РАЗДЕЛ XXX. НАУКИ О ЗЕМЛЕ

Киреенко Л.А.

Основные этапы развития фауны бентосных фораминифер в желобе Воронина,
Карское море, в конце позднего плейстоцена и голоцене

Институт океанологии имени П.П. Ширинова
(Россия, Москва)

doi: 10.18411/lj-04-2020-160

idsp: ljjournal-04-2020-160

Аннотация

В статье изложены данные литологического и микропалеонтологического анализа колонки АМК-5240 из желоба Воронина, Карское море, полученной в 63-м рейсе научно-исследовательского судна «Академик Мстислав Келдыш». Изучена фауна фораминифер и литологические свойства 42 образцов донных осадков. Выделены основные предположительные этапы местной палеоокеанологической обстановки – потеплений и похолоданий от позднего дриаса до конца голоцена.

Ключевые слова: фораминиферы, Карское море, палеоокеанология, поздний плейстоцен, голоцен

Abstract

Paper presents new data of the lithological and micropaleontological analyses of the sediment core AMK-5240 from the Voronin trough, the Kara Sea, obtained during the 63rd cruise of the research vessel "Akademik Mstislav Keldysh". The benthic foraminiferas and lithological parameters of 42 sediment samples were studied. Main stages of the local paleoceanological conditions development – coolings and warmings from the Younger Dryas toward the Holocene end – were identified.

Keywords: foraminifera, Kara Sea, paleoceanology, Late Pleistocene, Holocene

Введение. Арктический бассейн является наименьшим по площади и глубине океаном Земли. В полярном регионе, в связи с его географическим положением, на поверхности водной толщи образуются постоянный ледяной покров, сезонные дрейфующие льды и айсберги, что сильно влияет на биопродуктивность и экосистемы. Современные климатические флуктуации в Арктике происходят намного интенсивней, чем в остальных бассейнах Мирового океана, и считаются индикатором глобальных изменений климата (Бышев и др., 2005). Эти природные колебания играют значительную роль в процессах осадконакопления, гидродинамики, распределения флоры и фауны. Их изучение используется для понимания трендов развития района в геологическом прошлом, чтобы разрабатывать возможные сценарии природных изменений в будущем.

Данная работа направлена на изучение донных осадков Карского моря в желобе Воронина. На основе исследования литологического состава, раковин фораминифер и макрофауны в статье рассмотрены основные этапы развития Карского моря в позднем плейстоцене и голоцене и изменения природных условий в Арктике.

Материалы и методы. Колонка АМК-5240 (79°15.4' с.ш., 87°37.4' в.д., глубина моря 250 м) получена с помощью ударной прямоточной грунтовой трубки в 63-м рейсе научно-исследовательского судна «Академик Мстислав Келдыш», который состоялся в сентябре-октябре 2015 г (рис. 1). Мощность колонки составляет 4.16 м. В рейсе был выполнен первичный литологический анализ поднятых со дна донных отложений.

Исследуемый материал, который представлял собой 42 образца натурального влажного осадка, сначала был отобран толщиной 1 см с интервалом 10 см и высушен в

лиофильной сушилке. После пробы сухого непромытого осадка взвешивали, промывали в сите (размер ячейки 63 мкм) дистиллированной водой и высушивали.

Детальный гранулометрический анализ осадка не выполнялся, но определялся вес фракции >63 мкм, подготовленной для фораминиферового анализа. Методология изучения раковин фораминифер изложена в публикации «Введение в изучение фораминифер...» (1981). Раковины фораминифер были сфотографированы на стереоскопическом микроскопе «Nikon SMZ25».

Рис. 1. Карта восточной части Карского моря и расположение изучаемой колонки АМК-5240

При изучении распределения видов фораминифер применяли термины «комплекс» и «сообщество» — это число и разнообразие видов, которое входит в определённый интервал разреза.

Результаты и их обсуждение. По литологическому описанию, весь разрез колонки представлен пелитовым илом, и лишь в забое отмечена примесь крупного и среднего песка и гравия. Данные по весовой фракции >63 мкм подтверждают, что в самой нижней части разреза имеется примесь более крупнозернистых частиц (рис. 2). Также в интервале 4.1–3.5 м осадок имеет темно-серый цвет и в нем наблюдаются единичные раковины планктонных фораминифер *Neogloboquadrina pachyderma* sin. (Ehrenberg, 1861) и *Turborotalia quinqueloba* (Natland, 1938).

Выше по разрезу осадок приобретает более светлую окраску, и такой цвет характерен почти для всей вскрытой толщи. Весовая доля осадочной фракции >63 мкм здесь быстро снижается и падает до минимальных значений во всей колонке. Толща в интервале 3.5–2.9 м уже содержит малочисленную (~1 экз./г сухого осадка) фауну фораминифер без видимых признаков коррозии. Среди тех немногочисленных раковин фораминифер, которые найдены в образцах, большую часть составляют виды *Elphidium asklundi* (Brotzen, 1943), *Elphidium incertum* (Williamson, 1858) и *Haynesina orbiculare* (Brady, 1881). Эти таксоны в современном сообществе представляют собой группу, которая обитает в мелководных условиях с низкой соленостью в непосредственной близости речных русел (Polyak et al., 2002).

Судя по составу фораминифер и литологическим характеристикам, интервал от 4.1 до 2.9 м можно отнести к холодной хронозоне поздний дриас с возрастом 11.7–12.9 тыс. лет (Boslough et al., 2012). В этот холодный период позднего плейстоцена уровень моря был значительно ниже современного, а ледовый покров, вероятно, был почти круглогодичный. Это препятствовало развитию фитопланктона, который формировал поток пищи на дно, и, следовательно, комплексы фораминифер не получали условия

для своего развития. Найденные экземпляры фораминифер могли сноситься с мелководья речными потоками.

По своим характеристикам полуметровая толща темного цвета в слое 4.1-3.5 м отличается от остальных осадков, вскрытых колонкой. Видимо, здесь источник материала иной, нежели у остальной осадочной толщи. Можно предполагать, что этот осадок выпал из взвеси мутяевого потока, спустившегося с одного из склонов желоба. Единичные скелеты фораминифер, найденные в образцах, мутяевой поток, вероятно, захватил в процессе перемещения.

Выше уровня 2.9 м в колонке резко возрастает численность (до 100-200 экз./г сух. осадка) и разнообразие бентосных фораминифер, а также появляются скелетные остатки раковин макрофауны, представленные моллюсками и остракодами. Высокие значения численности фораминифер сохраняются до уровня 2.2 м. Здесь доминируют типичные представители Арктического бассейна *Cassidulina reniforme* (Nørvang, 1945) и *Elphidium clavatum* (Cushman, 1930), составляя 90-95% всего комплекса (Овсепян и др., 2015). Появляются более глубоководные виды *Nonion labradoricum* (Dawson, 1860), *Stainforthia loeblichii* (Feyling-Hanssen, 1954), *Astrononion gallowayi* (Loeblich & Tappan, 1953), виды подкласса *Milliolida* и др., которые предпочитают более отдаленные от русел рек районы и условия с высокой биопродуктивностью (Polyak et al., 2002).

Рис. 2. Литология, фораминиферы и макрофауна в разрезе колонки АМК-5240. Фотографии доминирующих видов бентосных фораминифер: 1 – *Cassidulina reniforme* (Cushman): 1a – вентральная сторона, 1b – дорзальная сторона; 2 – *Elphidium clavatum* (Cushman): 2a – вентральная сторона, 2b – вид со стороны устья; 3 – *Islandiella norcrossi* (Cushman): 3a – вентральная сторона, 3b – вид со стороны устья, 3c – дорзальная сторона

Мы интерпретируем подъем численности бентосных фораминифер в слое колонки 2.9-2.2 м как признак окончания холодного позднего дриаса и начала потепления голоцена (позднее уровня 11.7 тыс. лет назад). Резкий переход от ледниковых условий позднего плейстоцена к межледниковым условиям раннего голоцена привели к затоплению обширных территорий на востоке Карского моря. Это стимулировало повышение биопродуктивности акватория и создало благоприятные условия для развития и разнообразия фораминифер.

В интервале колонки 2.2–0.5 м численность фораминифер в осадке снижается до величин 5-25 экз./г сух. осадка, уменьшается число раковин макрофауны, но видовой состав фауны остается аналогичным комплексу раннего голоцена. Меняется соотношение доминирующих видов: процентное содержание в пробе вида *C. reniforme* уменьшается, и к числу доминирующих таксонов присоединяется вид *Islandiella norcrossi* (Cushman, 1933), который обитает в глубоководных районах Арктического океана с сезонными морским покровом и биопродуктивностью (Ovsepyan, Taldenkova, 2019). Также появляется глубоководный вид *Melonis barleeanus* (Williamson, 1858), часто ассоциирующийся с адвекцией атлантических водных масс (Хорева, 2007).

Если наша интерпретация микропалеонтологических данных верна, толща осадков колонки от 2.2 до 0.9 м соответствует среднему голоцену, и ее можно ограничить временным интервалом около 9.7-4.5 тыс. лет назад. Считается, что в среднем голоцене высокие широты северного полушария в летние месяцы получали уже меньше солнечного тепла, чем в раннем голоцене (Kaufman et al., 2004). Видимо, увеличивалась среднегодовая продолжительность ледового покрова. Однако уровень моря повышается и, видимо, достигает современных значений. Следовательно, увеличение ледовитости и уменьшение разгрузки Западно-Сибирских рек, в результате которого цветение фитопланктона отступило в сторону суши, было фактором снижения численности фораминифер и макрофауны.

Начиная с уровня 0.9 м к верху колонки, разрез характеризуется осадками серого цвета, где сначала появляются прослойки коричневого ила, а затем к поверхности весь осадок становится коричневым. В нижней части горизонта (0.9-0.5 м) еще встречаются единичные раковины фораминифер, но выше скелетные остатки макрофауны и раковины фораминифер отсутствуют. Снижение численности фораминифер, а потом отсутствие микро- и макроорганизмов можно использовать для разделения среднего и позднего голоцена в изученной колонке. Наличие коричневых прослоев в толще обычного серого осадка говорит о возможном развитии окислительно-восстановительных процессов, которые растворяют и разрушают раковины организмов (März, 2011).

Планктонные фораминиферы встречаются во всех вышеуказанных интервалах, но их численность везде низка, и отсутствуют выраженные пики или скопления. Скорее всего, планктонные фораминиферы были занесены в куттовую часть желоба Воронина течениями из бассейна Северного Ледовитого океана. Это может говорить о том, что система течений в желобе Воронина не менялась принципиально в течение голоцена, оставалась похожей на современную, и связь с открытым океаном не прерывалась.

В изученных пробах бентосный вид *Cassidulina teretis* (Tarpan) – один из малочисленных видов, встречающийся в трех интервалах 3.1-2.9, 1.8-1.2 и 0.6-0.5 м. Мы интерпретируем эти интервалы как периоды проникновения трансформированной атлантической воды (ТАВ) в куттовую часть желоба Воронина (Овсепян и др., 2015). Эпизоды присутствия вида *Cassidulina teretis* в разрезе соотносятся с увеличением общей численности бентосных фораминифер. Значит, местное потепление и повышение уровня моря можно связать с увеличением притока ТАВ в желоб Воронина. Аналогичные события были прослежены в колонках из желобов Франц-Виктория и Святой Анны, а также с континентального склона северной части Европы (Овсепян и др., 2015; Lubinski et al, 2001; Slubowska et al., 2005). Сравнительный анализ этих

колонок показывает, что в голоценовое время существовал единый режим притока трансформированных атлантических вод в шельфовые желоба Карского и Баренцева морей. Однако, по непонятным пока причинам, интенсивность притока ТАВ не удается проследить вдоль континентального склона.

Выводы.

1. На основе данных весовой фракции >63 мкм, численности, разнообразия фораминифер и остатков макрофауны выделены 4 основные этапа развития палеоокеанологической обстановки в желобе Воронина Карского моря: поздний дриас (поздний плейстоцен), ранний, средний и поздний голоцен.

2. Похолодание позднего дриаса (12.9–11.7 тыс. лет назад) прослеживается на всей территории западной части российской Арктики. Крайне низкая численность бентосных фораминифер, видимо, отражает почти круглогодичный ледовый покров и очень низкую биологическую продуктивность морских вод.

3. Ранний голоцен (предположительно, 11.7 до 9.7 тыс. лет назад) характеризуется пиком численности бентосных фораминифер и появлением макрофауны. Отмечается потепление климата и обогащение органическим веществом вод побережья Арктики.

4. В среднем голоцене (предположительно от 9.7 до 2.5 тыс. лет назад) происходило повышение уровня моря и сокращение влияния пресного стока на условия желоба Воронина. Уменьшение обилия фораминифер и макрофауны говорит о низкой биологической продуктивности.

5. В позднем голоцене (от 2.5 тыс. лет назад) численность фораминифер снижается до минимальных значений, а затем к настоящему времени фораминиферы и макрофауна совсем отсутствуют.

6. Трансформированная атлантическая вода, усиление притока которой маркируется видом *Cassidulina teretis*, в желоб Воронина проникает синхронно с такими же событиями в расположенных западнее желобах Франц-Виктории и Святой Анны.

Финансирование. Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (проект №19-77-10044). Осадочный материал получен по теме Госзадания № 0149-2019-0007.

1. Введение в изучение фораминифер: (Классификация мелких фораминифер мезо-кайнозоя) // Под ред. Н.Н. Субботиной и др. Л.: Недра. 1981. 211 с.
2. Бышев В.И., Нейман В.Г., Романов Ю.А. О разнонаправленности изменений глобального климата на материках и океанах // Доклады АН. 2005. Т. 400. № 1. С. 98–104.
3. Овсепян Я.С., Талденкова Е.Е., Баух Х.А., Кандиано Е. С. Реконструкция событий позднего плейстоцена–голоцена на континентальном склоне моря Лаптевых по комплексам бентосных и планктонных фораминифер // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 2015. Т. 23. № 6. С. 96–112.
4. Хорева И.М. Основные рубежи позднего плейстоцена и голоцена в арктических морях Евразии: их корреляция, палеомаринологические аспекты, причины возникновения (по материалам изучения фораминифер) // Бюллетень комиссии по изучению четвертичного периода. 2007. № 67. С. 44–53.
5. Boslough, M., Nicoll K., Holliday V., et al. Arguments and Evidence Against a Younger Dryas Impact Event // Climates, landscapes, and civilizations. 2012. N.198. P. 13–26.
6. Kaufman, D.S., Ager, T.A., Anderson, N.J., Anderson, P.M. Holocene thermal maximum in the western Arctic (0–180° W) // Quaternary Science Reviews. 2004. V.23. P. 529–560.
7. Lubinski D.J., Polyak L.A., Forman S.L. Freshwater and Atlantic water inflows to the deep northern Barents and Kara seas since ca 13 14C ka: foraminifera and stable isotopes // Quaternary Science Reviews. 2001. V. 20. P. 1851–1879.
8. Märtz, C., Stratmann, A., Matthiessen, J., et al. Manganese-rich brown layers in Arctic Ocean sediments: Composition, formation mechanisms, and diagenetic overprint // Geochimica et Cosmochimica Acta. 2011. V.75. P. 7668–7687.

9. Ovsepyan Ya.S., Taldenkova E.E. Distribution Patterns and Morphology of *Islandiella norcrossi* (Cushman) in the Upper Quaternary Deposits of the Laptev Sea // *Paleontological Journal*. 2019. V.53, N.1. P. 10–19.
10. Polyak L., Korsun S., Febo L., et al. Benthic foraminiferal assemblages from the southern Kara Sea, a river influenced Arctic marine environment // *Foraminiferal Res.* 2002. V. 32. N. 3. P. 252–273.
11. Slubowska M.A., Koc N., Rasmussen T.L., Klitgaard-Kristensen D. Changes in the flow-of Atlantic water into the Arctic Ocean since the last deglaciation: Evidence from the northern Svalbard continental margin, 80°N // *Paleoceanography*. 2005. V.20. PA4014.

Курочкин И.Н., Чугай Н.В., Кулагина Е.Ю.

Оценка состояния почв по агрохимическим показателям плодородия

*ФГБОУ ВО «Владимирский государственный университет имени Александра
Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»
(Россия, Владимир)*

doi: 10.18411/lj-04-2020-161

idsp: ljjournal-04-2020-161

Аннотация

В работе рассмотрены основные агрохимические показатели, влияющие на плодородие почв. Определено влияние различных факторов на деградацию почв и продуктивность экосистем, взаимосвязь между ними. Рассмотрены причины сохраняющейся тенденции к комплексному загрязнению почв в результате возрастающей антропогенной нагрузки. Проведён анализ основных причин снижения содержания гумуса в почвах и закисления почв. Рассмотрены аспекты исследования концентраций тяжёлых металлов при оценке загрязнения почвенного покрова.

Ключевые слова: почвенное плодородие, гумус, деградация почв, тяжёлые металлы

Abstract

The paper considers the main agrochemical indicators that affect soil fertility. The influence of various factors on soil degradation and ecosystem productivity and the relationship between them were determined. The reasons for the continuing tendency to complex soil pollution as a result of increasing anthropogenic load are considered. The analysis of the main reasons for the reduction of humus content in soils and soil acidification is carried out. The importance of studying the concentrations of heavy metals in assessing soil contamination is revealed.

Keywords: soil fertility, humus, soil degradation, heavy metals

Важнейшими агрохимическими показателями при оценке состояния почв являются реакция почвенной среды, содержание органического вещества – гумуса, и доступность важнейших микроэлементов – калия и фосфора. Однако в исследованиях многих авторов (Сладкопечев, 2002) оценивается также содержание и доступность нитратного азота, поглощательная способность [1] и другие, не менее важные факторы.

Реакция почвенной среды имеет большое значение при использовании почв в сельскохозяйственном обороте – наибольшие урожаи для подавляющего большинства сельскохозяйственных культур получают при слабокислой или нейтральной реакции. В последние десятилетия во многих регионах России сохраняется тенденция к увеличению площади средне- и сильнокислых почв [2], что говорит о деградации почвенного покрова. При закислении же почвы, получение стабильных высоких урожаев становится невозможным, т.к. кислотность оказывает воздействие на способность растений к поглощению питательных элементов из почвенной среды.

Для характеристики кислотности почв принято использовать несколько показателей – актуальная, потенциальная, обменная и гидролитическая кислотность,