

УДК 551.8.07; 561.261

Е.А. Агафонова¹, Е.И. Полякова²

ПАЛЕОГЕОГРАФИЧЕСКИЕ СОБЫТИЯ В ДВИНСКОМ ЗАЛИВЕ БЕЛОГО МОРЯ В ПОСЛЕЛЕДНИКОВОЕ ВРЕМЯ

Выполненные авторами палеорекострукции основаны на детальных исследованиях диатомовых комплексов в двух колонках донных осадков из Двинского залива-эстуария, в вершину которого поступают воды крупнейшей реки Беломорского бассейна – Северной Двины. Стратиграфическое расчленение отложений основано на данных AMS 14C датировок. Возраст осадков не превышает 12 тыс. кал. л. В отложениях колонок были идентифицированы 263 вида диатомей. В осадках пребореала и бореала зафиксированы минимальные в колонках концентрации диатомей (до 40 тыс. створок на г сухого осадка). При этом в отложениях пребореального времени из центральной части залива присутствуют интервалы, где диатомеи вовсе не были обнаружены. Единично встречаются створки относительно тепловодных видов, характерных для атлантических вод (в основном *Coscinodiscus radiatus*). Максимальные концентрации диатомей характерны для осадков второй половины атлантического времени, однако в центральной части залива пик концентраций приходится на несколько более позднее время. Основу диатомовых ассоциаций составляют морские и солоноватоводные морские, сублиторальные и неритические виды. В осадках суббореала и субатлантики концентрации диатомей в осадках изменяются незначительно, с конца суббореального времени повышается роль пресноводных видов в танатоценозах. Результаты диатомового анализа послеледниковых отложений Двинского залива свидетельствуют о смене природных обстановок от сильно распресненного морского залива до современных морских условий за последние 12 тыс. кал. л. По изменениям в диатомовых комплексах установлены: начало и максимум проникновения трансформированных атлантических вод в Двинский залив, кратковременное похолодание первой половины атлантического времени, голоценовый оптимум и климатические флуктуации субатлантического времени. Сравнение результатов микропалеонтологических исследований отложений центральной и внешней частей Двинского залива показали, что его орографические и гидрологические особенности влияли на проникновение атлантических вод и хронологию основных палеогеографических событий.

Ключевые слова: Беломорский регион, голоцен, диатомовый анализ, адвекция атлантических вод

Введение. Белое море – небольшой полузамкнутый арктический водоем, находящийся под влиянием арктических и атлантических водных масс, в период максимума последнего оледенения был полностью покрыт Скандинавским ледниковым щитом. В связи с этим изучение его донных осадков играет ключевую роль как в восстановлении этапов деградации ледникового щита, так и поступления атлантических вод в Северный Ледовитый океан. Современный гидрологический режим Белого моря находится под влиянием обильного речного стока и поступления трансформированных арктических и атлантических водных масс, что обуславливает формирование в нем своеобразных гидробиологических условий [Пантюлин, 2012а,б; Berger, Naumov, 2000]. Сток реки Северная Двина обеспечивает очень большой вклад поступления пресной воды (110 км³ в год) и речной взвеси (4,1 млн т/год) в Белое море, значительную часть которой составляет пресноводный фитопланктон (диатомеи, зеленые водоросли и др.) [Gordeev et al., 2006].

В контексте глобальных изменений климата, которые наиболее заметно проявляются в Арктике

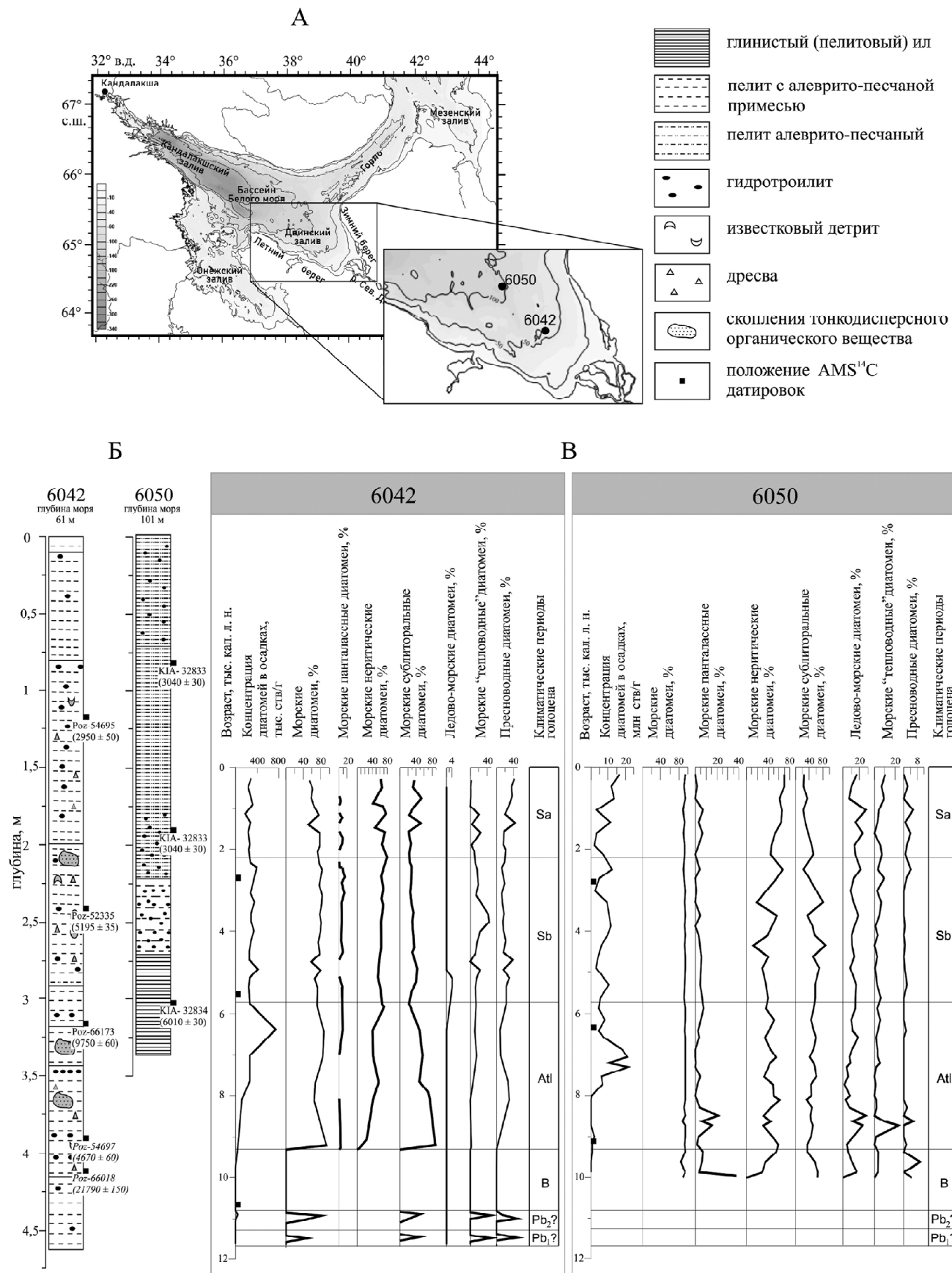
в повышении среднегодовых температур воздуха и сокращении сезонного ледового покрова в Северном Ледовитом океане летом, исследование изменений арктических морских экосистем и палеоокеанологические реконструкции как основа для прогноза развития региона имеют особое значение. Изучение микроорганизмов в донных отложениях арктических морей не теряет своей актуальности, так как они отражают эволюцию арктических экосистем и природно-климатические процессы в недавнем геологическом прошлом [Полякова, 2010; Полякова и др., 2017].

Анализ диатомовых комплексов донных отложений Белого моря является одним из ведущих микропалеонтологических методов палеоокеанологических реконструкций послеледниковья этого региона [Джиноридзе, 1971; Полякова, 2010; Полякова и др., 2016; Polyakova, Novichkova, 2018].

Целью исследований являлось установление особенностей динамики природной среды и основных палеогеографических событий в Двинском заливе Белого моря в голоцене по данным диатомового анализа.

¹ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, лаборатория новейших отложений и палеогеографии плейстоцена, аспирантка; e-mail: agafoноваelizabeth@mail.ru

² Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, лаборатория новейших отложений и палеогеографии плейстоцена, вед. науч. с., докт. геогр. н.; e-mail: ye.polyakova@mail.ru



Материалы и методы исследований. Колонки донных осадков 6042 и 6050, были получены в рейсе НИС «Профессор Штокман» сотрудниками Лаборатории физико-геологических исследований имени А.П. Лисицына ИО РАН в Двинском заливе в 2006 г. Колонка 6042 (длина 460 см) была отобрана с глубины 61 м в центральной части Двинского залива, колонка 6050 (длина 335 см) отобрана в глубоководной внешней части залива (глубина 101 м) (рис.). По раковинам двусторчатых моллюсков и брахиоподам в Лаборатории им. К. Лейбница (Киль, Германия) и в Лаборатории радиоуглеродных исследований (Познань, Польша) получены 8 радиоуглеродных датировок с использованием ускорительной масс-спектрометрии (AMS¹⁴C) [Полякова и др., 2014; Новичкова и др., 2017]. Радиоуглеродный возраст был преобразован в календарный с использованием программы CALIB 7.1.

В колонке 6042 установлены наиболее древние отложения последних этапов дегляциации и послеледниковья – около 12 тыс. кал. л., а в колонке 6050 – более молодые ~ до 10 тыс. кал. л.

Диатомовый анализ был проведен для 45 образцов из колонки 6042 с интервалами опробования 10 см, результаты были скоррелированы с ранее полученными данными по изучению комплексов диатомей в 34 образцах из колонки 6050 [Полякова и др., 2014]. Техническая обработка образцов осуществлялась по стандартной методике [Диатомовые водоросли СССР, 1974], а количественная оценка состава диатомовых ассоциаций – по методу Battarbee [1973]. Палеоэкологические реконструкции по микроводорослям выполнены на основе предшествующих методических разработок [Polyakova et al., 2003; Полякова и др., 2014; Polyakova, Novichkova, 2018; Новичкова, Полякова, 2013].

Результаты исследований и их обсуждение. Отложения, вскрытые в нижней части колонок 6042 и 6050, представлены глинистыми и пелитовыми илами и отражают, вероятно, переходную стадию от ледниково-морских к морским условиям осадко-накопления.

Распад Беломорской ледниковой лопасти происходил катастрофически быстро, 11,2–11,0 тыс. кал. л. н. край ледника, находившийся в районе Горла Белого моря, блокировал проникновение баренцевоморских вод в котловину [Demidov et al., 2006; Hughes et al., 2016]. Крайне низкие концентрации диатомовых водорослей, а порой и полное их отсутствие в пребореальных (11,7–10,8 тыс. кал. л. н.) отложениях центральной части Двинского залива (колонка 6042, см. рисунок В) могут указывать на низкую продуктивность существовавшего на последних этапах де-

гляциации слабосоленого приледникового водоема. Начало интенсивного врезания Северной Двины, связанное с превалирующим над трансгрессией моря гляциоизостатическим поднятием в конце пребореального времени [Зарецкая, 2017; Репкина и др., 2018], могло способствовать увеличению содержания взвешенных частиц в воде, из-за которого повышалась ее мутность, препятствующая проникновению света в фотический слой, что создавало неблагоприятные для развития диатомовой флоры условия. Расположенная во внешней части Двинского залива колонка 6050 (см. рис. А,В) соответствует лишь самому концу пребореального периода – началу бореального. Судя по находкам единичных створок морских диатомей, типичных для атлантических вод, помимо талых ледниковых и речных вод в Двинский залив поступали еще и трансформированные атлантические воды из Баренцева моря, что подтверждается установленными фактами об усилении влияния атлантических вод в Баренцевом море около 10,5–9,6 тыс. кал. л. н. [Ivanova et al., 2019].

В бореальное время (10,8–9,3 тыс. кал. л. н.) гидрологические условия в центральной части Двинского залива сильно не изменились, в то время как в его внешней части активное поступление баренцевоморских вод в Белое море способствовало усилению гидродинамической активности. Если во внешней части Двинского залива сформировалась устойчивая связь с Баренцевым морем и в целом гидробиологические условия стали благоприятными [Полякова и др., 2014], то в центральной части залива эти события пришлось на более позднее время. Это может быть объяснено наличием препятствия в виде гидрологического «полюса холода» и связанными с ним барическими образованиями. Также орография самого залива могла способствовать более медленному распространению трансформированных баренцевоморских вод [Невесский и др., 1977; Джиноридзе, 1971; Kaplin, Selivanov, 2004; Зарецкая, 2017; Репкина и др., 2018].

Атлантический период (9,3–5,8 тыс. кал. л. н.) в целом характеризуется смягчением климатических условий в Беломорском регионе. Кратковременное похолодание в первой половине атлантического периода (8,2 тыс. кал. л. н.), отмеченное в Баренцевом море и Норвежско-Гренландском бассейне [Birks, Коф, 2002], проявляется также и в Белом море увеличением доли ледово-морских диатомовых водорослей и уменьшением числа относительно тепловодных видов (см. рис. Б, В). Сокращение содержания тепловодных форм фиксируется в осадках всех районов моря [Джиноридзе, 1971; Говберг и др.,

Рис. Исследованные колонки донных осадков 6042 и 6050 из Двинского залива: А – положение колонок, Б – литология и AMS¹⁴C датировки: даты, которые не используются в окончательной возрастной модели, выделены курсивом, В – результаты микропалеонтологических исследований колонок

Fig. Examined cores 6042 and 6050 of bottom sediments from the Dvina Bay: А – location of the cores; Б – lithology and AMS ¹⁴C dating (dates in italic are not used for the final age model); В – results of micropaleontological analysis of the columns

1974]. Голоценовый оптимум в Баренцевом море приходится на период 7,8–6,9 тыс. кал. л. н. и связан с кульминацией раннеголоценового проникновения атлантических вод [Ivanova et al., 2019]. В Двинском заливе Белого моря наиболее благоприятные условия голоценового оптимума сложились позднее. Влияние атлантической трансгрессии отчетливо прослеживается в донных отложениях: максимальные концентрации диатомовых водорослей (см. рис. В) характерны для этого временного интервала и связаны с увеличением продуктивности вод. В центральной части залива относительно тепловодные атлантические виды появляются в небольших количествах. В колонке 6050 на глубине 2,55–2,60 м мы можем четко различить начало трансгрессивной стадии по резкой смене холодноводных доминантов на тепловодные (см. рис. В). Растущее число неритических и панталасных видов (*Coscinodiscus radiatus*, *Thalassionema nitzschioides*, *Chaetoceros* sp. и др.) указывает на установление устойчивой связи между Белым и Баренцевым морями.

Улучшение климатической обстановки, начиная с атлантического времени (9,3–5,8 тыс. кал. л. н.) и до середины суббореала (5,8–2,2 тыс. кал. л. н.), в центральной части залива отражается в постепенном увеличении числа и разнообразия тепловодных видов диатомовых водорослей. При этом увеличение числа ледово-морских диатомей и снижение доли относительно тепловодных видов атлантического происхождения фиксирует сокращение интенсивности поступления теплых атлантических вод во внешней части Двинского залива в конце атлантического времени – начале суббореала. Как было отмечено выше, некоторое запаздывание региональных событий связано с локальными орографическими и гидрологическими особенностями центральной части Двинского залива.

Начиная с субатлантического времени (2,2 тыс. кал. л. н. – н. в.), разнообразие ассоциаций диатомовых водорослей становится близким к современному. Увеличивающиеся концентрации пресноводных видов диатомей в верхней части колонки 6042 (см. рис. Б) свидетельствуют об увеличении роли речного стока. По изменению концентраций диатомей и соотношений экологических групп из климатических событий в колонках выделяются средневековое потепление (0,8–0,7 тыс. кал. л. н.), когда в Белом море была минимальная для этого периода продолжительность ледового покрова, и малый ледниковый период (0,6 тыс. кал. л. н.), для осадков которого свойственно сокращение относительно тепловодных видов диатомей.

Выводы:

– результаты диатомового анализа послеледниковых отложений Двинского залива отражают смену природных обстановок от сильно распресненного низкопродуктивного морского залива до современных морских условий;

– диатомовые комплексы отражают особенности палеогеографических событий послеледниковья Двинского залива Белого моря, в числе которых были отмечены: начало и максимум проникновения трансформированных атлантических вод, кратковременное похолодание первой половины атлантического времени, голоценовый оптимум и климатические флуктуации субатлантического времени;

– орографические и гидрологические особенности залива влияли на пути распространения вод, заполнявших Двинский залив, и временные рамки основных палеогеографических событий.

Благодарности. Работа выполнена в рамках государственного задания (тема АААА-А16-116032810080-2). Авторы благодарны академику А.П. Лисицыну за всестороннюю помощь и поддержку и коллегам из лаборатории физико-геологических исследований им. А.П. Лисицына, Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН за помощь в работе. Авторы признательны рецензентам за критические замечания и ценные советы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Говберг Л.И., Медведев В.С., Невесский Е.Н. К вопросу о биостратиграфическом расчленении толщ Белого моря и основных этапах развития бассейна в голоцене // Бюллетень Московского Общества Испытателей Природы. Отд. Геология. 1974. Т. 49. Вып. 2. С. 23–34.

Джиноридзе Р.Н. Диатомовые водоросли из донных осадков Белого моря в связи с его историей в голоцене: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Ботанический институт им. В.Л. Комарова Академии наук СССР. Л., 1971. 23 с.

Диатомовые водоросли СССР / Под ред. А.И. Прошкиной-Лавренко. Т. I. Л.: Наука, 1974. 403 с.

Зарецкая Н.Е. История развития дельты р. Северной Двины в голоцене // Система Белого моря / Под ред. А.П. Лисицына. Т. 4. М.: Научный мир, 2017. С. 276–300.

Невесский Е.Н., Медведев В.С., Калинин В.В. Белое море. Седиментогенез и история развития в голоцене. М.: Наука, 1977. 236 с.

Новичкова Е.А., Полякова Е.И. Ассоциации микроводорослей в донных осадках областей маргинальных фильтров заливов Белого моря // Доклады академии наук. 2013. Т. 449. № 4. С. 474–479. DOI: 10.7868/S0869565213100241.

Новичкова Е.А., Рейхард Л.Е., Лисицын А.П., Рыбалко А.Е., де Вернал А. Новые данные по истории развития Двинского залива Белого моря в голоцене // Доклады академии наук. 2017. Т. 474. № 3. С. 365–369.

Пантюлин А.Н. Ледовитость и лед Белого моря по данным наблюдений // Система Белого моря / Под ред. А.П. Лисицына. Т. 2. М.: Научный мир, 2012а. С. 120–131.

Пантюлин А.Н. Динамика, структура и водные массы // Система Белого моря / Под ред. А.П. Лисицына. Т. 2. М.: Научный мир, 2012б. С. 309–378.

Полякова Е.И. Диатомовый анализ // Методы палеогеографических реконструкций / Под ред. П.А. Каплина, Т.А. Яниной. М.: Географический факультет МГУ, 2010. С. 126–154.

Полякова Е.И., Новичкова Е.А., Ключевкина Т.С. Диатомеи и палиноморфы в поверхностных осадках арктических морей и их значение для палеоокеанологических исследований в высоких широтах // Система Белого моря / Под ред. А.П. Лисицына. Т. 4. М.: Научный мир, 2017. С. 799–859.

Полякова Е.И., Новичкова Е.А., Лисицын А.П., Баух Х.А., Рыбалко А.Е. Современные данные по биостратиграфии и геохронологии донных осадков Белого моря // Доклады академии наук. 2014. Т. 454. № 4. С. 467–472. DOI: 10.7868/S0869565214040203.

Полякова Е.И., Новичкова Е.А., Лисицын А.П., Шевченко В.П., Кравчишина М.Д. Диатомеи и водные палиноморфы в поверхностных осадках заливов Белого моря как индикаторы седиментационных процессов в маргинальных фильтрах рек // Океанология. 2016. № 2. С. 310–321. DOI: 10.7868/S0030157416020180.

Репкина Т.Ю., Зарецкая Н.Е., Шилова О.С. Двинский залив Белого моря в позднеледниковье – раннем голоцене // Геоморфология. 2018. № 2. С. 71–87. DOI: 10.7868/S0435428118020062.

Battarbee R.W. A new method for the estimation of absolute microfossil numbers, with reference especially to diatoms. *Limnology and Oceanology*, 1973, vol. 18, no. 4, p. 647–653.

Berger V.Ya., Naumov A.D. General features of the White Sea. Morphology, sediments, hydrology, oxygen conditions, nutrients and organic matter. *Berichte zur Polarforschung*, 2000, no. 359, p. 3–9.

Birks C.J.A., Koç, N. A high-resolution diatom record of late-Quaternary sea-surface temperatures and oceanographic conditions from the eastern Norwegian Sea. *Boreas*, 2002, vol. 31(4), p. 323–344.

Demidov I.N., Houmark-Nielsen M., Kjaer K.H., Larsen E. The last Scandinavian Ice Sheet in northwestern Russia: ice flow patterns and decay dynamics. *Boreas*, 2006, vol. 35, p. 425–433. DOI: 10.1080/03009480600781883.

Gordeev V.V. Fluvial sediment flux to the Arctic Ocean. *Geomorphology*, 2006, vol. 52, p. 593–608. DOI: 10.1016/j.geomorph.2005.09.008.

Hughes A.L.C., Gyllencreutz R., Lohne Ø.S., Mangerud J., Svendsen J.I. The last Eurasian ice sheets – a chronological database and time-slice reconstruction, DATED-1. *Boreas*, 2016, vol. 45, p. 1–45. DOI: 10.1111/bor.12142.

Ivanova E., Murdmaa I., de Vernal A., Risebrobakken B., Peyve A., Brice C., Seitkalieva E., Pisarev S. Postglacial paleoceanography and paleoenvironments in the northwestern Barents Sea. *Quaternary Research*, 2019, p. 1–20. DOI: 10.1017/qua.2019.18.

Kaplin P.A., Selivanov A.O. Lateglacial and Holocene sea level changes in semi-enclosed seas of North Eurasia: examples from the contrasting Black and White seas. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, Elsevier BV, 2004, p. 19–36.

Polyakova Ye.I., Dzinoridze R.N., Novichkova T.S., Golovnina Ye.A. Diatoms and palynomorphs in the White Sea sediments as indicators of ice and hydrological conditions. *Oceanology*, 2003, vol. 43, suppl. 1, p. S144–S158.

Polyakova Ye.I., Novichkova Ye. A. Diatoms and aquatic palynomorphs in the White Sea sediments as indicators of sedimentation processes and paleoceanography. *Sedimentation Processes in the White Sea: The White Sea Environment*, Lisitzin A.P., Demina L.L. (Eds.), vol. 2 of Hdb Environmental Chemistry, Springer International Publishing AG, part of Springer Nature New York, 2018, p. 10–48. DOI: 10.1007/978-3-030-05111-2.

Поступила в редакцию 30.12.2019

После доработки 12.02.2020

Принята к публикации 06.07.2020

E.A. Agafonova¹, Ye.I. Polyakova²

PALEOGEOGRAPHIC EVENTS IN THE DVINA BAY OF THE WHITE SEA DURING THE POSTGLACIAL TIME

Paleoreconstructions are based on detail studies of the diatom assemblage in two cores from the Dvina Bay, which is the estuary of the Northern Dvina River, the largest river of the White Sea. The stratigraphic division of core sediments is based on the AMS ¹⁴C dates. The age of the sediments is below 12 cal ka. 263 species of diatoms were identified in the cores. The minimum diatom concentrations in the cores (up to 40 thousand valves per 1 g of dry matter) were recorded for Preboreal and Boreal sediments. It is worth noting that some sections of Preboreal sediments from the central bay area have no diatoms at all. Valves of warm-water, typically Atlantic, species, mainly *Coscinodiscus radiatus*, are found sporadically. The maximum concentrations are characteristic of the sediments dating from the second half of the Atlantic; however, the peak of the concentrations dates to somewhat later time in the central bay area. Diatom assemblages mostly consist of marine, brackish-water, sublittoral and neritic species. Total diatom concentration in Subboreal and Subatlantic sediments varies insignificantly – since the end of the Subboreal freshwater species become more numerous in diatom assemblages.

Results of the diatom analysis of Postglacial sediments for the Dvina Bay indicate a change in environment conditions over the last 12 cal ka, from considerably freshened sea bay to the present-day marine environment. Changing species composition of diatom assemblages made it possible to determine the beginning and the maximum of transformed Atlantic waters' advection into the Dvina Bay, the short-term cooling of the first half of the Atlantic, the Holocene optimum and the climatic fluctuations of the

¹ Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Research Laboratory of Recent Sediments and Pleistocene Paleogeography, PhD student; e-mail: agafonovaelizaveta@mail.ru

² Lomonosov Moscow State University, Geographical Faculty, Research Laboratory of Recent Sediments and Pleistocene Paleogeography, Leading Scientific Researcher, D.Sc. in Geography; e-mail: ye.polyakova@mail.ru

Subatlantic. Comparison of the results of micropaleontological studies of sediments from the central and outer parts of the Dvina Bay showed that its relief and hydrological features influenced the inflow of Atlantic waters and the timeline of the main paleogeographic events.

Key words: the White Sea region, Holocene, diatom analysis, Atlantic Waters' advection

Acknowledgments. The work was done in the framework of the State assignment (AAAA-A16-116032810080-2). The authors are grateful to Academician A.P. Lisitzin, deceased, for his multifaceted assistance and support; and to our colleagues from the Laboratory of Physical Geology Research of the Shirshov Institute of Oceanology RAS for their cooperation. We are thankful to reviewers for their critical comments and useful suggestions.

REFERENCES

- Battarbee R.W. A new method for the estimation of absolute microfossil numbers, with reference especially to diatoms. *Limnology and Oceanology*, 1973, vol. 18, no. 4, p. 647–653.
- Berger V.Ya., Naumov A.D. General features of the White Sea. Morphology, sediments, hydrology, oxygen conditions, nutrients and organic matter. *Berichte zur Polarforschung*, 2000, no. 359, p. 3–9.
- Birks C.J.A., Koç N. A high-resolution diatom record of late-Quaternary sea-surface temperatures and oceanographic conditions from the eastern Norwegian Sea. *Boreas*, 2002, vol. 31(4), p. 323–344.
- Demidov I.N., Houmark-Nielsen M., Kjaer K.H., Larsen E. The last Scandinavian Ice Sheet in northwestern Russia: ice flow patterns and decay dynamics. *Boreas*, 2006, vol. 35, p. 425–433. DOI: 10.1080/03009480600781883.
- Diatomovye vodorosli SSSR (iskopaemye i sovremennye) [Diatoms of the USSR (Fossil and Modern)] (pod red. A.I. Proshkinoy-Lavrenko). T. I. Leningrad, Nauka Publ., 1974, 403 p. (In Russian).
- Dzhinoridze R.N. Diatomovye vodorosli iz donnyh osadkov Belogo morja v svyazi s ego istoriej v golocene [Diatoms from bottom sediments of the White Sea in connection with its history in the Holocene]. Avtoref. dis. j. kand. biol. nauk. Botanicheskij institut im. V.L. Komarova Akademii nauk SSSR. Leningrad, 1971, 23 p. (In Russian)
- Gordeev V.V. Fluvial sediment flux to the Arctic Ocean. *Geomorphology*, 2006, vol. 52, p. 593–608. DOI: 10.1016/j.geomorph.2005.09.008.
- Govberg L.I., Medvedev V.S., Nevesskij E.N. K voprosu o biostratigraficheskom raschlenenii tolshh Belogo morja i osnovnyh etapov razvitiya bassejna v golocene [On the issue of biostratigraphic partition of the White Sea and the main stages of the development of the basin in the Holocene]. *Bjulleten' Moskovskogo Obshhestva Ispytatelej Prirody. Otd. Geologija*, 1974, vol. 49, iss. 2, p. 23–34. (In Russian)
- Hughes A.L.C., Gyllencreutz R., Lohne Ø.S., Mangerud J., Svendsen J.I. The last Eurasian ice sheets – a chronological database and time-slice reconstruction, DATED-1. *Boreas*, 2016, vol. 45, p. 1–45. DOI: 10.1111/bor.12142.
- Ivanova E., Murdmaa I., de Vernal A., Risebrobakken B., Peyve A., Brice C., Seitkalieva E., Pisarev S. Postglacial paleoceanography and paleoenvironments in the northwestern Barents Sea. *Quaternary Research*, 2019, p. 1–20. DOI: 10.1017/qua.2019.18.
- Kaplin P.A., Selivanov A.O. Lateglacial and Holocene sea level changes in semi-enclosed seas of North Eurasia: examples from the contrasting Black and White seas. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. Elsevier BV, 2004, p. 19–36.
- Nevesskii E.N., Medvedev V.S., Kalinenko V.V. Beloe More. *Sedimentogenez i Istorija Razvitiya v Golocene* [The White Sea. Sedimentogenesis and History of Development in the Holocene]. Moscow, Nauka, 1977, 236 p. (In Russian)
- Novichkova Ye.A., Polyakova Ye.I. Associations of microalgae in bottom sediments of marginal filters areas (White Sea Bays) *Doklady Earth Sciences*. Moscow, 2013, no. 449(2), p. 413–417. DOI: 10.1134/S1028334X13040077.
- Novichkova Ye.A., Reikhard L.Ye., Lisitzin A.P., Rybalko A.Ye., de Vernal A. New data on the Holocene evolution of the Dvina Bay (White Sea) *Doklady Earth Sciences*. Moscow, 2017, vol. 474, part 1, p. 607–611. DOI: 10.1134/S1028334X17050233.
- Pantjulin A.N. [Ice cover and ice of the White Sea according to the observation data] *Sistema Belogo morja* [The White Sea system] (pod red. akademika RAN A.P. Lisitzina). T. 2. Moscow, Nauchnyj Mir Publ., 2012 a, p. 120–131. (In Russian)
- Pantjulin A.N. [Dynamics, structure and water masses] *Sistema Belogo morja* [The White Sea system] (pod red. akademika RAN A.P. Lisitzina). T. 2. Moscow, Nauchnyj Mir Publ., 2012 b, p. 309–378. (In Russian)
- Polyakova Ye.I. [Diatom analysis] *Metody paleogeograficheskikh rekonstrukcij* [Methods of paleogeographic reconstructions] (pod red. P.A. Kaplina, T.A. Janinoy). Moscow, Geograficheskij fakul'tet MGU, 2010, p. 126–154. (In Russian)
- Polyakova Ye.I., Novichkova Ye.A., Lisitzin A.P., Shevchenko, V.P., Kravchishina M.D. Diatoms and aquatic palynomorphs in surface sediments of the White Sea Bays as indicators of sedimentation in marginal filters of rivers. *Oceanology*, 2016, no. 56, p. 289–300. DOI: 10.1134/S000143701602017X.
- Polyakova Ye.I., Novichkova Ye.A., Lisitzin A.P., Bauch H.A., Rybalko A.Ye. Modern data on the biostratigraphy and geochronology of White Sea sediments. *Doklady Earth Sciences*, 2014, vol. 454, part 2, p. 169–174. DOI: 10.1134/S1028334X14020032.
- Polyakova Ye.I., Novichkova Ye.A., Klyuvitkina T.S. [Diatoms and palynomorphs in surface sediments of the Arctic seas and their significance for paleoceanological studies at high latitudes] *Sistema Belogo morja* [The White Sea system] (pod red. akademika RAN A.P. Lisitzina). T. 4. Moscow, Nauchnyj Mir, 2017, p. 799–859. (In Russian)
- Polyakova Ye.I., Dzinoridze R.N., Novichkova T.S., Golovina E.A. Diatoms and Palynomorphs in the White Sea sediments as indicators of Ice and Hydrological conditions. *Oceanology*, 2003, vol. 43, suppl. 1, p. S144–S158.
- Polyakova Ye.I., Novichkova Ye.A. Diatoms and aquatic palynomorphs in the White Sea sediments as indicators of sedimentation processes and paleoceanography. *Sedimentation Processes in the White Sea: The White Sea Environment*. Lisitzin A.P., Demina L.L. (eds.). Vol. 2 of Hdb Environmental Chemistry. Springer International Publishing AG, part of Springer Nature New York, 2018, p. 10–48. DOI: 10.1007/978-3-030-05111-2.
- Repkina T.Ju., Zaretskaya N.E., Shilova O.S. Dvinskij zaliv Belogo morja v pozdnelednikov'e – rannem golocene [Dvina bay of the White Sea in the Late Glacial and early Holocene] *Geomorfologiya*, 2018, no. 2, p. 71–87. (In Russian) DOI: 10.7868/S0435428118020062.
- Zaretskaya N.E. [History of the evolution of the Northern Dvina River delta during the Holocene] // *Sistema Belogo morja* [The White Sea system] (Ed) Acad. RAN A.P. Lisitzina. Moscow, Nauchnyj Mir Publ., 2017, p. 276–300. (In Russian).

Received 30.12.2019

Revised 12.02.2020

Accepted 06.07.2020