

doi: 10.24412/2687-1092-2024-11-237-242



ДИАТОМОВЫЕ ВОДОРОСЛИ В ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ БЕРИНГОВА ПРОЛИВА

✉ Мустафин М.А.^{1,2}, Пушина З.В.³, Носевич Е.С.²

¹РГПУ им. Герцена, Санкт-Петербург, Россия

²ФГБУ «Институт Карпинского», Санкт-Петербург, Россия

³ФГБУ «ВНИИОкеангеология», Санкт-Петербург, Россия

✉ mustaphinmark@gmail.com

Диаомовые водоросли были изучены в донных отложениях колонки 21Бер-15 (65.41° с. ш. 170.81° з. д.) из района Берингова пролива (Берингово море). Исследование позволило реконструировать палеогеографические условия формирования донных осадков в позднечетвертичное время. Было установлено, что при формировании донных отложений происходила смена палеоэкологических условий: мелководных преимущественно пресноводных условиях с незначительным влиянием морских вод, на сублиторальные морские с небольшим опреснением и далее на морские неритические прибрежной зоны, что свидетельствует о трансгрессии. Проведена корреляция между диаомовыми горизонтами, установленными А. П. Жузе (1962) и определенными нами экзонами в колонке донных отложений 21Бер-15. В результате этой корреляции предполагается, что формирование отложений происходило в позднечетвертичное время, вероятно, в голоцене.

Ключевые слова: *Берингово море, диаомовый анализ, донные отложения, палеогеографические реконструкции, Берингов пролив*

Введение. Диаомовые водоросли являются одной из руководящих групп живых организмов при микропалеонтологических исследованиях поверхностных и донных отложений северной части Тихого океана [Жузе, 1962]. Обширная часть шельфовой зоны (глубина до 100 м) [Слободин, 2016] Берингова моря во времена оледенений четвертичного периода представляла собой сухопутный перешеек между Евразией и Северной Америкой. Данная территория неоднократно испытывала на себе влияние морских трансгрессий и регрессий. Диаомовый анализ позволяет провести детальные палеоэкологические реконструкции и биостратиграфические корреляции донных осадков.

Материалы и методы исследования. Керны донных отложений Берингова были получены в 2021 году в ходе полевых геолого-геофизических работ полярной партией ФГБУ «ВСЕГЕИ» на НИС «Иван Киреев». Колонка донных отложений 21Бер-15 (рис. 1) из Берингова моря (65.41° с. ш. 170.81° з. д.) была отобрана с помощью вибротрубки на глубине 36 м тремя секциями по 100 см. Отложения представлены пелитовыми алевролитами, в нижней части керна присутствуют линзовидные прослои, обогащенные песчаным материалом. Длина анализируемой колонки составляет 285 см. Пробоотбор для диаомового анализа проводился через каждые 10 см. Пробоподготовка выполнялась по стандартной методике с использованием перекиси водорода для дезинтеграции осадка и дальнейшей декантации [Диаомовые водоросли СССР, 1974]. Для повышения концентрации створок в препарате выполнено центрифугирование влажного осадка с тяжелой жидкостью ГПС-В разведённой дистиллированной водой до плотности 2,35. Постоянные препараты выполнены со средой «Эльшвева». Таксономическое определение проводилось на световом микроскопе «МИКМЕД-3» при увеличении 1500 раз. Таксономическое определение выполнено до вида, реже до рода. Всего установлен 171 вид диаомовых водорослей, один вид силикофлагеллят - *Distephanus speculum* (Ehrenberg) Haesckel и цисты золотистых водорослей. Для целей палеогеографических реконструкций виды диаомей были выделены в несколько экологических групп по следующий параметрам:

- соленость воды: морские, солоноватоводно-морские, солоноватоводные, пресноводно-солоноватоводные, пресноводные;
- приуроченность к местообитанию: бентос, планктон (сублиторальные, неритические открытой воды, неритические ледово-морские, океанические);
- географическая приуроченность: арктические, аркто-бореальные, бореальные, космополиты.



Рис. 1. Место пробоотбора колонки донных отложений 21Бер-15

Морские виды диатомей представлены 50 таксонами, солоноватоводно-морские – 23, солоноватоводные – 5, пресноводно-солоноватоводные – 9, пресноводные – 82. Бентос представлен 123 таксонами, планктон представлен: сублиторальные – 7, неритические открытой воды – 19, неритические ледово-морские – 6, океанические – 6.

Результаты и обсуждение исследования. По результатам диатомового анализа выделены 3 экозоны; экозона-III и экозона-II в свою очередь делятся на подзоны: экозона-IIIб, экозона-IIIа и экозона-IIб, экозона-IIа соответственно (рис. 2). Далее описание экозон по разрезу колонки:

Экозона-Шь (285-235 см) выделена по значительной доле пресноводных (до 78,7%) и бентических (до 92,7%) таксонов в составе диатомовых комплексов.

Комплексы диатомей характеризуется преобладанием пресноводного арктического вида ацидофила *Eunotia praerupta* Ehrenberg, на долю которого приходится до 23,2% от всего диатомового комплекса. Ему сопутствуют доминанты: морской неритический арктический таксон *Bacterosira bathyomphala* (Cleve) Syvertsen & Hasle (до 12,3%), а также морской неритический аркто-бореальный *Thalassiosira nordenskiöldii* Cleve (до 10,6%). В комплексе выделяются субдоминанты, представленные пресноводными бентическими

видами: *Pinnularia borealis* Ehrenberg (до 9,4%), *Hantzschia amphioxys* (Ehrenberg) Grunow (до 7%), *Sellaphora pseudopupula* (Krasske) Lange-Bertalot (до 5%). Среди морских неритических субдоминант встречены виды рода *Chaetoceros* sp. (до 5%) и *Thalassiosira gravida* Cleve (до 5%). Данная экозона характеризуется преобладанием пресноводных видов до 70%, на долю морских приходится до 42%. Широко представлены бентические таксоны (до 74,3%), также выделены неритические виды открытой воды (до 42,7%).

Экозона-IIIa (235-193 см) характеризуется преобладанием *Eunotia praerupta* (до 31,7%). Ему сопутствуют субдоминанты: морской неритический арктический вид *Bacterosira bathyomphala* (до 6%); морские неритические аркто-бореальные *Thalassiosira gravida* (до 5%) и *Thalassiosira nordenskioldii* (до 6%); пресноводный бентический *Pinnularia viridis* (Nitzsch) Ehrenberg (до 5,7%); пресноводные бентические *Cymboplectura tynni* (Krammer) Krammer (до 7%), *Hantzschia amphioxys* (до 5,7%), *Placoneis amphibola* (Cleve) Cox (до 7%). Данная экозона характеризуется доминированием пресноводных таксонов (до 78,7%), на долю морских диатомей приходится до 25,7%, также отмечены пресноводно-солонатоводные (7,3%) и солонатоводно-морские (до 8%) таксоны.

Экозона-IIIb (193-145 см) выделена по увеличению в диатомовых комплексах доли морских и неритических видов.

Среди доминант выделяется *Eunotia praerupta* (до 16 %), *Bacterosira bathyomphala* (до 11%), морской планктонный сублиторальный вид *Paralia sulcata* (Ehrenberg) Cleve (до 11,3%), *Thalassiosira nordenskioldii* (до 11%), солонатоводно-морской сублиторальный аркто-бореальный таксон *Thalassiosira hyperborea* (Grunow) Hasle (до 10,3%). Им сопутствуют субдоминанты: морской планктонный сублиторальный таксон *Actinopteryx senarius* (Ehrenberg) Ehrenberg (до 5,3%), покоящиеся споры *Chaetoceros* sp. (до 6,3%), *Thalassiosira gravida* (до 8,7%), морской бентический таксон *Trachyneis aspera* (Ehrenberg) Cleve (до 6%), солонатоводно-морской бентический вид *Navicula peregrina* (Ehrenberg) Kutzin (до 6,7%). Данная экозона характеризуется доминированием морских таксонов (до 60,3%), широко представлены пресноводные диатомеи (до 35,7%), на долю солонатоводно-морских в среднем приходится до 17,3%. Бентические таксоны насчитывают до 49%, неритические открытой воды до 43,7%, на долю сублиторальных видов приходится в среднем 28,3%.

Экозона-IIIa (145-65 см). Среди доминант выделяются: *Paralia sulcata* (до 17,3%), *Thalassiosira gravida* (до 16,3%), *Eunotia praerupta* (до 15,67%), *Thalassiosira nordenskioldii* (до 13,7%), *Bacterosira bathyomphala* (до 11,3%), *Chaetoceros* sp. (до 11,3%). В диатомовых комплексах выделены субдоминанты: *Actinopteryx senarius* (до 6 %), морской неритический открытой воды *Chaetoceros diadema* (Ehrenberg) Gran (до 6%), морской океанический бореальный вид *Thalassiosira eccentrica* (Ehrenberg) Cleve (до 6%). Данная экозона характеризуется доминированием морских таксонов (до 71,7%), им сопутствуют пресноводные (до 32%), также отмечены солонатоводно-морские таксоны (до 10,7%).

Экозона-I (65-0 см). Выделена по самой высокой доле в колонке морских и неритических видов.

Среди доминант установлены: *Paralia sulcata* (до 18,7%), *Chaetoceros* sp. (до 12,7%), *Chaetoceros diadema* (до 11,3%), *Thalassiosira nordenskioldii* (до 11,0%). Субдоминанты представлены: *Bacterosira bathyomphala* (до 8, 3%), *Melosira arctica* Dickie (до 9,3%), морской планктонный сублиторальный аркто-бореальный таксон *Odontella aurita* (Lyngbye) Agardh (до 6%), *Thalassiosira gravida* (до 9,7%). Данная экозона характеризуется доминированием морских видов, также в диатомовом комплексе представлены пресноводные (в среднем 11,3%) и солонатоводно-морские (в среднем 13,7%) таксоны. В составе диатомовых комплексов наиболее представлены неритические таксоны (до 56%), на долю бентических и планктонных сублиторальных форм приходится в среднем 28,7% и 26,3% соответственно.

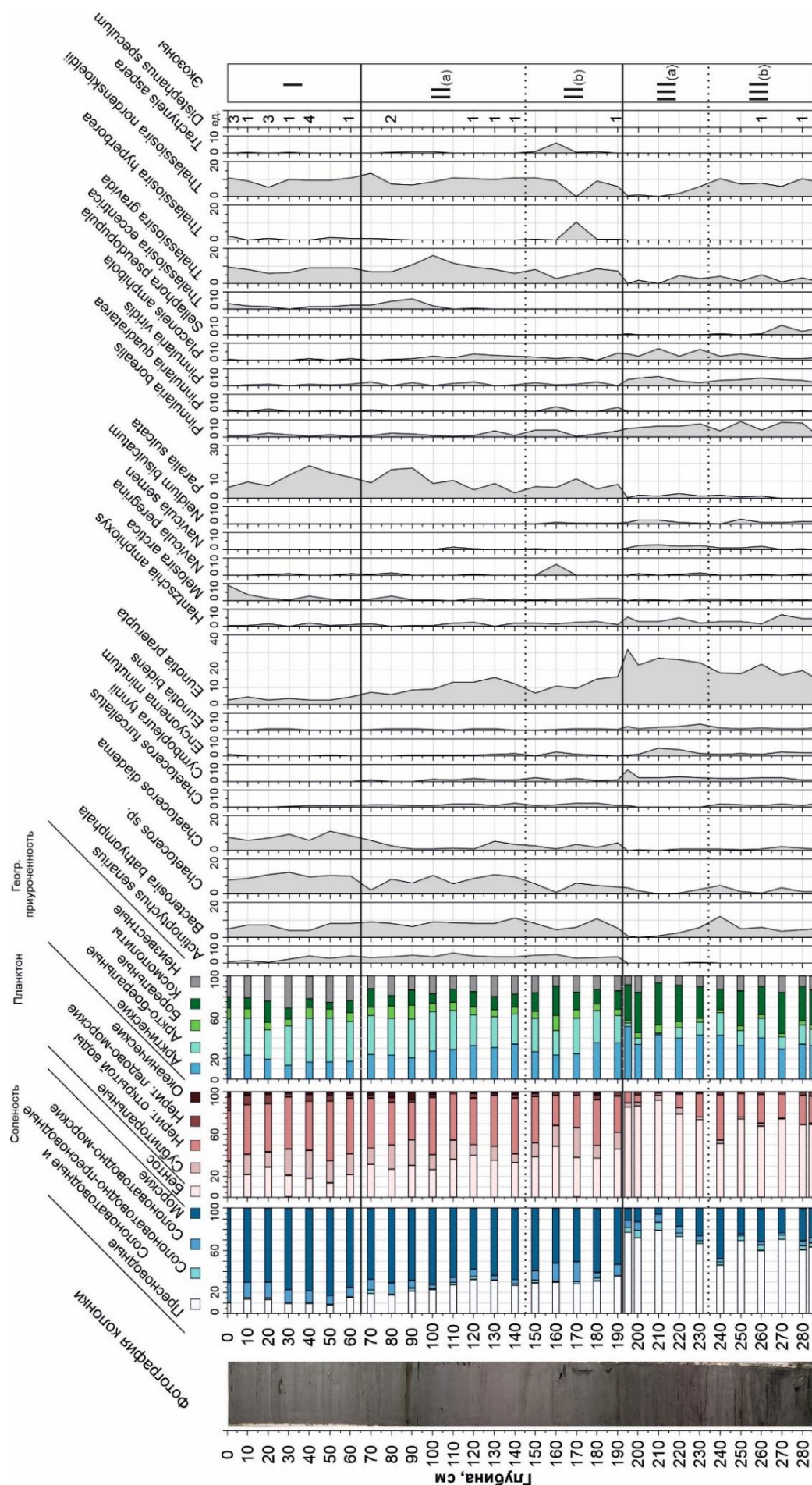


Рис. 2 Диатомовая диаграмма колонки донных отложений 21Бер-15.

По результатам диатомового анализа была предложена следующая интерпретация палеоэкологических условий формирования отложений.

Экозона-IIIb (285-235 см). Осадконакопление происходило в мелководных, холодноводных, смешанных по солености условиях с большим влиянием пресных вод.

Экозона-IIIa (235-193 см). В данной экозоне в составе диатомовых комплексов достигается наибольшая во всей колонке доля пресноводных и бентических видов диатомей. Осадконакопление в данном интервале происходило в мелководных, более теплых, чем в Экозоне-IIIb, преимущественно пресноводных условиях, с незначительным влиянием морских вод. Высокая доля пресноводных диатомей может быть связана с увеличением пресноводного стока в бассейн в связи с потеплением климата.

Экозона-IIb (193-145 см) характеризует переход от сильно опресненных условий к более морским (т. е. наблюдается постепенное увеличение солености воды), а также постепенное увеличение уровня моря. Отложения экозоны-IIb формировались в прибрежной части неритической зоны.

Экозона-IIa (145-65 см). Состав диатомовых комплексов отражает условия осадконакопления прибрежной части неритической зоны, но в более глубоководных и морских, чем в Экозоне-IIb условиях.

Экозона-I (65-0 см). Осадконакопление в описываемом интервале отложений происходило в холодноводных морских неритических условиях с незначительным влиянием пресных вод. Данная экозона отражает самые глубоководные и морские условия во всей колонке.

В работе [Жузе, 1962] приведены результаты диатомового анализа донных отложений Берингова моря. В кернах донных осадков северной материковой отмели из скв. 1531 и 1537 (мощность колонок: 220 и 80 см, глубина пробоотбора 86 и 148 м соответственно) в районе м. Наварина были установлены два горизонта с различными диатомовыми комплексами: горизонт-II сублиторальный с большим числом пресноводных видов и горизонт-I, характеризующий морские неритические обстановки. Эти горизонты соответствуют выделенным нами экозонам I и II колонки 21Бер-15.

В работе [Степанова и др., 2013] представлена реконструкция палеоэкологических и фациальных условий осадконакопления по результатам диатомового анализа донных отложений побережья Корякского нагорья. В работе приведены результаты диатомового анализа 7 колонок из трех бухт - Глубокой, Наталии и Анастасии. Было установлено, что формирование осадков происходило в неритической зоне морского холодноводного бассейна в голоцене. Выделенные экозоны I и II имеют схожие тренды изменения экологических характеристик диатомовых комплексов с экозоной-I колонки 21Бер-15.

Выводы. Результаты диатомового анализа отложений колонки 21Бер-15 позволили сделать следующие выводы:

1. Была установлена смена палеоэкологических условий: мелководных смешанных по солености воды условий, на сублиторальные морские с небольшим опреснением и далее на морские неритические прибрежной части, не подверженные сильному опреснению или вторжению океанических вод.
2. Динамика смены диатомовых комплексов колонки 21Бер-15 в целом отражает условия морской трансгрессии.
3. Самые мелководные и опресненные условия установлены в экозоне-IIIb (235-193 см), самые глубоководные морские в экозоне-I (65-0 см).
4. Проведена корреляция между диатомовыми горизонтами, установленными А. П. Жузе [1962] и определенными нами экозонами в колонке донных отложений 21Бер-15.
5. Формирование отложений колонки происходило, вероятно, в голоцене [Жузе, 1962, Степанова и др, 2013].

Финансирование. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-77-10058.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Диатомовые водоросли СССР (ископаемые и современные). Л: Наука. Ленингр. отделение 1974. Т. 1. 403 с. 554.

Жузе А.П. Стратиграфические и палеогеографические исследования в северо-западной части Тихого океана. М.: Изд-во АН СССР, 1962. 258 с.

Слободин С.Б. К вопросу о топониме «Берингия» и роли Петра Петровича Сушкина в распространении этого термина // Вестник ДВО РАН. 2016. № 1. С. 90-98.

Степанова Г.В., Пушина З.В., Дундо О.П. Условия осадконакопления в голоцене Берингова моря: (по результатам диатомового анализа) // Труды НИИГА - ВНИИОкеангеология. 2013. Т.226. С. 192-200.

Цой И.Б., Обрезкова М.С. Атлас диатомовых водорослей и силикофлагеллат голоценовых осадков морей Восточной Арктики России. Владивосток: ТОИ ДВО РАН, 2017. 146 с.

DIATOMS IN THE BOTTOM SEDIMENTS OF THE BERING STRAIT

Mustafin M.A.^{1,2}, Pushina Z.V.³, Nosevich E. S.²

¹Herzen State Pedagogical University, St. Petersburg, Russia

²Karpinsky Research Geological Institute, St. Petersburg, Russia

³VNIIOkeangeologia, St. Petersburg, Russia

Diatoms were studied in the bottom sediments of core 21Ber-15 (65.41° N, 170.81° E) from the Bering Strait area (Bering Sea). The study made it possible to reconstruct the paleogeographic conditions of the formation of bottom sediments in the Late Quaternary. It was found that during the formation of bottom sediments, paleoecological conditions changed: shallow, mainly freshwater conditions with little influence of marine waters, to sublittoral marine with little desalination and further to marine neritic of the coastal zone, which indicates transgression. A correlation was carried out between the diatom horizons established by A. P. Jousé (1962) and determined by us diatom zones in the core of bottom sediments 21Ber-15. As a result of this correlation, it is assumed that the formation of sediments probably occurred in the Late Quaternary, probably in the Holocene.

Keywords: *Bering Sea, diatom analysis, bottom sediments, paleogeographic reconstructions, Bering Strait*

REFERENCES:

Diatomovye vodorosli SSSR: iskopaemye i sovremennyye. T. 1 [The diatoms of the USSR. Fossil and recent. Vol. 1]. Leningrad. 1974. 403 p. (in Russ.).

Jousé A.P. Stratigraphic and paleogeographic studies in the Northwestern Pacific Ocean. Moscow: Publishing House of the USSR Academy of Sciences, 1962. 258 p. (in Russ.).

Slobodin S. B. On the issue of the toponym "Beringia" and the role of Pyotr Petrovich Sushkin in the spread of this term // Bulletin of the FEB RAS. 2016. No. 1. P. 90-98. (in Russ.).

Stepanova G.V., Pushina Z.V., Dundo O.P. Conditions of sedimentation in the Holocene of the Bering Sea: (based on the results of diatom analysis) // Proceedings of NIIGA - VNIIOkeangeologiya. 2013. Vol. 226. P. 192-200. (in Russ.).

Tsoi I.B., Obrezkova M.S. Atlas of diatoms and silicoflagellate of Holocene sediments of the seas of the Eastern Arctic of Russia. Vladivostok: TOI FEB RAS, 2017. 146 p. (in Russ.).