы «Ископаемая диатомовая флора Белоруссии (систематический обзор)» (в соавторстве с Л.П. Логиновой). Она внимательно ознакомилась с результатами изучения систематического состава диатомовых водорослей, обнаруженных в 24 разрезах на территории БССР, отметила своеобразие родового и видового состава диатомовых комплексов, приуроченных к отдельным стратиграфическим подразделениям верхнего кайнозоя республики, которые имеют черты сходства с одновозрастными комплексами других регионов России и зарубежных стран. Особое внимание она обратила на описание новых и характеристику вымерших, реликтовых и редких для территории России видов диатомей, иллюстрированных оригинальными микрофотографиями. В целом А.П. Жузе дала положительную оценку нашей работе, обсуждение которой проходило в уютной обстановке в квартире, расположенной в здании МГУ на Ленинских горах. При обсуждении результатов исследований она дала ряд полезных советов и замечаний по тексту, рекомендовала усилить выводы и практическое использование работы, предложила добавить несколько важных статей в список литературы и сделать на них ссылки в тексте. Во время чаепития А.П. Жузе интересовалась научными планами на будущее, чем я и моя семья увлекается в обыденной жизни, моими семейными заботами, поделилась интересными событиями в своей жизни, о знакомстве и многолетней переписке с Г.И. Горецким и другими известными специалистами. Общение с ней прошло легко и непринужденно, а атмосфера была доброжелательной и душевной.

А.П. Жузе своим высоким профессионализмом снискала заслуженный авторитет не только среди российских, но и зарубежных коллег, со многими из которых она

сотрудничала, переписывалась и обменивалась литературой долгие годы. Она владела немецким и французским языками, самостоятельно освоила английский язык. А.П. Жузе была одним из организаторов Международных симпозиумов по современным и ископаемым диатомовым водорослям, первый из которых состоялся в Кембридже в 1967 г. Начиная с этого года, они регулярно проходят каждые два года в разных странах мира. Она – замечательный учитель, взрастивший многих учеников, охотно давала консультации и советы молодым специалистам, которые всегда находили у нее понимание и научную поддержку.

А.П. Жузе – человек высоких моральных ценностей и общей культуры. Её жизненный путь – это пример добросовестного служения науке и любимой работе. Она на долгие годы сохранила присущие ей оптимизм, энергию и интерес к жизни. Мы всегда будем вспоминать А.П. Жузе с теплотой и благодарностью.

Статья поступила в редакцию 18.06.2025; поступила после доработки 11.09.2025; принята к публикации 11.09.2025

Сведения об авторе

Хурсевич Галина Кузьминична – доктор биологических наук, профессор; galinakhurs.41@mail.ru.