Секция 5.

Биостратиграфия и палеореконструкции

УДК 551.89+551.461.8 *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. Ширшова РАН – ИО РАН (Москва, Россия)

Исследован состав диатомовых ассоциаций голоценовых отложений высокоширотного дрифта 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 дрифтов (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 дрифта 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 относительном 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 Survay, Natural Environment Res, 1990. – P. 15–18.

7. *Rebesco M., Özmaral A., Urgeles R., Accettella D., Lucchi R., Rüther 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. *Sarnthein 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., Lysså 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. Т. 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 Survay, Natural Environment Res, Cambridge, 1990. P. 15–18.

7. Rebesco M., Özmaral A., Urgeles R., Accettella D., Lucchi R., Rüther 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. Sarnthein, 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). Р. 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; EDN – JUABUS

УДК 551.782.1:561.261.1 *Биостратиграфия и палеореконструкции*

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 Биоразнообразия 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 «prae» 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 Приморье 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*.

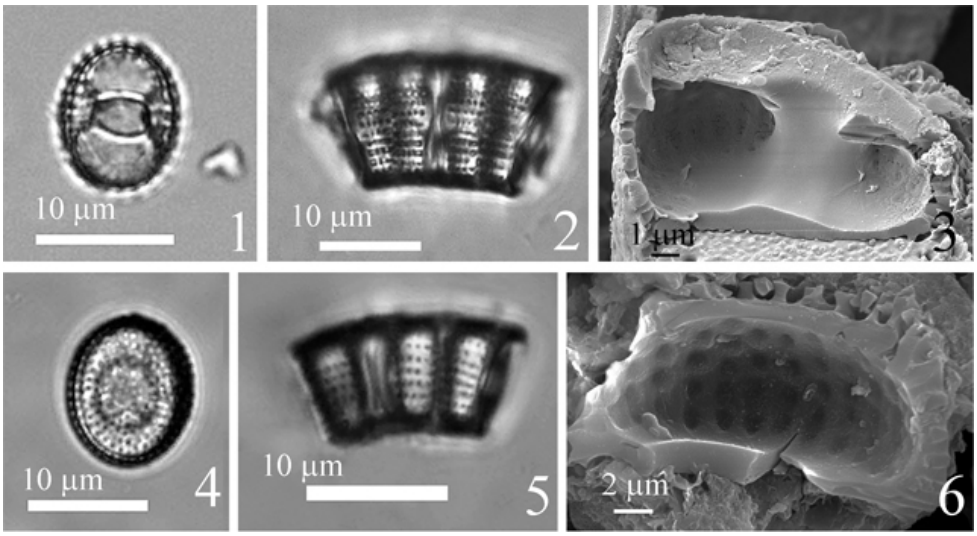

Рис. 1. Эллиптические пресноводные диатомовые водоросли семейства Aulacoseiraceae Crawford в раннем миоцене Южного Приморья: 1–3 – *Alveolophora hachiyaensis* (Tanaka) Houk, Klee et Tanaka, 4–6 – *Aulacoseira elliptica* Tsoy. 1, 2, 4, 5 – СМ; 3, 6 – СЭМ.

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 диатомовой 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). Р. 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; EDN – KAWUDT

УДК 551.461.8 *Биостратиграфия и палеореконструкции*

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 палеокеанографической 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 $\delta^{18}O$, магнитной восприимчивости осадка, тефрохронологии и изменения цветовых 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 поступление питательных веществ в фотическую зону, закономерности развития диатомовых водорослей, сукцессию видов во времени для каждого водоема (рис. 1).

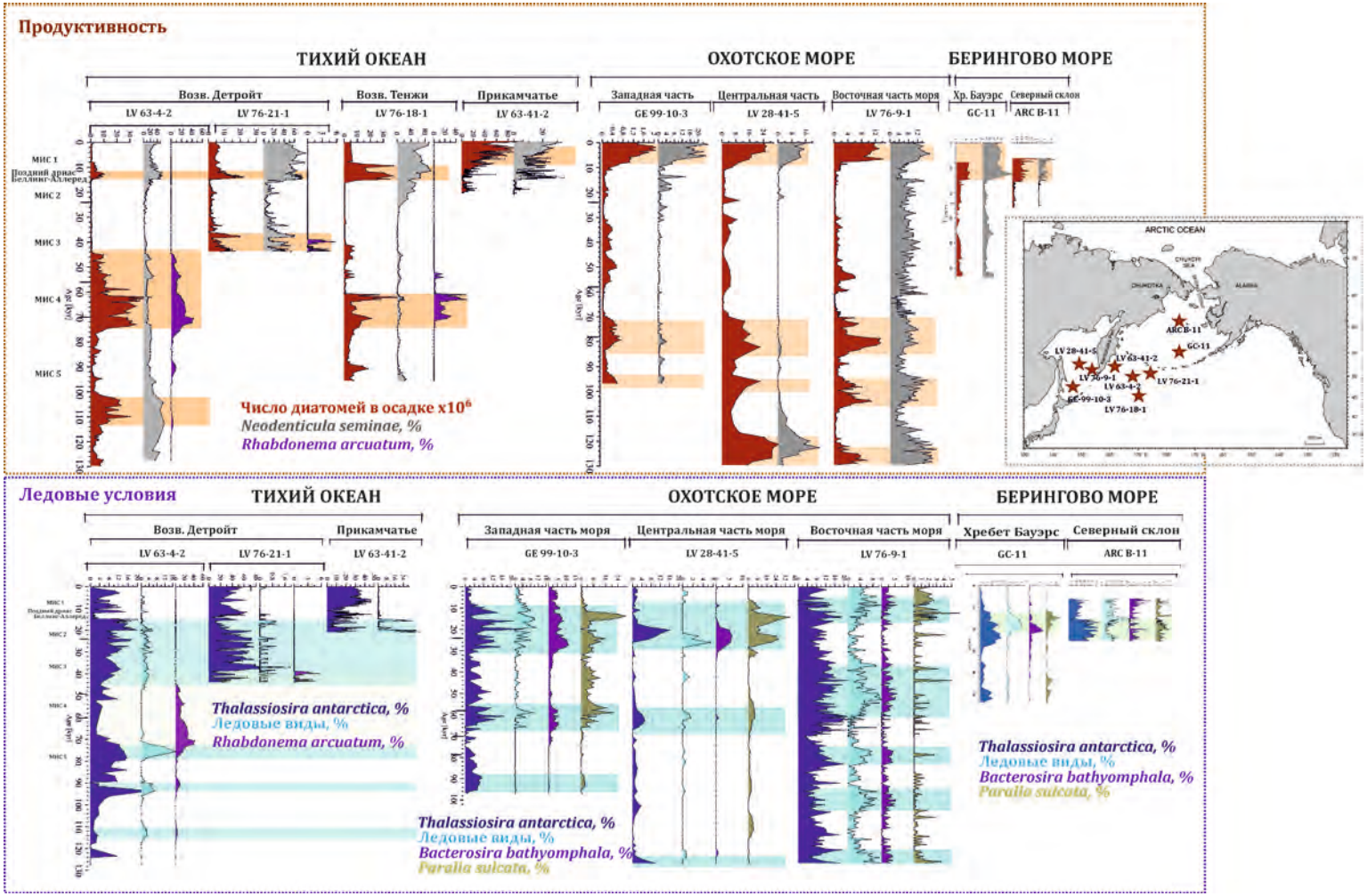

Рис. 1. Изменения окружающей среды в северо-западной части Тихого океана за последние 130 тыс. лет по данным диатомового анализа. Розовым цветом выделены периоды высокой продуктивности диатомей. Голубым цветом выделены периоды высокой ледовитости.

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 разноса, 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–беринговоморский 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:

Артемова 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). Р. 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; EDN – KRUYLN

УДК 551.794:561.26:574.5:58.056 *Биостратиграфия и палеореконструкции*

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

[1]Обособленное подразделение ФИЦ КНЦ СО РАН «Институт биофизики СО РАН» – (ИБФ СО РАН) (Красноярск, Россия)
[2]Сибирский 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 (Подкаменя Тунгуска, Верхняя Лакура, Кимчу). В одном из таких водоёмов, озере Пеюнгда, был взять 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% H_2O_2 (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, солености, 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).

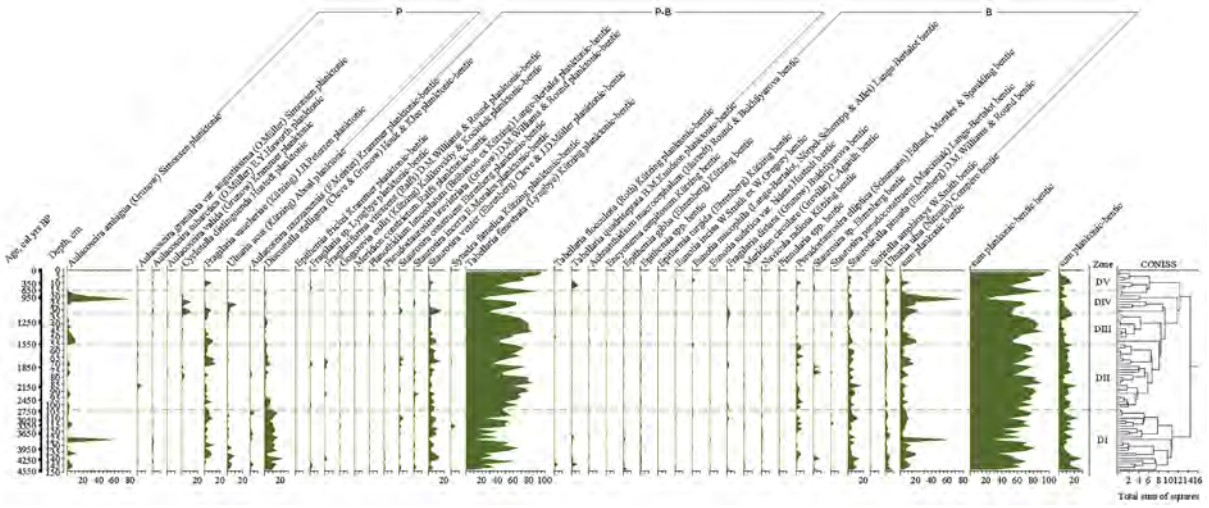

Рис. 1. Распределение диатомовых водорослей в донных отложениях озера Пеюнгда (DI-DV обозначены зоны).

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 (Баринова, 2006), вероятно, говорит об уменьшение 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 (Трифонова, 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 Пеюнгда эвтрофицирование, является прямым следствием антропогенного фактора (Жузе, 1974; Давыдова, 1985). В первую очередь это связанно с увеличением средних температур на Земле, вызванных глобальным потеплением климата, ведущих к таянью 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. *Баринова 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

Болобанщикова 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. Bolobanshchikova[1], Denis Yu. Rogozin[1,2]

[1]FRC KSC SB RAS – IBP SB RAS (Russia, Krasnoyarsk)
[2]Siberian 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 (Podkamennya 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; EDN – KVTWFN

УДК 561.26+550.384:551.781(571.66) *Биостратиграфия и палеореконструкции*

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 nansenii* 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 С17–С6) (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 *Rocella gelida*	обратная	C9r	27,49
УИ *Lisitzinia ornata*, УП *Rhizosolenia miocenica*	обратная	C9r	27,54
УП *Pseudodimerogramma elegans*	обратная	C9r	27,64
УП *Lisitzinia ornata*	обратная	C9r	27,71
УП *Cestodscus kugleri*, УП *Sceptroneis humuncia* var. *rondipoda*	обратная	C9r	27,76
УП *Cavitatus miocenicus*	обратная	C9r	27,85
УП *Thalassiosira nansenii,* УП *Asteromphalus symmetricus,* УП *Cavitatus jouseanus*	прямая	C12n	30,64
УП *Rhizosolenia oligocaenica,* УП *R. antarctica*	обратная	C12r	32,30
УП *Eurossia irregularis*	обратная	C13r	34,26
УП *Odontella sawamurae*, УП *Kisseleviella carina*, УП *Ikebea tenuis*	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 квартер 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 (дата обращения: 15.06.2025)

3. *Казанский А.Ю., Водовозов В.Ю., Гладенков А.Ю., Гладенков Ю.Б., Трубихин 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 mezhdu 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 (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). Р. 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; EDN – LPWTJE

УДК 551.21 *Биостратиграфия и палеореконструкции*

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 уклонах 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. (Разжигаева 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 31.1x10^6 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),

солоноватоводно-пресноводные (17). Большая часть видов малочисленны (<2%) и только 11 видов более обильны. В осадках преобладают бентосные солоноватоводные 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 gravida*. В составе солоноватоводно-пресноводных значительной численности достигают *Tabularia fasciculata* (до 8,1%). Пресноводные виды разнообразны, но малочисленны (<20%). Наиболее часто встречаются *Staurosira venter, Staurosirella pinnata, Stauroforma exiguiformis.* В осадках, вмерзших 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 припае (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).

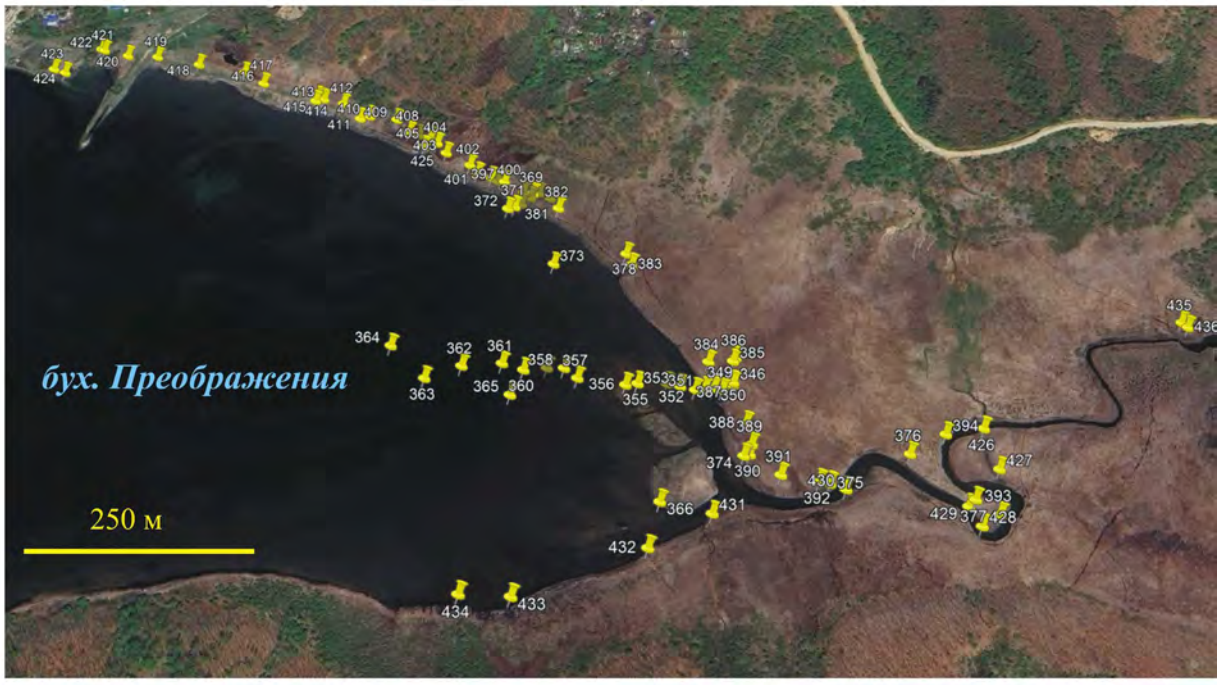

Рис. 1. Кутовая часть бухты Преображения с точками наблюдений (т.н.).

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 диатомеи (до 68,3%). Наиболее высокое содержание морских видов отмечено в т.н. 29/375 (22%). Здесь чаще встречаются пелагические диатомеи. 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. *Разжигаева 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). Р. 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; EDN – MIGHZC

УДК 561.26:551.35(262.54) *Биостратиграфия и палеореконструкции*

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. *tonsura* Kovaleva et Gogorev (рис. 1 д–ж).

Анализ пространственного распространения *Actinocyclus octonarius* var. *tonsura* 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. *tonsura* и *A. pseudopodolicus* в качестве индикаторных таксонов, которые маркируют новоазовские слои (Ковалева, 2019; Матишов и др., 2025).

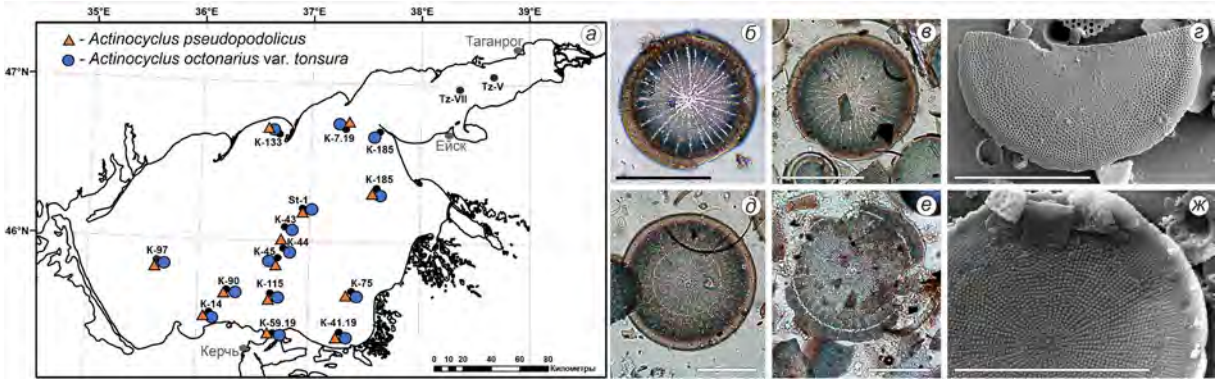

Рис. 1. Карта-схема расположения колонок (а) в которых обнаружены *Actinocyclus pseudopodolicus* (б–г) и *Actinocyclus octonarius* var. *tonsura* (д–ж), (линейка 50 мкм).

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, Корыренко, 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) Kozyrenko, 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 вариететов *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 новоэвксинской 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 мэотиса 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 мэотиса – 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, 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. *Ольштынская А.П., Мельник А.В.* Диатомовые комплексы среднего сармата северной части Черноморского региона // Тектоніка 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, EDN – QHKHDC (In Russ.)

4. Makarova I.V., Kozyrenko 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). Р. 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; EDN – MVEDIX

УДК 561.26:551.35(262.54) *Биостратиграфия и палеореконструкции*

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. Kovaleva[1], Alexandra V. Usanova[1,2]

[1]Федеральный исследовательский центр Южный научный центр РАН – ЮНЦ РАН (Ростов-на-Дону, Россия)
[2]Южный 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).

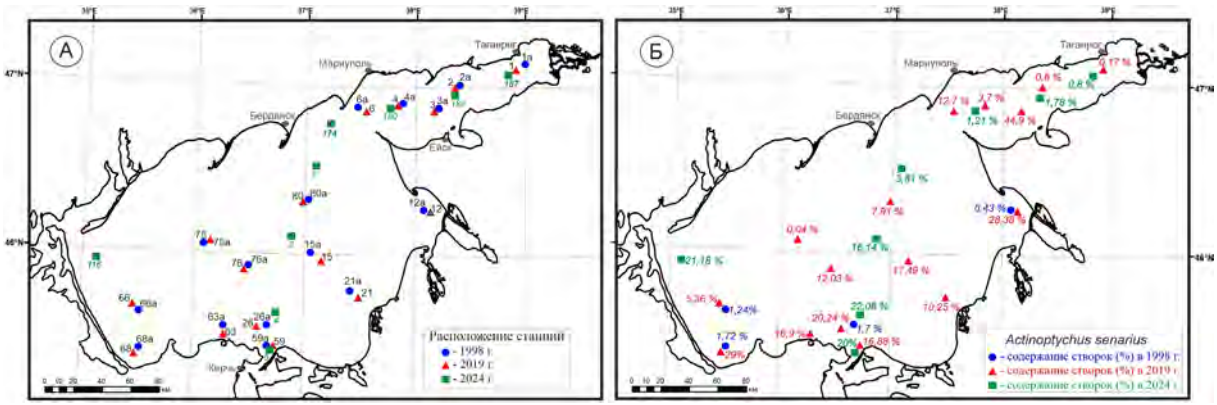

Рис. 1. Карта расположения станций отбора проб (А) и содержание створок *Actinoptychus senarius* (Б) в поверхностных осадках в 1998, 2019 и 2024 гг.

Fig. 1. Map of the location of sampling stations (A) and the abundance of Actinoptychus senarius valves (B) 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 *Actinoptychus 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 (преддельтовой) части.

Численность донных форм (*Staurosira construens* Ehrenberg, *Staurosirella martyi* (Héribaud-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., *Actinoptychus 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 *Actinoptychus 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, ЮНЦ РАН, тел. (863) 250-98-25 (206).

Diatoms from bottom sediments of the Sea of Azov

Galina V. Kovaleva[1], 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. T.58, № 1. P. A1-A34. 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). Р. 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; EDN – OQXUNH

УДК 551.312:556.55 *Биостратиграфия и палеореконструкции*

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. Вначале 90-х годов прошлого века стали обнаруживаться и изучаться позднe- и послеледниковае 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 сейсмотектонического ущелья «Чуна» (N 69°34.94'; E 32°29.60').

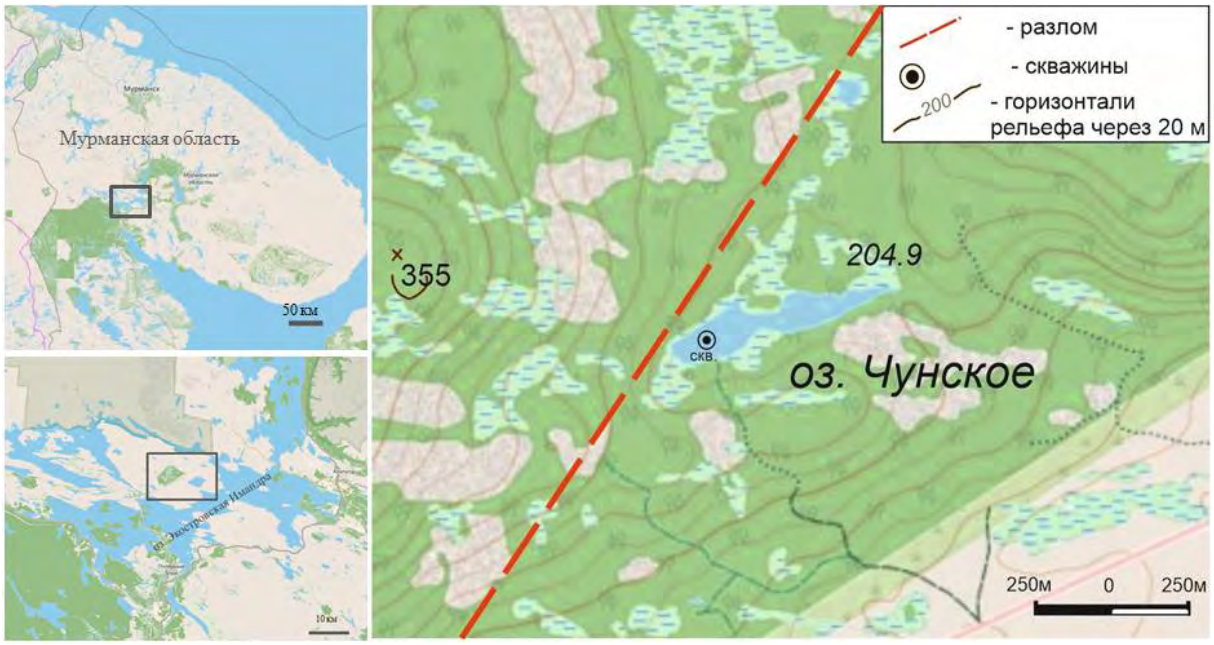

Рис. 1. Карта расположения безымянного озера в районе палеосейсмодислокации «Чуна».

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 – тонкослоистые 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 (прослои 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 подстилающий слой постепенный;

500–600 см – гиттия коричневая, рыхлая, обводненная, обогащенная растительными остатками. С глубиной появляется неясная слоистость. Контакт с подстилающим слоем постепенный.

В строении разреза выделяются две основные фации осадков: приледникового озера (алевриты 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).

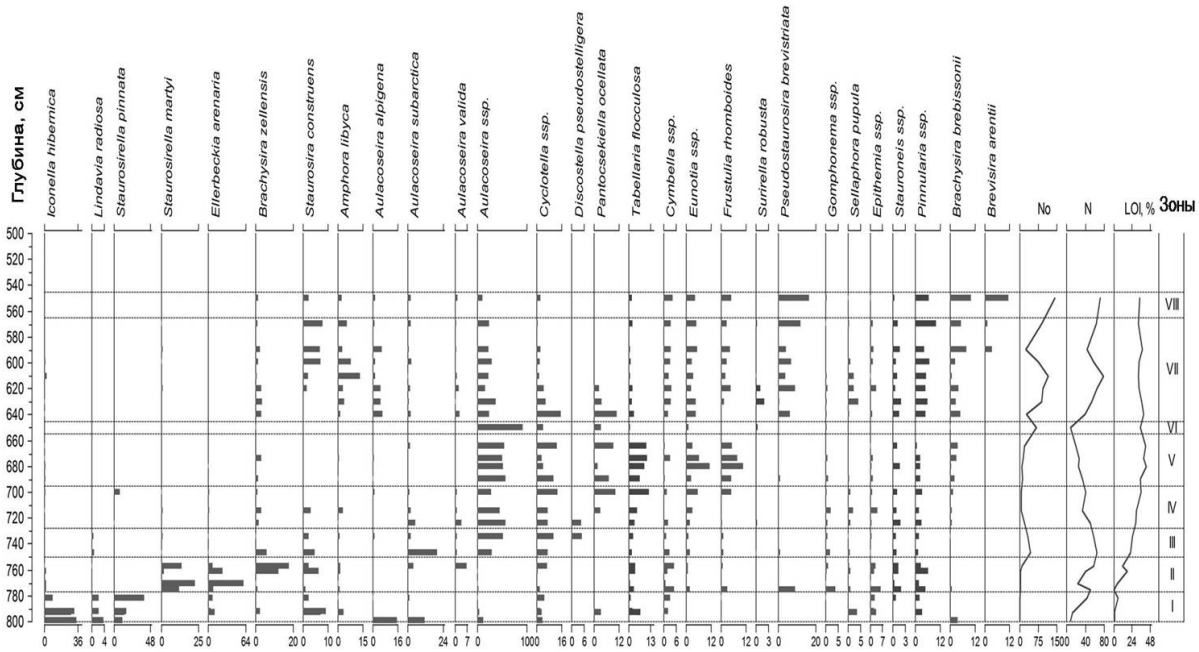

Рис. 2. Распределение массовых видов диатомовых водорослей в донных отложениях безымянного озера «Чуна2/2020» (%), No – обилие створок (млн.ств./г), N – количество видов, LOI – потери при прокаливании (%).

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 доминурующей 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 бентосный 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 осаждении 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, Afrocymbella // H. Lange-Bertalot (Ed.), Diatoms of Europe, 4. Ruggell:A. R. G. GantnerVerlag 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 Peport 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-Triggered Faulting. – Cambridge University Press, 2021. – P. 246–260. DOI: https://doi.org/10.1017/9781108779 906.018.

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.2018.0 5.008.

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 Paleoearthquakes 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. Kosova[1], Dmitrii B. Denisov[1], Svetlana B. Nikolaeva[2]

[1]The Institute of North Industrial Ecology Problems – separate subdivision of the FRC «Kola Science Centre» (INEP KSC RAS) (Russia, Apatity)

[2]Geological 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 paleoearthquakes in the Middle and Late Holocene.

Key words: Diatoms; sediments; Holocene; paleoearthquake; 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. Cymbopleura, Delicata, Navicymbula, Gomphocymbellopsis, Afrocymbella. *In:* H. Lange-Bertalot (ed.), Diatoms of Europe, 4. Ruggell:A. R. G. GantnerVerlag 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 Peport YST-90. Geological Survey of Finland, Espoo, 1995. 36 p.

9. Nikolaeva S.B. Paleoseismic dislocations of the northeastern part of the Baltic Schield 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/10.1017/9781108779 906.018

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.2018.0 5.008

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 Paleoearthquakes 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 tsunami 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 (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). Р. 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; EDN – QFFFTL

УДК 551.89 *Биостратиграфия и палеореконструкции*

Голоценовые и позднеплейстоценовые 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 позднеплейстоценовых 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 позднеплейстоценового 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 ×600 – ×1200). Видовой состав и концентрация створок сопоставлялись с геохимическими и литологическими данными (хлорин, $C_{орг.}$, $CaCO_3$%, 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, Actinoptychus 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 увеличение 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 холодоводных 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. С. 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 позднеплейстоценовые 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; EDN – QOLSPD

УДК 582.89.(571.63) *Биостратиграфия и палеореконструкции*

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 Посьета 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 pH 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 диатомеи разделены на две экологические группы. Озерно-реофильные диатомеи, 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 pH 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*. харектерный 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 pH 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 pH 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 соловатоводные 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 соловатоводно-морские *Auliscus sculptus, Pinnunavis yarrensis* и соловатоводный *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 соловатоводные 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*, соловатоводно-морский *Pinnunavis yarrensis* и соловатоводный *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 соловатоводные виды диатомей. Это указывает о снижении частоты наводнений и существование 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.

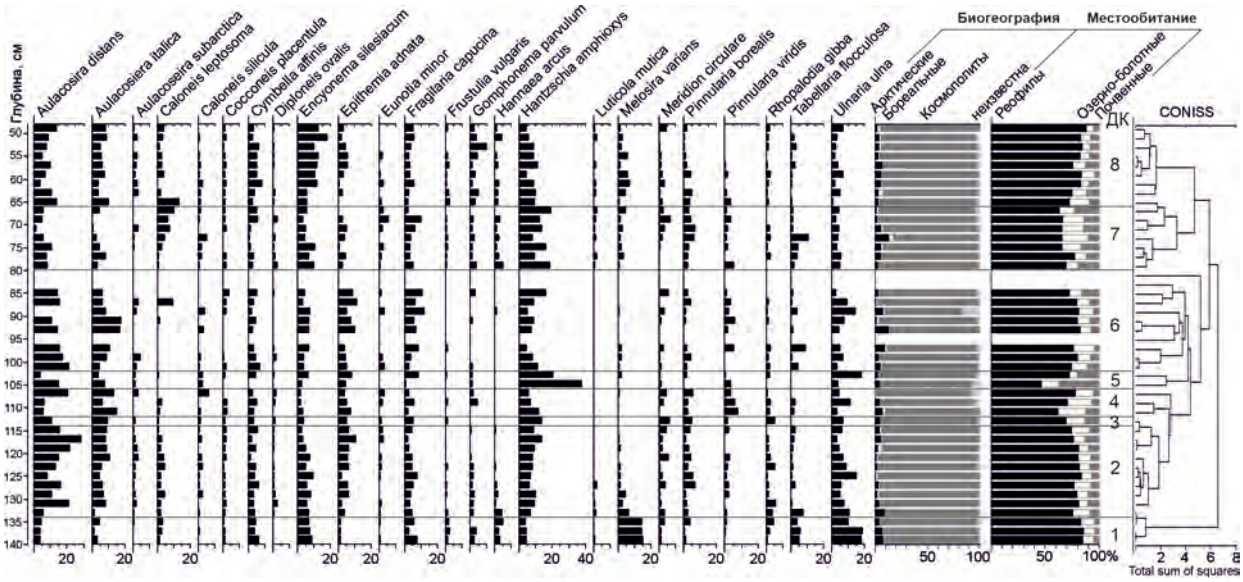

Рис. 1. Диатомовая диаграмма отложений поймы р. Цукановки.

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). Р. 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; EDN – QTNVEP

УДК 551.89+582.26 *Биостратиграфия и палеореконструкции*

Ассоциации диатомовых водорослей голоценовых отложений в Северной Атлантике (район хребта Рейкьянес)

Diatom assemblages in holocene sediments of the North Atlantic (Reykjanes ringe area)

Мельникова А.А.

Anna A. Melnikova

Институт океанологии имени П.П. Ширшова РАН – ИО РАН (Москва, Россия)

В работе представлены результаты диатомового анализа голоценовых отложений из района хребта Рейкьянес Северной Атлнатки. 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 максимальными 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 (AMOC) (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. Керн 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 ×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 bicapitata*, *Proboscia alata*, *Roperia tesselata*, *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 тёплолюбивым 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 tesselata* и *Nitzschia bicapitata* – 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 керна, что подтверждается максимальными содержанием *Rhizosolenia styliformis* (до 62%), указывающего на взаимодействие атлантических и арктических водных масс в данный период (Koç 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 диатомеи, 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 тёплолюбивых 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. Ширшова 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. Ширшова 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. Ширшова 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; EDN – SIKPKG

УДК 551.46.0 *Биостратиграфия и палеореконструкции*

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 речном 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.

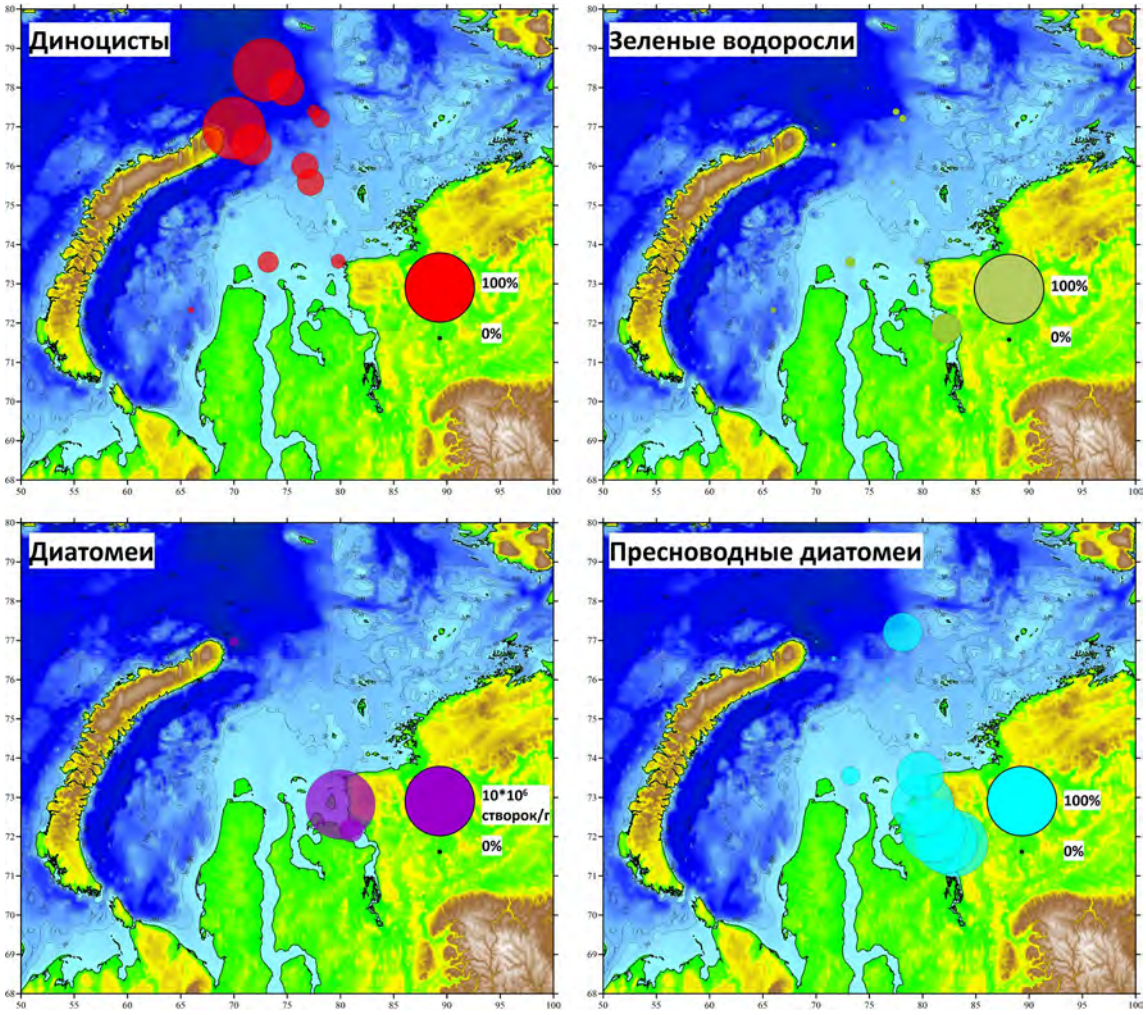

Рис. 1. Распределение диноцист и зеленых водорослей (в % от общего состава палиноморф), общих концентраций диатомовых водорослей (количество створок/г) и пресноводных диатомей (в % от общего состава диатомовых ассоциаций) в поверхностных осадках Карского моря.

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., Grøsfjeld K., Henry M., Holzwarth U., Kielt 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 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

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., Kielt 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

ССЫЛКА НА СТАТЬЮ:

Новичкова Е.А., Агафонова Е.А. Микроводоросли в поверхностных осадках Карского моря // Вопросы современной альгологии. 2025. № 1 (37). Р. 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; EDN – SJDDVL

УДК 574.21 *Биостратиграфия и палеореконструкции*

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

[1]Казанский (Приволжский) федеральный университет (Казань, Россия)
[2]Институт 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 индицировался 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 (Баринова 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* Eulenst. in Grun. и только в пределах этой зоны отмечался *Pliocaenicus 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, индиффернтных к течению и солености видов, заметно увеличилась доля створок бореальных алкалифильных 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 subarct*ica (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 pH 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 отмечено54 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 *Pliocaenicus 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. *Баринова 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.) – Paleoecology 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 implifications 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., Renerg 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.

Херцшу 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. Palagushkina[1], Andrei Andreev[2], Boris Biskaborn[2], Ulrike Herzschuh[2]

[1]Kazan (Volga Region) Federal University (Russia, Kazan)

[2]Alfred 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.) Paleoecology 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 implifications 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., Renerg 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., Херцшу У. Исследования четвертичной среды в Восточной части Берингии (полуостров Сьюард, Аляска) по озерным отложениям с помощью диатомового анализа // Вопросы современной альгологии. 2025. № 1 (37). Р. 291–295. URL: http://algology.ru/2211

Palagushkina O.V., Andreev A., Biskaborn B., Herzschuh 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; EDN – UWPCCO

УДК 561.26+552.143+581.524.441 *Биостратиграфия и палеореконструкции*

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 45º и 65º 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 CO_2 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 CO_2, 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 беринговоморских 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., Клювиткина 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 responce 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.* Tertiery 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: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: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: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: 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: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 responce 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. Tertiery 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: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: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: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: 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). Р. 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; EDN – VEQHKI

УДК 551.7:551.35 *Биостратиграфия и палеореконструкции*

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; квартер; 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 Матуяма-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 квартером 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 регионрусов, 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 регионрусов 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 пьяченцскму 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). Оканаанская 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 Вайнвригтиан 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 *Pyxidicula 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 Вайнвригтской (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'gygytgyn (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 Subcommission 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/epiiugs/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

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 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; Quarternary; 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 Subcommission 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). Р. 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; EDN – ILYEZI

УДК 551.89 *Биостратиграфия и палеореконструкции*

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

[1]Институт географии РАН (Москва, Россия)
[2]Московский 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., *Lindavi*a spp., *Stephanodiscu*s 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 озер 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 озер 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 прослои 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 (Batarbee 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 Каспля:

1. В интервале 15,1–13,4 м средняя толщина годичной пары слоев составляет 0,7 мм. Светлый весенне-летний слой, обычно формирующийся после таяния снега, состоит из тонкого прослоя створок центрических диатомей (*Aulacoseira* sp., *Lindavi*a sp., *Stephanodiscu*s sp) и более толстого прослоя кальцита. Темный осенне-зимний слой состоящего из органического детрита, минерагенного 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 слоев с двумя диатомовыми или смешанными диатомово-кальцитовыми прослоями, в которых наблюдаются как центрические, так и пеннатные диатомеи. Вероятно, вторые прослои 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 Каспля 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: Springler, 2001. – P.155–202.

2. *Hajdas I., Michczyński A.* Age-Depth Model of Lake Soppensee (Switzerland) based on the high-resolution ^{14}C 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

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. Rudinskaya[1], Lidiia V. Shasyerina[1], Evgeny A. Konstantinov[1], Andrey L. Zakharov[1], Mikhail Y. Alexandrin[1], Rodion A. Andreev[1,2]

[1]*Institute of Geography RAS (Russia, Moscow)*

[2]*Lomonosov 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. Springler, Dordrecht, 2001. P.155–202.

2. Hajdas I., Michczyński A. Age-Depth Model of Lake Soppensee (Switzerland) based on the high-resolution ^{14}C 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

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; EDN – IZOLTE

УДК 551.89 (470.21) *Биостратиграфия и палеореконструкции*

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 – алеврит 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 алеврите 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 алеврите 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 anglophil*a. 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 алеврита и в нижней части опесчаненной гиттии на глубине 104-68 см состав диатомовый 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 повышение 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 РНФ 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). Р. 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; EDN – JRSOAW

УДК 561.26: 551.35 (262.54) *Биостратиграфия и палеореконструкции*

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

[1]Федеральный исследовательский центр Южный научный центр РАН – ЮНЦ РАН (Ростов-на-Дону, Россия)
[2]Южный 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-солоноватоводных 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 *Chaetocero*s и низкая численность представителей рода *Actinocyclus* и *Actinoptychus senarius* (рис. 1).

Зона Na3 (сопоставляется с корсуньской регрессией) была выделена по доминированию солоноватоводно-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.

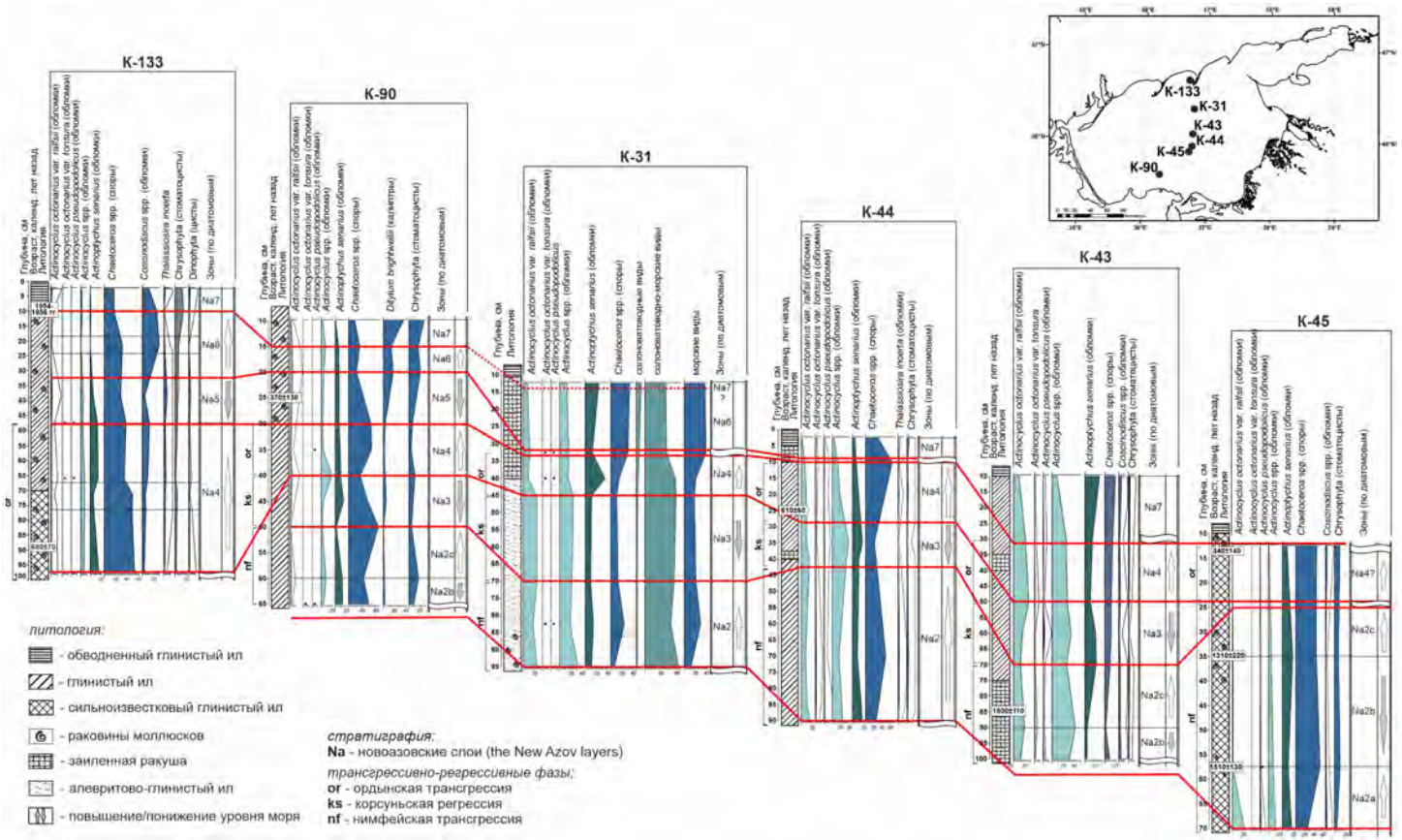

Рис. 1. Корреляция результатов диатомового анализа колонок донных отложений.

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]

[1]Southern Scientific Centre of RAS (Russia, Rostov-on-Don)

[2]Southern 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; EDN – CBZFWX

УДК 561.26:551.351(265.53) *Биостратиграфия и палеореконструкции*

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

[1]ФГБУ «ВНИИОкеангеология» (Санкт-Петербург, Россия)
[2]Санкт-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 бокскорером 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 NAPHRAX 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) Mereschkowsky, *Thalassiosira gravida* 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 (Пушкарь, 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 раннее 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 gravida* 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 палеореконструкций.

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. *Пушкарь В.С., Черепанова М.В.* Диатомовые комплексы и кореляция 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 signifi cance 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
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. Fomicheva[1], Zinaida V. Pushina[1], Alexey A. Krylov[1,2]

[1]VNIIOkeangeologia (Russia, Saint Petersburg)

[2]Saint 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 signifi cance 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

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). Р. 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; EDN – EETJOS

УДК 582.26(268.55) *Биостратиграфия и палеореконструкции*

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 сообщается 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. Наглёйнын и южной части ЧГ, доставляющих в залив тепло, питательные вещества и микроэлементы (Charkin et al. 2024).

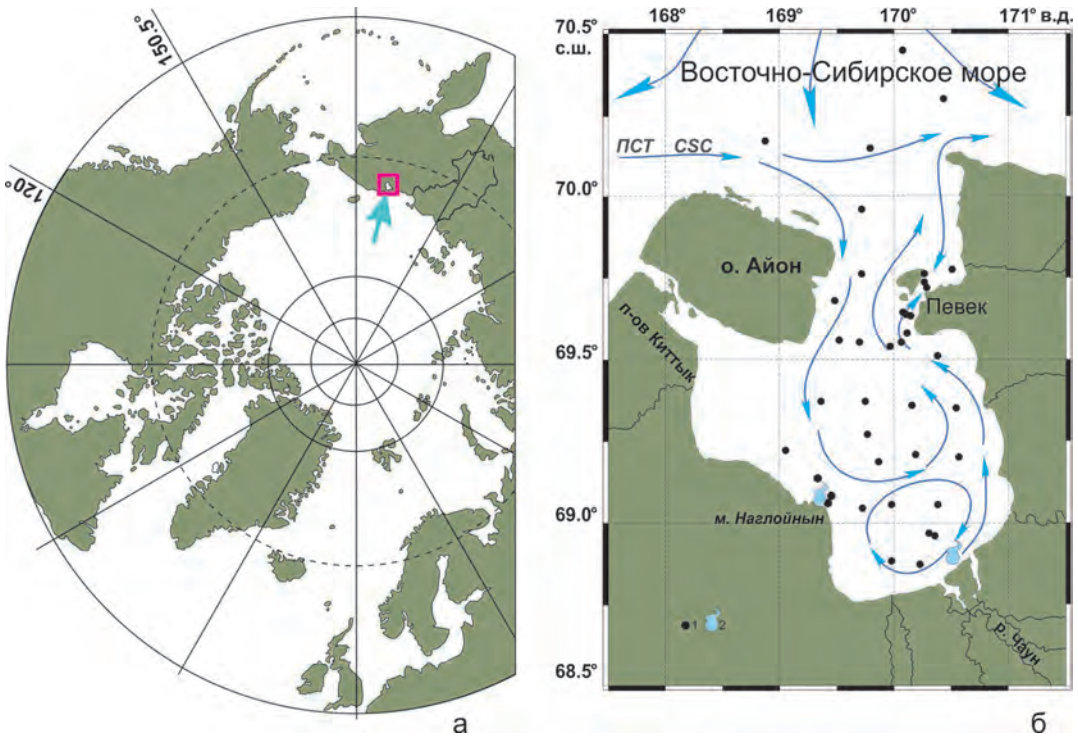

Рис. 1. Карта Северного Ледовитого океана (а) и расположение ЧГ (б) с течениями (Charkin et al., 2024). 1 – станция отбора проб, 2 – выходы подводных гидротермальных вод (ПГВ), 3 –течения. ПСТ – Прибрежное Сибирское течение.

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*, *Actinoptychus senarius*, планктонный *Thalassiosira hyperborea*, бентосные *Diploneis subcincta*, *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 кайнозое морских вида. Численно доминируют солоноватоводные и эвригалинные виды (73,4%), субдоминируют – морские (19,5%), пресноводные встречены единичными экземплярами, несмотря на их видовое разнообразие, их доля в диатомовой флоре незначительна (4,2%).

По биогеографическому распространение 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 встречены 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., Меншуткина 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 seafoor 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 Chayun 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 Chayun 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 seafoor 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). Р. 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; EDN – FRQESS

УДК 561.26 (265.54) *Биостратиграфия и палеореконструкции*

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).

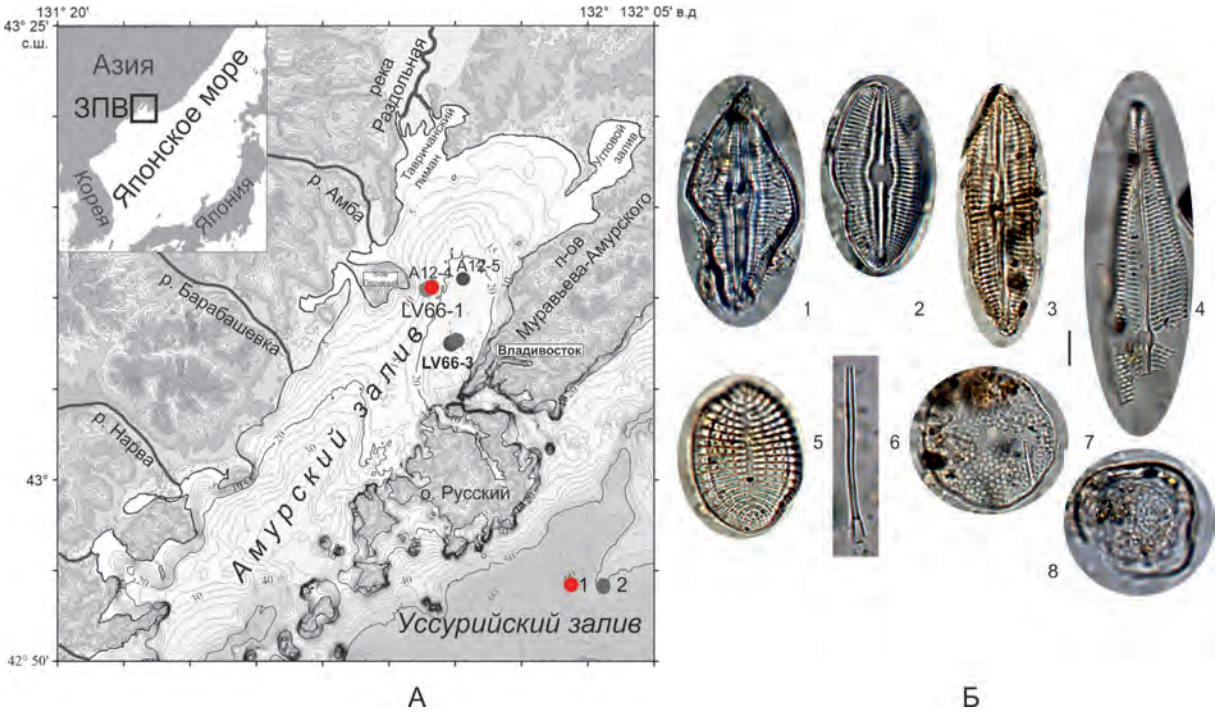

Рис. 1. А – Местоположение колонки LV66-1 (1) в Амурском заливе и некоторые аберрантные формы диатомей, обнаруженные в этой колонке. 1 – станция с аберрантными формами диатомей, 2 – ранее изученные станции (Tsoy et al., 2015; Прушковская, Цой, 2024). ЗПВ – залив Петра Великого. Б – Аберрантные формы 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. A – 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 litoralis*.

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 керна 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. subcincta*, *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 аберрантные 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 аберрантных 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 криптотефры 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. Akulichev V.A., Astakhov A.S., Aksentov K.I., Mar'yash A.A., Alatortsev 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 Amursky 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. V43. № 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). Р. 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 Amursky 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; EDN – FUXGYF

УДК 561.26+551.793.9:551.794(265.672) Биостратиграфия и палеореконструкции

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 соленость 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 диатомеи. 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 солености 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

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, Palaoeclimatology, 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

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, Palaoeclimatology, 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). Р. 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; EDN – GMGGXZ

УДК 582.26:551.34+551.312.4 *Биостратиграфия и палеореконструкции*

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 монимолимнион 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 ×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 соответствие 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 exiguiformis* 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 exiguiformis*, *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 мезогалобные 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 обоих вышележащих зон.

В осадках оз. Трехцветного состав доминантных и субдоминантных видов диатомей практически идентичен во всех пробах. В массе встречаются виды семейства Fragilariaceae: *Stauroforma exiguiformis*, *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 озер, что определяет и бóльшую 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, Snoeijs, 2003) уже на начальных стадиях изоляции водоема. Состав группы различен для водоемов, находящихся на различной стадии изоляции и меняется по мере опреснении 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., 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

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). Р. 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; EDN – HSSDAM

УДК 561.26:551.89 (571.63) *Биостратиграфия и палеореконструкции*

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 регрессий 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 inaequivalvis* 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 (PCA) (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 диатомеи, доминант – пресноводная *A. praegranulata*. Изменения участия представителей морской сублиторально бентосной и морской неретической 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 *Actinoptychus senarius*, *Porosira glacialis*, активная вегетация, которой отмечается для ранневесеннего периода (Ольштынская, 2014). Изменения количества представителей морской неретической 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 крупностворчатых 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 одни 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. *Ольштынская А.П.* Диатомеи 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. Птичье (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 Terpsinoe 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 anal-yses 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). Р. 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; EDN – HTLJDM