

Сычева С.А., Гунова В.С. Результаты изучения позднеплейстоценового лёссово-почвенного комплекса в погребенной балочной системе Средне-Русской возвышенности // Бюлл. комис. по изуч. четвертичного периода, М.: ГЕОС. - 2004, - № 65, - С. 86-101.

Шик С.М., Заррина Е.П., Писарева В.В. Стратиграфия и палеогеография неоплейстоцена центра и северо-запада Европейской России // Палинологические, климатостратиграфические и геоэкологические реконструкции. Санкт-Петербург: Недра. - 2006. - С. 85-121.

СТРАТИГРАФИЯ И ПАЛЕОГЕОГРАФИЯ РАЙОНА ПОДВОДНОГО ХРЕБТА МЕНДЕЛЕЕВА В НЕОПЛЕЙСТОЦЕНЕ

**Е.Е. Талденкова¹, С.Д. Николаев¹, А.Ю. Степанова², Е.А. Гусев³, П.В. Рекант⁴,
Н.О. Чистякова¹, Е.С. Новихина³, Е.С. Миролюбова³, М.Н. Пяткова³**

¹ МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия, etaldenkova@mail.ru

² А&М Университет Техаса, Колледж Стэйшн, США, a.yu.stepanova@gmail.com

³ ВНИИОкеангеология им. акад. И.С. Грамберга, Санкт-Петербург, Россия,
gus-evgeny@yandex.ru

⁴ ВСЕГЕИ им. А.П. Карпинского, Санкт-Петербург, Россия, rekant@mail.ru

STRATIGRAPHY AND PALAEOGEOGRAPHY OF THE SUBMARINE MENDELEEV RIDGE REGION IN THE NEOPLEISTOCENE

**E.E. Taldenkova¹, S.D. Nikolaev¹, A.Yu. Stepanova², E.A. Gusev³, P.V. Rekant⁴, N.O.
Chistyakova¹, E.S. Novikhina³, E.S. Mirolubova³, M.N. Pyatkova³**

¹ Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

² Texas A&M University, College Station, USA

³ VNIIOkeangeologiya, St.Petersburg, Russia

⁴ VSEGEI, St.Petersburg, Russia

Введение. Наблюдаемые в последние десятилетия глобальные климатические изменения в сторону потепления необычны тем, что происходят на фоне орбитально обусловленной природной тенденции к похолоданию. Арктический бассейн становится особенно уязвимым к потеплению и связанным с ним процессам в силу действия эффекта обратной связи, называемой «арктическим усилением» климатического сигнала (Miller et al., 2010). Ледовый покров Арктического бассейна является своего рода интегральным фактором, определяющим силу действия этих обратных связей, включая альбедо в летний период и теплоизоляцию зимой, что определяет объем морской первичной продукции, образование глубинных вод, экспорт льдов и содержащейся в них пресной воды в Сев. Атлантику (Polyak et al., 2010, 2013). Таким образом, представление о вариациях ледового покрова в прошлые геологические эпохи необходимо для понимания возможных путей его развития и связанных с этим изменений глобальной термогалинной циркуляции. В осадках Арктического бассейна и его континентальной окраины содержится запись об этих вариациях, прежде всего, через литологию осадков и состав ископаемых комплексов биоты.

Очевидно, что любые палеоклиматические реконструкции нуждаются в адекватном возрастном и/или стратиграфическом обосновании. За последние 15 лет получены новые данные по стратиграфическому подразделению осадочной толщи океана, что стало возможным благодаря первому глубоководному бурению на хребте Ломоносова в 2004 г. (Moran et al., 2006; Cronin et al., 2008) и комплексному исследованию колонок морских осадков длиной до 10 метров из различных его частей (Spielhagen et al., 2004; Backman et al., 2004; Polyak et al., 2004, 2009, 2013; Adler et al., 2009; Stein et al., 2010; Hanslik, 2011; Poirier et al., 2012; Cronin et al., 2013, 2014 и др.). Были использованы различные методы, позволившие установить наличие определенных стратиграфических «реперов» в Арктическом бассейне для четвертичного времени, которые в этом высокоширотном закрытом океане определялись вариациями размеров континентальных ледниковых щитов и морского ледового покрова.

Тем не менее, остается множество нерешенных проблем, таких как оценка возраста осадков и скоростей осадконакопления, проявлений ледниково-межледниковой периодичности в разных частях океана. Поэтому любое региональное исследование представляет несомненный интерес. В данной работе обсуждаются результаты детального изучения колонки KD12-03-10С с восточного склона хребта Менделеева, которая является одной из немногих колонок, охватывающих весь неоплейстоцен, тогда как большинство колонок не вскрывают осадки древнее МИС 7-8. Уникальность исследованной колонки состоит в том, что она содержит карбонатные микрофоссилии хорошей сохранности по всей длине осадочной толщи. Данная работа посвящена стратиграфическому подразделению осадочного разреза колонки KD12-03-10С и реконструкции некоторых аспектов палеогеографической эволюции района хребта Менделеева в неоплейстоцене.

Материалы и методы. Колонка KD12-03-10С, полученная с глубины 2200 м на восточном склоне хребта Менделеева (79°27,75' с.ш., 171°55,08' з.д.), общей мощностью 575 см, детально исследована комплексом литологических (весовое процентное содержание фракции >63 мкм, подсчет количества и определение состава терригенных зерен во фракции >500 мкм) и фаунистических (планктонные и бентосные фораминиферы, остракоды) методов.

Результаты и обсуждение.

Литология. Всего выделено 8 пиков содержания крупнозернистого терригенного материала >500 мкм который, наиболее вероятно, является материалом ледового и айсбергового разноса (ice- and iceberg-rafted debris, IRD). Как было показано по материалам ранее изученных колонок из различных частей Северного Ледовитого океана, повышенные концентрации IRD соответствуют эпохам оледенений, преимущественно периодам максимального развития ледниковых щитов, когда их края достигали края шельфа, и, в особенности, времени их таяния (ледниковым терминациям). В это время гляциоэвстатический подъем уровня моря способствовал активному откалыванию айсбергов. В исследованной колонке количество обломков пород достигало максимальных значений в 6000 обл./100 г осадка во время пиков 5 (145-180 см) и 7 (300-350 см).

По совокупности данных о количестве и составе IRD разрез колонки KD12-03-10С можно подразделить на 3 основных интервала: 1) нижний (450-575 см, возраст древнее МИС 16) характеризует сравнительно мягкие условия с сезонным ледовым покровом и отсутствием айсбергового материала; 2) средний интервал (350-450 см, примерный возраст МИС 13 - МИС 16) соответствует периоду активного поступления материала ледового разноса из Евразийских морей с Трансполярным дрейфом и началу развития айсбергового разноса из Амеразийского сектора Арктики, которое знаменуется появлением карбонатов, предположительно, начиная с МИС 16; 3) верхний интервал (0-350 см, примерный возраст МИС 1 - МИС 12), соответствует периоду развития мощных ледовых покровов на периферии Арктического бассейна и активному привносу материала айсбергового разноса в периоды роста и разрушения ледников, преимущественно из Амеразийского сектора Арктики с круговоротом Бофорта.

Планктонные фораминиферы. Особенностью колонки KD12-03-10С является повсеместное присутствие планктонных фораминифер. Количество их неравномерно, есть выраженные пики и минимумы содержания. Планктонные фораминиферы, равно как и прочие карбонатные микрофоссилии, немногочисленны в нижней части разреза глубже 320 см. Похожее распределение, а именно уменьшение их количества в более древних слоях, наблюдалось в колонках с хребта Нордвинд, вскрывших осадки древнего возраста, что свидетельствует об усилении растворения карбонатов в результате повышения продуктивности вод и уменьшения размеров ледового покрова, вероятно, за счет более продолжительного и сильного влияния тихоокеанских вод (Polyak et al., 2013).

Выделено 6 пиков содержания планктонных фораминифер. Из них наиболее выражены три - 0-25 см, 55-80 см и 240-310 см, когда численность раковин превышала 20 тысяч на 1 г осадка. Пики численности планктонных фораминифер, в особенности наиболее выраженные, совпадают с периодами пониженной численности IRD. Это позволяет предположить их

одновозрастность межледниковьям или, в случае более мелких пиков - к эпохам дегляциаций. Учитывая оценки возраста пиков содержания IRD, мы считаем, что максимумы численности планктонных фораминифер совпадают с крупными межледниковьями, соответствующими МИС 1-3, 5a-d и 11. Все 5 верхних пиков численности планктонных фораминифер, и в особенности, самый молодой на глубине 0-25 см, характеризуются более чем 90% преобладанием типичного арктического вида *Neogloboquadrina pachyderma* sin., свидетельствующим о существовании многолетнего ледового покрова в центральной Арктике, который характерен для этих районов и в текущее голоценовое межледниковье. Видовой состав самого древнего пика 240-310 см совершенно иной; *N. pachyderma* sin. чрезвычайно малочисленна в составе этого комплекса, а резко доминирует относительно тепловодный субполярный вид *Turborotalita egelida*. Доминирование этого вида, приуроченного к верхнему слою воды из-за наличия симбионтов, свидетельствует о сильно сокращенном сезонном ледовом покрове и росте продуктивности. Подобный слой с преобладанием *T. egelida* отмечен и в других колонках, вскрывших древние осадки (Hanslik, 2011; Polyak et al., 2013; Cronin et al., 2013, 2014). Эти колонки имеют достаточно хороший возрастной контроль, позволивший определить возраст слоя как МИС 11, что прекрасно согласуется и с нашими оценками возраста пиков крупнозернистого материала. Судя по видовому составу планктонных фораминифер, условия природной среды во время МИС 11 и времени до начала масштабных плейстоценовых оледенений (древнее МИС 16) были весьма близкими. Это подтверждает исключительность межледниковья МИС 11 в череде межледниковий плейстоцена как самого продолжительного по времени, теплого и характеризовавшегося самым высоким положением уровня моря (Miller et al., 2010).

Бентосные фораминиферы. Как и планктонные, бентосные фораминиферы присутствуют по всему разрезу, но крайне неравномерно; их количество на 2 порядка ниже, чем содержание планктонных фораминифер. Такое соотношение планктона и бентоса, характерное для многих колонок из амеразийской Арктики, свидетельствует о низкой продуктивности арктических вод в неоплейстоцене (Polyak et al., 2013). Более древние осадки, содержащие большое количество бентосных фораминифер и крайне малое планктонных, установлены пока в единственной колонке 93AR-P23 с хребта Нордвинд (Polyak et al., 2013). Исходя из этого, можно предположить, что колонка KD12-03-10C не вскрыла осадков древнее МИС 19-21. Выделены 6 пиков численности бентосных фораминифер, которые примерно совпадают с таковыми для планктона. Предложенные возрастные оценки подтверждаются распределением массовых (*Cibicides wuellerstorfi*, *Oridorsalis tener*, миллиолиды), а также стратиграфически значимых (*Pullenia bulloides*, *Epistominella exigua*, *Bolivina* sp., *Cyclammina* sp.) видов, временной диапазон распространения которых в осадках Арктического бассейна был примерно определен по ранее изученным колонкам (Polyak et al., 2004, 2013; Cronin et al., 2008; Adler et al., 2009; Hanslik, 2011).

Вариации численности и видового состава бентосных фораминифер позволяет сделать не только стратиграфические привязки, но и реконструировать ряд параметров палеосреды на основе 4-х комплексов. Комплекс 1 соответствует интервалу 0-80 см, предварительное определение возраста МИС 1-МИС 5d. Он характеризуется чередующимся доминированием *C. wuellerstorfi* и *O. tener*, двух глубоководных видов, характерных для стадиалов и интерстадиалов последних 5-ти МИС и активного взаимодействия вод Сев. Атлантики и Арктики. При этом *O. tener* характерен для более холодных эпох с мощным ледовым покровом и низкой продуктивностью, приводившей к созданию олиготрофной придонной обстановки. Напротив, *C. wuellerstorfi* соответствует более благоприятным межледниковым условиям с пониженным содержанием IRD. Комплекс 2 из интервала 80-240 см (МИС 5d-МИС 10) характеризуется падением численности фораминифер, но заметным увеличением видового разнообразия, появлением ряда стратиграфически значимых видов и сменой доминантов. Последнее подразумевает исчезновение *O. tener*, резкое увеличение доли различных видов рода *Quinqueloculina*, постепенное уменьшение роли *C. wuellerstorfi* вплоть до исчезновения в районе 130 см (МИС 6). Рост разнообразия во многом достигается за счет

роста количества раковин мелководных «шельфовых» видов, в первую очередь различных видов рода *Elphidium*, *Haynesina orbiculare* и *Cassidulina reniforme*. Скорее всего, растущее присутствие мелководных видов свидетельствует о значительной роли ледового разноса, т.е. о преобладании сезонного, менее сплоченного по сравнению с более молодыми эпохами, ледового покрова. Комплекс 3 из интервала 240–310 см соответствует эпохе высокой численности и максимального видового разнообразия бентосных фораминифер во время межледниковья МИС 11. Снова появляется и доминирует эпифаунный вид *C. wuellerstorfi* в сочетании с различными видами родов *Purgo* и *Elphidium*. По совокупности характеристик предполагается существенное влияние тихоокеанских вод. Комплекс 4 (310–575 см) характеризует древний период, предшествовавший МИС 11 с низкой численностью карбонатных микрофоссилий, свидетельствующий об усилении растворения карбонатов в результате повышения продуктивности вод и уменьшения размеров ледового покрова.

Остракоды. По сравнению с планктонными и бентосными фораминиферами, численность остракод крайне мала, но она так же резко падает ниже 320 см, подчиняясь описанной ранее закономерности растворения карбонатных остатков в период древнее МИС 11-12. В исследуемой колонке не встречен вымерший вид *Pteregocythereis vannieuwenhuisei* и ряд других древних видов, определенных в осадках уникальной по временному охвату колонки 93AR-P23 и соответствующих времени среднеплейстоценового перехода (1.2-0.7 млн.л.н.) и древнее (Polyak et al., 2013; Cronin et al., 2014). Следовательно, исследуемая колонка, скорее всего, не вскрыла осадки древнее МИС 20-21.

Наиболее массовыми в колонке KD12-03-10С являются разнообразные представители родов *Cytheropteron* и *Polyscope*. Виды рода *Cytheropteron* присутствуют по всему разрезу колонки, в его нижней части, ниже 300 см они являются единственными представителями остракод. Похожий комплекс, в котором преобладают виды родов *Cytheropteron* и *Krithe*, отмечен в осадках древнее МИС 9-11 и свидетельствует о наличии сезонно свободных ото льда пространств в центральной Арктике (Cronin et al., 2013). Разнообразные виды рода *Polyscope*, напротив, в основном, приурочены к верхним 2-м метрам разреза. Это согласуется с имеющимися данными о том, что появление *Polyscope* соответствует так называемому периоду смены фаун в середине эпохи Брюнес (МИС 9-11) и перехода к более суровым ледовым условиям (Cronin et al., 2014). Виды *Acetabulastoma arcticum*, *Pseudocythere caudata* и *Microcythere medistriata* появляются в осадках Арктического бассейна, начиная со стадии МИС 9, и свидетельствуют о развитии многолетнего покрова дрейфующих льдов (Cronin et al., 2010, 2014). Особенно хорошим индикатором таких условий считается *A. arcticum*, который является эктопаразитом рачков, живущих в порах многолетних льдов. Он почти не встречается во время максимумов оледенений, когда ледовый покров был слишком сплоченным, но обычно присутствует в количестве 3-5% во время межледниковий МИС 9-3. В колонке KD12-03-10С вид *A. arcticum* определен в осадках выше 110 см, т.е. примерно со стадии МИС 5/6.

Выводы:

- Согласно комплексу полученных данных, возраст основания колонки KD12-03-10С оценивается, как не превышающий МИС 21, т.е., примерно в 850 т.л.н. Соответственно, средняя скорость седиментации для периода аккумуляции осадков колонки составляла 0.7 см/тыс. лет, что близко ранее полученным оценкам для данного региона (Polyak et al., 2009).
- Выделено 8 пиков содержания крупнозернистого материала ледово-айсбергового разноса (IRD), соответствующих МИС 16, МИС 12, МИС 10, МИС 8, МИС 5/6, МИС 5d, МИС 3/4 и МИС 1/2.
- Увеличение вверх по разрезу содержания карбонатов в составе IRD с максимумом в позднем неоплейстоцене свидетельствует о прогрессирующем росте поставок материала Лаврентийским щитом из Канадской Арктики, что, в свою очередь, предполагает нарастающее похолодание и усиление круговорота Бофорта.
- Основные пики численности микрофоссилий приурочены к межледниковьям стадий МИС 11, МИС 5а-с, МИС 1-3.

- Растворение карбонатных остатков, присутствие агглютинированных форминифер в период между стадиями МИС 12 и МИС 21 указывает на преобладание сезонного ледового покрова.

- Важным стратиграфическим репером является интервал первого явно выраженного неоплейстоценового межледниковья, соответствующий МИС 11. Высокая численность всех фоссилий, резкое доминирование субполярного симбионт-содержащего планктонного вида *Turborotalita egelida*, обилие шельфовых видов бентосных фораминифер, крайне низкое количество IRD свидетельствуют о сокращенном ледовом покрове, высокой биопродуктивности и значительном влиянии тихоокеанских вод.

- После МИС 11 наблюдается направленное похолодание, приведшее к развитию многолетнего ледового покрова, усиление контрастности климатических колебаний и характеристик водных масс, сокращение связи с Тихим и усиление связи с Атлантическим океаном.

Исследования выполнены при поддержке РФФИ (проект 15-05-08497).

Список литературы:

Adler R.E., Polyak L., Ortiz J.D. et al. Sediment record from the western Arctic Ocean with an improved Late Quaternary age resolution: HOTRAX core HLY0503-8JPC, Mendeleev Ridge // *Glob. Planet. Change*, - 2009. vol. 68, - P. 18–29.

Backman J., Jakobsson M., Løvlie R. et al. Is the central Arctic Ocean a sediment starved basin? // *Quat. Sci. Rev.*, - 2004. vol. 23, - P. 1435-1454.

Cronin T.M., Smith S.A., Eynaud F. et al. Quaternary paleoceanography of the central Arctic based on Integrated Ocean Drilling Program Arctic Coring Expedition 302 foraminiferal assemblages // *Paleoceanography*, - 2008. vol. 23, - PAIS18.

Cronin T.M., Jemery L., Briggs Jr.W.M. et al. Quaternary sea-ice history in the Arctic Ocean based on a new Ostracode sea-ice proxy // *Quat. Sci. Rev.*, - 2010. vol. 29, - P. 3415-3429.

Cronin T.M., Polyak L., Reed D. et al. A 600-ka Arctic sea-ice record from Mendeleev Ridge based on ostracodes // *Quat. Sci. Rev.*, - 2013. Vol. 79, - P. 157-167.

Cronin T.M., DeNinno L.H., Polyak L. et al. Quaternary ostracod and foraminiferal biostratigraphy and paleoceanography in the western Arctic Ocean // *Mar. Micropal.*, - 2014. Vol. 111, - P. 118-133.

Hanslik D. Late Quaternary biostratigraphy and paleoceanography of the central Arctic Ocean. Stockholm University, - PhD Thesis, 2011. - 32 p.

Miller G.H., Brigham-Grette J., Alley R.B. et al. Temperature and precipitation history of the Arctic // *Quat. Sci. Rev.*, - 2010. Vol. 29, - P. 1679-1715.

Moran K., Backman J., Brinkhuis H. et al. The Cenozoic palaeoenvironment of the Arctic Ocean // *Nature*, - 2006. Vol. 44, - No. 1, - P. 601–605.

Poirier R.K., Cronin T.M., Briggs W.M.Jr., Lockwood R. Central Arctic paleoceanography for the last 50 kyr based on ostracode faunal assemblages // *Mar. Micropal.*, - 2012. Vol. 88-89, - P. 65-76.

Polyak L., Curry W.B., Darby D.A. et al. Contrasting glacial/interglacial regimes in the western Arctic Ocean as exemplified by a sedimentary record from the Mendeleev Ridge // *Palaeogeogr., Palaeoclimat., Palaeoecol.*, - 2004. Vol. 203 - P. 73–93.

Polyak L., Bischof J., Ortiz J. et al. Late Quaternary stratigraphy and sedimentation patterns in the western Arctic Ocean // *Glob. Planet. Change*, - 2009. Vol. 68, - P. 5-17.

Polyak L., Alley R., Andrews J.T. et al. History of sea ice in the Arctic // *Quat. Sci. Rev.*, - 2010. Vol. 29, - P. 1757–1778.

Polyak L., Best K.M., Crawford K.A. et al. Quaternary history of sea ice in the western Arctic based on foraminifera // *Quat. Sci. Rev.*, - 2013. V. 79 - P. 145-156.

Spielhagen R.F., Baumann K.-H., Erlenkeuser H. et al. Arctic Ocean deep-sea record of northern Eurasian ice sheet history // *Quat. Sci. Rev.*, - 2004. Vol. 23, - P. 1455–1483.

Stein R., Matthiessen J., Niessen F. et al. Towards a better (litho-) stratigraphy and reconstruction of Quaternary paleoenvironment in the Amerasian Basin (Arctic Ocean) // *Polarforschung*, - 2010. Vol. 79, - No. 2, - P. 97-121.