УДК 563.12:551.89(268.53)

# РЕКОНСТРУКЦИЯ СОБЫТИЙ ПОЗДНЕГО ПЛЕЙСТОЦЕНА—ГОЛОЦЕНА НА КОНТИНЕНТАЛЬНОМ СКЛОНЕ МОРЯ ЛАПТЕВЫХ ПО КОМПЛЕКСАМ БЕНТОСНЫХ И ПЛАНКТОННЫХ ФОРАМИНИФЕР

© 2015 г. Я. С. Овсепян\*, Е. Е. Талденкова\*\*, Х. А. Баух\*\*\*, \*\*\*\*, Е. С. Кандиано\*\*\*\*

\*Геологический институт РАН, Москва, Россия

\*\* Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия \*\*\* Академия Майнца, Германия

\*\*\*\* ГЕОМАР, центр им. Гельмгольца по исследованию океанов, Киль, Германия e-mail: yaovsepyan@yandex.ru

Поступила в редакцию 05.03.2015 г., получена после доработки 25.05.2015 г.

Настоящая работа является частью мультидисциплинарных исследований колонки PS51/154-11, отобранной в море Лаптевых, и посвящена изучению бентосных и планктонных фораминифер. На основе палеоэкологического анализа комплексов фораминифер произведена детальная реконструкция изменений условий окружающей среды западной континентальной окраины моря Лаптевых на протяжении конца позднего плейстоцена и голоцена. Для исследованной колонки, снабженной возрастной моделью на основе AMS радиоуглеродных датировок, выделены интервалы, отражающие основные этапы развития региона за последние 17.6 тыс. лет: эпоха ранней дегляциации, потепление бёллинга-аллерёда, похолодание позднего дриаса, переход к межледниковью, климатический оптимум голоцена, средний—поздний голоцен. Присутствие раковин субполярных планктонных фораминифер и бентосного вида Cassidulina neoteretis (Таррап) позволяет реконструировать для района континентального склона этапы усиления влияния подповерхностного течения трансформированных атлантических вод в интервалах 12.0—14.7 и 0.6—5.4 тыс. лет назад. Бентосное сообщество отражает изменения обстановок осадконакопления в процессе послеледниковой трансгрессии, а также климатические сигналы, влияющие на биопродуктивность. Выделенные по фораминиферам события коррелируются с изменениями климата и циркуляции водных масс в Арктике.

Ключевые слова: фораминиферы, море Лаптевых, палеореконструкции, поздний плейстоцен, голоцен.

**DOI:** 10.7868/S0869592X15060071

#### ВВЕДЕНИЕ

В течение двух последних десятилетий район моря Лаптевых является ареной активных геологических и палеоокеанологических исследований, проводимых в рамках российско-германских программ по изучению Арктики (Kassens et al., 1994; Land—Ocean..., 1999; Система..., 2009). На основании детального анализа кернов морских осадков реконструируются процессы седиментации, ледообразования, взаимодействия речных и морских водных масс, изменения климата недавнего геологического прошлого (Bauch, Polyakova, 2003; Polyakova et al., 2005, 2006; Stepanova et al., 2012; Taldenkova et al., 2005, 2008, 2010, 2012; Талденкова и др., 2009; Клювиткина и др., 2009; Naidina, Bauch, 2011).

Важным компонентом палеореконструкций является изучение ископаемых остатков мейобентосных организмов. Основное внимание обычно уделяется бентосным фораминиферам, как наиболее многочисленным организмам, позволяющим оценивать палеопродуктивность и ледовитость бассейнов, изменения температуры и солености придонных вод (Murray, 2006). В настоящей статье подробно описываются комплексы бентосных и планктонных фораминифер, а также впервые приводятся фотографические изображения раковин из колонки морских осадков с западного континентального склона моря Лаптевых. С помощью палеоэкологического метода реконструируются этапы позднеплейстоцен-голоценовой истории развития континентальной окраины моря Лаптевых. Колонка примечательна тем, что представляет в настоящее время одну из наиболее детальных и надежно датированных методом ускорительной масс-спектрометрии (AMS<sup>14</sup>C) запись последениковых и голоценовых палеоокеанологических событий в регионе (Bauch et al., 2001a; Taldenkova et al., 2010).

#### СОВРЕМЕННЫЕ УСЛОВИЯ МОРЯ ЛАПТЕВЫХ

Половину всей площади моря занимает шельф с глубинами до 50 м. В северной части глубина увеличивается до 100 м, на этой отметке начинается континентальный склон, постепенно переходящий в ложе океана.

Особенности моря Лаптевых проявляются в неоднородности водных масс из-за влияния стока сибирских рек Лена, Яна, Хатанга, Анабар и Оленек. В летний период поверхностный слой воды может быть опреснен до 5% на юге и до 28—30% на севере. На границе раздела поверхностных опресненных вод и подповерхностных арктических (горизонт 10—15 м) создаются большие градиенты солености и плотности, что препятствует вертикальному перемешиванию. Поэтому придонная соленость более стабильная и меняется от 10—15% в приустьевых районах до 34% на внешнем шельфе (Дмитренко и др., 2001).

Большую часть года море покрыто льдами: зимой развит обширный припай, границей распространения которого служит глубина 20—25 м, далее к северу располагается система полыней, отделяющих припай от зоны дрейфующих льдов. Летом кромка дрейфующих льдов, к которой приурочена зона активной продуктивности микроорганизмов, часто меняет свое положение под влиянием ветров и течений. Несмотря на то что в летний период в прибрежных районах и на поверхности температура воды повышается, в придонном слое значения остаются отрицательными или близкими к нулю (Добровольский, Залогин, 1982).

На континентальном склоне моря Лаптевых отмечается приток трансформированных атлантических вод. Эти более теплые и соленые воды имеют особенный состав питательных веществ, что важно для бентосных видов, которые живут в пределах этих водных масс. Они попадают в Северный Ледовитый океан по двум направлениям. Ветвь течения, проникающая через пролив Фрама, огибает архипелаг Шпицберген с севера. Вторая восточная ветвь течения, проходящая через Баренцево и Карское моря и взаимодействующая с шельфовыми водными массами, попадает на континентальный склон через трог Святой Анны (Rudels et al., 2004).

Атлантические воды погружаются под более пресные и холодные арктические водные массы и направляются на восток вдоль континентального склона на глубине 150-800 м. По мере продвижения они постепенно охлаждаются и теряют часть питательных веществ, поэтому в море Лаптевых определяются трансформированные атлантические воды. Их ядро (температура  $0.5-1.5^{\circ}$ C, соленость 34.7-34.9%) обычно располагается на глубине 200-350 м (Дмитренко и др., 2001, Dmitrenko et al., 2010).

Взаимодействие шельфовых и склоновых водных масс под действием ветров, дующих с берега, и речного стока вызывает реверсивные течения, которые могут проникать на внешний и средний шельф. В северо-западной неопресненной части моря Лаптевых у побережья Северной Земли наблюдается также явление каскадинга более плотной воды, когда в области полыней вдоль крутого склона в результате ледообразования происходит выпадение рассолов, которые проникают ниже по склону и влияют на трансформированные атлантические воды (Ivanov, Golovin, 2007).

### ИСТОРИЯ ИЗУЧЕНИЯ ФОРАМИНИФЕР МОРЯ ЛАПТЕВЫХ

Фораминиферы являются чувствительным индикатором изменений окружающей среды. В Арктическом бассейне их распределение в основном изучено в районе, прилегающем к Северной Атлантике, в частности в Баренцевом море (Hald et al., 1994; Kopcyh и др., 1994; Wollenburg, Mackensen, 1998; Lubinski et al., 2001; Polyak et al., 2002; Ślubowska et al., 2005; Чистякова и др., 2010). Остальные моря Российской Арктики изучены в меньшей степени, что связано со сложными природными условиями, труднодоступностью, ограниченным периодом судоходства.

В море Лаптевых изучение фораминифер начала З.Г. Щедрина (1936), которая описала всего четыре современных бентосных вида. В дальнейших работах приводятся данные о качественном составе фауны фораминифер (Todd, Low, 1966; Таманова, 1970, 1971; Bauch et al., 1995; Lukina, 2001; Лукина, 2004; Матуль и др., 2007). Наиболее обширными и детальными являются исследования Т.Г. Лукиной (2004; Lukina, 2001), которой для всей акватории моря определены 130 видов бентосных фораминифер, рассмотрены закономерности их горизонтального и вертикального распределения, приведены рисованные изображения.

Количественное распределение современных фораминифер в поверхностных осадках на шельфе моря Лаптевых в зависимости от характера водных масс впервые дано в дипломной работе S.-O. Bude (1997).

Планктонные фораминиферы изучены в основном из глубоководной части моря (Bauch et al., 1999; Volkmann, 2000), хотя отмечается их присутствие и на юго-восточном мелководном шельфе, что можно объяснить наличием придонных реверсивных течений (Матуль и др., 2007).

Наиболее полные данные о распространении фораминифер в голоценовых и верхнеплейстоценовых отложениях моря Лаптевых за последние 17.6 тыс. лет были опубликованы в статьях Е.Е. Талденковой с соавторами (Taldenkova et al., 2005, 2008, 2010, 2012; Талденкова и др., 2009), а

также И.А. Погодиной с соавторами (2009). В них описание комплексов фораминифер приводится совместно с другими группами микрофоссилий, литологическими и геохимическими исследованиями.

### ОСОБЕННОСТИ ЭКОЛОГИИ МАССОВЫХ ВИДОВ БЕНТОСНЫХ ФОРАМИНИФЕР АРКТИЧЕСКИХ МОРЕЙ

Изучение современных бентосных секреционно-известковых фораминифер из поверхностных осадков Карского моря показало, что главными факторами, влияющими на распределение различных видов фораминифер, являются глубина моря и интенсивность речного стока, так как именно это определяет количество и состав питательных веществ для мейобентоса. На основании уменьшения речного влияния и удаления от берега были выделены три основные экологические группы (Polyak et al., 2002), описанные ниже. Ввиду схожих природных условий морей Карского и Лаптевых данные по экологии фораминифер, полученные для осадков Карского моря, можно применить для анализа ископаемых комплексов и палеогеографических реконструкций моря Лаптевых.

К опресненным районам мелководного шельфа с глубинами менее 50 м тяготеют следующие виды, встречающиеся и в осадках исследованной колонки: Elphidium incertum (Williamson), Elphidium bartletti Cushman, Haynesina orbiculare (Brady), Buccella frigida (Cushman), Polymorphina sp. Эти виды способны существовать в условиях крайне выраженной сезонности. Зимой из-за мощного покрова припайного льда поступление пищи ограничено. Летом, во время короткого арктического половодья, создаются условия значительной стратификации вод, высоких скоростей седиментации и поступления большого количества терригенного органического вещества. Осенние штормы приводят к высокой мутности вод за счет взмучивания осадков (Hald et al., 1994; Polyak et al., 2002).

К комплексу фораминифер среднего шельфа, удаленного от влияния рек, относятся фораминиферы: Stainforthia loeblichi (Hoglund), Nonion labradoricum (Dawson), Elphidium subarcticum Cushman, Pyrgo williamsoni d'Orbigny, Quinqueloculina spp. Эти виды зачастую приурочены к зоне повышенной продуктивности и поступления свежего морского органического вещества у края льдов, в том числе к полыньям, находящимся на границе раздела припая и дрейфующих льдов (Steinsund, Hald, 1994).

Изначально типичный арктический вид Cassidulina reniforme Nørwang также был отнесен Л. Поляком к этому комплексу, однако в осадках из моря Лаптевых он имеет массовый характер,

что побудило рассматривать данный вид отдельно в качестве фонового.

К комплексу внешнего шельфа и континентального склона тяготеют виды, живущие в условиях нормально-морской солености в зоне дрейфующих льдов: Islandiella norcrossi Cushman, Melonis barleeanus (Williamson), Astrononion gallowayi Loeblich et Tappan, Cibicides lobatulus (Walker et Jacob). Два последних вида (равно как и E. subarcticum) являются эпифауной и характерны для гидродинамически активных придонных зон либо для участков дна с гравием и более крупными обломками пород, которые служат субстратом для их прикрепления. M. barleeanus характерен для относительно глубоких участков с повышенным содержанием сравнительно "старого", частично разложившегося морского органического вещества (Caralp, 1989; Steinsund, Hald, 1994; Корсун и др., 1994).

Интересным является распространение Elphidium clavatum Cushman, не подходящего строго ни к одному из вышеперечисленных комплексов. Это оппортунистический вид, встречающийся практически повсеместно, часто достигает высокой численности в стрессовых обстановках с ярко выраженной сезонностью в поступлении питательных веществ, таких как прибрежные опресненные участки, покрытые припайным льдом зимой, или внутренние части фиордов у края ледников (Østby, Nagy, 1982; Polyak et al., 2002).

Важным индикатором трансформированных атлантических вод, характерных для континентального склона моря Лаптевых в интервале глубин 150—500 м, является Cassidulina neoteretis (Таррап). Данный вид избегает зон, где происходит перемешивание с опресненными шельфовыми водами. Возможно, это связано с предпочтениями в питании С. neoteretis, приуроченого к северной ветви течения, проникающей в Северный Ледовитый океан через пролив Фрама (Wollenburg, Mackensen, 1998; Lubinski et al., 2001; Wollenburg et al., 2004).

#### МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Микропалеонтологический анализ фораминифер проведен на материале донных морских отложений с континентального склона западной части моря Лаптевых. Разрез колонки PS51/154-11 (77°15.56′ с.ш., 120°36.59′ в.д.; глубина 270 м) был отобран в рейсе научно-исследовательского судна "Поларштерн" российско-германской экспедиции "Трансдрифт V" в августе 1998 г. (рис. 1). Ниже эта колонка для простоты обозначается PS51/154.

Отбор материала проводился длинным коробчатым пробоотборником (kasten core). Для проведения научных исследований непрерывно выбирались пробы мощностью 2 см из всего разреза

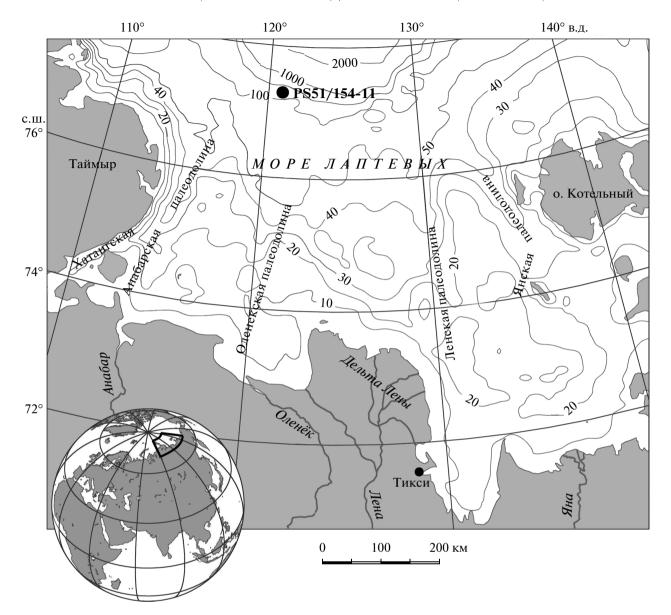


Рис. 1. Карта моря Лаптевых, местоположение исследуемой колонки PS51/154-11. Батиметрия в метрах.

пробоотборника мощностью 675 см, а также керноприемника (25 см): таким образом. колонка PS51/154 непрерывно разобрана на образцы. Исключение составляют верхние 6 см, утраченные при извлечении осадка. Пробы подвергали замораживанию и высушиванию в условиях вакуума, потом их взвешивали, а полученные данные использовали при подсчете количества раковин фораминифер на 100 г сухого непромытого осадка. Образцы промывали через сито 63 мкм, в дальнейшем из образца выбирали все микрофоссилии, определяли их и подсчитывали.

Ископаемые карбонатные остатки из разреза колонки датированы методом ускорительной масс-спектроскопии (AMS<sup>14</sup>C) в лаборатории Лейбница (Киль, Германия). Для анализа исполь-

зовались раковины моллюсков и смесь бентосных фораминифер (табл. 1). С помощью программы Fairbanks 0107 проведен пересчет радиоуглеродных датировок в календарный возраст (Fairbanks et al., 2005). Предварительно была сделана поправка на резервуарный эффект, определенный для моря Лаптевых в 370 лет (Bauch et al., 2001а). По датировкам была построена возрастная модель путем интер- и экстраполяции графика зависимости между возрастом и глубиной положения образца в разрезе и допущением о современном (нулевом) возрасте верха колонки.

Наиболее древние датированные слои находятся на глубине 572 см, их возраст составляет 15.4 тыс. лет назад (Taldenkova et al., 2008, 2010, 2012). Нижние 1.5 м осадков практически лишены

KIA-6924

KIA-6925

KIA-6976

KIA-6977

Номер образца	Глубина, см	Материал	<sup>14</sup> С возраст, лет	Календарный возраст, лет
KIA-6919	25	Смесь фораминифер, Yoldiella sp.	$3425 \pm 30$	3279
KIA-32810	39	Смесь фораминифер	$5040 \pm 50$	5398
KIA-32812	51	Смесь фораминифер	$9410 \pm 70$	10208
KIA-32814	115	Yoldiella lenticula	$9630 \pm 50$	10442
KIA-32815	131	Nucula tenuis	$10085 \pm 45$	11165
KIA-6920	138	Macoma calcarea	$10120 \pm 55$	11187
KIA-6921	204	Nucula tenuis	$10235 \pm 45$	11250
KIA-6922	300	Yoldiella intermedia	$10725 \pm 50$	12175
KIA-6923	375	Yoldiella lenticula	$12180 \pm 60$	13661

Yoldiella intermedia

Смесь фораминифер, остракод

Смесь фораминифер, остракод

Portlandia arctica

**Таблица 1.** Радиоуглеродные датировки и пересчет в календарный возраст осадков колонки PS51/154-11 (по Bauch et al., 2001a; Taldenkova et al., 2010)

карбонатных остатков, экстраполированный возраст основания разреза определен в 17.6 тыс. лет назад. Таким образом, колонка документирует весь голоцен и значительную часть послеледникового интервала позднего плейстоцена.

440

518

567

569

Из всех микрофоссилий, выбранных из осадков колонки, в настоящей статье описываются только комплексы секреционно-известковых бентосных и планктонных фораминифер. Всего в процессе исследования было определено 39 видов фораминифер, относящихся к 29 родам. Экземпляры наиболее важных для палеогеографии видов сфотографированы на сканирующем электронном микроскопе в лаборатории электронной микроскопии Палеонтологического института им. А.А. Борисяка РАН (табл. I, II).

Для анализа изменения количества и видового состава фораминифер и реконструкции изменения палеоусловий были построены графики изменения численности фораминифер, процентного содержания видов и экологических групп в зависимости от календарного возраста. Для достоверного вычисления процентного содержания каждого вида брались образцы, содержащие больше 100 раковин бентосных фораминифер (Dennison, Hay, 1967; Fatela, Taborda, 2002).

#### РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Геологический разрез и скорости седиментации

Разрез колонки PS51/154 мощностью 675 см (700 см с керноприемником) сложен в основном алевритистой глиной или песчано-алевритистой

глиной различных оттенков серого цвета с песчаными обломками, линзами песка и обломками раковин моллюсков (рис. 2). Результаты исследования весового процентного содержания песчаной фракции (>63 мкм) и количества терригенных обломков пород и минералов (>500 мкм), представляющих собой в основном материал ледового и/или айсбергового разноса, с подробным описанием литологии даны в статье Е.Е. Талденковой с соавторами (Taldenkova et al., 2010).

13941

14856

15338

15372

 $12525 \pm 55$ 

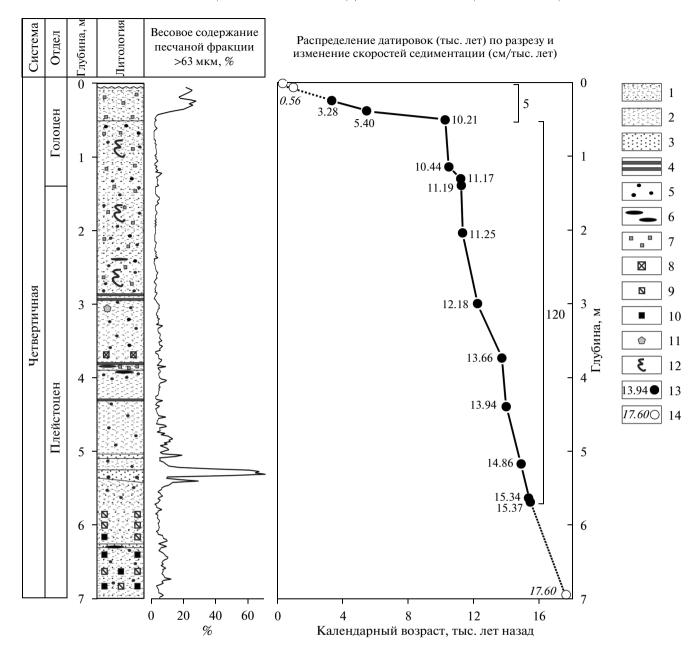
 $13120 \pm 60$ 

 $13540 \pm 90$ 

 $13570 \pm 110$ 

В целом отложения колонки PS51/154 можно разбить на три интервала: нижний 700-570 см (~17.6-15.4 тыс. лет назад), средний 570-51 см (15.4-10.2 тыс. лет назад) и верхний 51-6 см (10.2-0.6 тыс. лет назад). В нижнем интервале микрофоссилии очень редки, зато много слюды, материала ледового разноса, аутигенных конкреций вивианита ( $Fe_3[PO_4] \times 8H_2O$ ) и родохрозита (MnCO<sub>3</sub>). Осадки среднего интервала богаты фауной, детритом, черными пятнами органики, биотурбированы, содержание материала песчаной фракции >63 мкм составляет около 5–10%, но есть пик до 70%, что в сочетании с наклонным контактом этого прослоя с вмещающей толщей позволяет предположить его оползневое происхождение. В верхнем интервале количество микрофоссилий сокращается, но отмечается повышенное содержание песчаной фракции (до 20-25%) и материала ледового разноса, причем некоторые обломки пород имеют в диаметре более 1 см (Taldenkova et al., 2008, 2010).

В колонке PS51/154 на границе верхнего слоя, соответствующей возрасту 10.2 тыс. лет назад, фиксируется резкое снижение скоростей седи-



**Рис. 2.** Разрез колонки PS51/154-11 с распределением датировок и графиком изменения скоростей седиментации. 1 — песчано-алевритистая глина; 2 — алевритистая глина; 3 — песок; 4 — темноцветные прослои, насыщенные органикой; 5 — черные пятна органики; 6 — темноцветные линзы, насыщенные органикой; 7 — песчаные обломки; 8 — кристаллы икаита; 9 — конкреции вивианита; 10 — конкреции родохрозита; 11 — древесина; 12 — биотурбация; 13 — радиоуглеродные датировки; 14 — экстраполированный возраст.

Квадратной скобкой отмечены интервалы со средней скоростью седиментации: 570-51 см -120 см/тыс. лет и 51-6 см -5 см/тыс. лет.

ментации со 120 до 5 см/тыс. лет (рис. 2). Это связано с трансгрессией моря, вызвавшей перераспределение континентальных осадков и отступание областей их максимального отложения с континентального склона на внутренний шельф (Bauch et al., 1999, 2001a; Polyakova et al., 2005; Taldenkova et al., 2005, 2008).

Распределение комплексов фораминифер по колонке

Кальцитовые раковины бентосных фораминифер составляют основу комплекса микрофауны и встречаются в обилии, за исключением нижней части колонки. В зависимости от смены численности и видового состава фораминифер колонка подразделяется на 7 интервалов (рис. 3, 4).

Интервал 1 (15.4—~17.6 тыс. лет назад). Отмечены единичные находки бентосных фораминифер у основания колонки в интервале 670—675 см. Это немногочисленные экземпляры Nonion labradoricum, Pyrgo williamsoni, Islandiella norcrossi, Cassidulina reniforme, Elphidium clavatum, Buccella frigida, Quinqueloculina sp. Несмотря на небольшое количество фораминифер, важно наличие в комплексе Cassidulina neoteretis — вида-индикатора трансформированных атлантических вод.

Факт присутствия этих водных масс также подтверждается чрезвычайно богатым по численности и видовому разнообразию комплексом мелких (ювенильных) раковин планктонных фораминифер. Больше всего их встречено в образцах из основания разреза (672-776 см) с экстраполированным возрастом 17.2 тыс. лет назад, здесь есть и редкие бентосные фораминиферы. Содержание планктонных фораминифер в 40 раз выше, чем где-либо по разрезу (более 6000 раковин на 100 г осадка). При этом над арктической формой Neogloboquadrina pachyderma sin. (Ehrenberg) преобладают субполярные виды: Neogloboquadrina pachyderma dex. (Ehrenberg), Globigerina bulloides (d'Orbigny), Globigerinita glutinata (Egger), Globigerinita uvula (Ehrenberg), Turborotalita quinqueloba (Natland). К группе субполярных видов можно также условно отнести экзотические для Арктики виды, чаще встречающиеся в субтропиках: Globorotalia scitula (Brady), Globorotalia inflata d'Orbigny, Orbulina universa d'Orbigny. Нахождение немногочисленных раковин этих видов в районе моря Лаптевых также можно связать с атлантическим течением. Присутствие G. uvula предполагает наличие областей апвеллинга (Rasmussen et al., 2007). Суммарно ювенильные раковины субполярных фораминифер составляют 54% от всех планктонных фораминифер в образце.

Выше по разрезу, начиная с 15.5 тыс. лет назад, раковины бентосных фораминифер присутствуют постоянно.

Интервал 2 (14.7—15.4 тыс. лет назад). Характеризуется весьма разнообразным комплексом: встречаются виды различных экологических групп, однако доминируют С. reniforme (до 80%) и Е. clavatum (до 50%), свидетельствующие о холодных и сравнительно низкопродуктивных водах. Оппортунистический вид Е. clavatum в соче-

тании с S. loeblichi отражает наличие мощного ледового покрова (Hald et al., 1994; Ślubowska et al., 2005). Примечательно нахождение в этом интервале также Stainforthia feylingi Knudsen et Seidenkrantz, достигающего 30%. Этот вид массово встречается в условиях с низким содержанием кислорода в придонном слое из-за высокой продуктивности на поверхности, вызываемой в этих местах периодическими апвеллингами (Knudsen, Seidenkrantz, 1994; Knudsen et al., 2008).

Присутствие на континентальном склоне более теплых и соленых промежуточных атлантических водных масс подтверждается наличием С. neoteretis (до 15%) и раковин планктонных фораминифер, которые достигают численности 100 экземпляров/100 г сухого осадка. Среди них доминирует N. pachyderma sin., доля же субполярных видов достигает 10%.

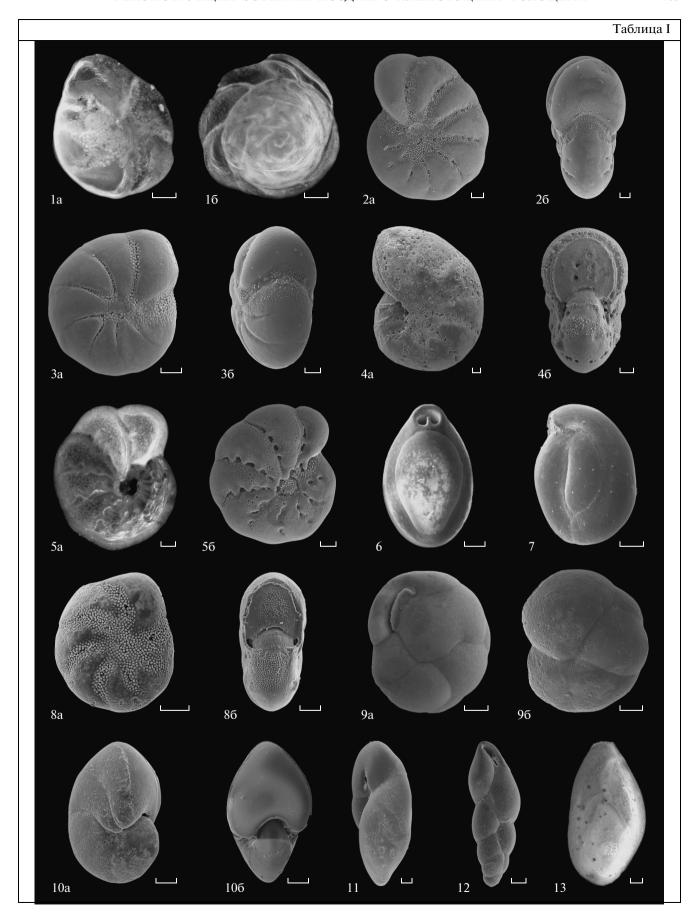
Кратковременное отсутствие С. neoteretis (14.8—15 тыс. лет назад) и общее резкое падение численности фораминифер совпадают с ярко выраженным прослоем оползневых осадков (см. слой 524—540 см, рис. 2). О том, что осадки перемещены из прибрежной зоны моря, свидетельствует пик встречаемости видов внутреннего шельфа Elphidium incertum, Haynesina orbiculare, В. frigida, а также находки раковин солоноватоводных и даже пресноводных остракод (Taldenkova et al., 2010; Stepanova et al., 2012).

Интервал 3 (13.2—14.7 тыс. лет назад). Здесь продолжает преобладать Е. clavatum, его содержание достигает максимальных значений (60%). Доминирование этого вида говорит о сохранении неблагоприятных, холодных и изменчивых придонных условий со стратификацией и увеличенной мутностью вод (Hald et al., 1994). Возможно, с этим связано и уменьшение доли фораминифер из комплекса среднего шельфа.

По-прежнему велико количество фораминифер зоны внешнего шельфа (I. norcrossi, Cibicides lobatulus, C. neoteretis, S. feylingi, Astrononion gallowayi), роль которых даже увеличилась по сравнению с предыдущим интервалом. Высока и общая численность фораминифер, достигающая 3500 экз. на 100 г, что связано как с большим количеством обычных видов, так и с аномальным обилием S. feylingi, который составляет 80% в пробе 481—483 см (14.4 тыс. лет назад). Значи-

**Таблица І.** Раковины фораминифер из колонки PS51/154-11 с континентального склона моря Лаптевых. Длина масштабной линейки 50 мкм.

<sup>1-</sup> Виссеlla frigida (Cushman): 1a- экз. 51, вентральная сторона, 16- экз. 52, дорзальная сторона; 2- Elphidium incertum (Williamson): 2a- экз. 3, вид сбоку, 26- экз. 4, вид со стороны устья; 3- Haynesina orbiculare (Brady): 3a- экз. 7, вид сбоку, 36- экз. 8, вид со стороны устья; 4- Elphidium bartletti Cushman: 4a- экз. 5, вид сбоку, 46- экз. 6, вид со стороны устья; 5- Elphidium clavatum Cushman: 5a- экз. 53, 56- экз. 41; 6- Pyrgo williamsoni d'Orbigny, экз. 12; 7- Quinqueloculina seminulum (Linnaeus), экз. 18; 8- Elphidium subarcticum Cushman: 8a- экз. 23, вид сбоку, 86- экз. 24, вид со стороны устья; 9- Cassidulina reniforme Nørwang: 9a- экз. 22, вид со стороны устья, 96- экз. 23, вид сбоку; 10- Nonion labradoricum (Dawson): 10a- экз. 14, вид сбоку, 106- экз. 15, вид со стороны устья; 11- Robertinoides charlottensis (Cushman), экз. 32; 12- Stainforthia loeblichi (Hoglund), экз. 21; 13- Polymorphina sp., экз. 54.



СТРАТИГРАФИЯ. ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ КОРРЕЛЯЦИЯ  $_{
m TOM}$  23  $_{
m N\!\!_{2}}$  6  $_{
m 2015}$ 

тельная доля видов E. clavatum, C. reniforme, Stainforthia loeblichi свидетельствует о сильно выраженной сезонности с тяжелыми ледовыми условиями зимой и повышенной продуктивностью летом (Knudsen et al., 2008).

На протяжении всего этого интервала велико содержание С. neoteretis с максимумом 63% на уровне 14.3 тыс. лет назад. Также высоко содержание планктонных фораминифер, среди которых доля субполярных видов достигает 20%.

**Интервал 4** (12.0—13.2 тыс. лет назал). Характеризуется максимальной численностью бентосных фораминифер, доходящей до 5994 раковины на 100 г сухого осадка. Пик численности, установленный на уровне 13 тыс. лет назад, совпадает с максимумом C. reniforme и временным исчезновением C. neoteretis. Доля C. reniforme в комплексе доходит до 90%, причем большую часть составляют ювенильные формы. Причина такой вспышки может быть связана с временным созданием условий крайне неблагоприятных для других фораминифер. В данном случае это могло быть вызвано привносом терригенной органики и большого количества взвеси из-за обилия талых вод (Spielhagen, 2005). Аналогичная картина может происходить во фьордах, где имеет место смешение "ледникового молока" с холодными морскими водами (Корсун и др., 1994; Steinsund, Hald, 1994; Polyak et al., 2002).

К концу интервала интенсивность влияния резкого притока пресных вод снизилась, и восстановились условия, при которых повысилась численность С. neoteretis. Содержание Е. clavatum уменьшилось, что может свидетельствовать о нормальных условиях для жизни бентоса, при которых представлены все экологические группы фораминифер (даже виды внутреннего шельфа составляют 15%).

Следует отметить пик численности Elphidium subarcticum, характерного для зон с активной гидродинамикой (Корсун и др., 1994; Polyak et al., 2002), в интервале 12—12.5 тыс. лет назад, что говорит о хорошей вентиляции вод в это время.

**Интервал 5** (10.2—12 тыс. лет назад). Здесь сильно меняется состав комплекса фораминифер. Прежде всего, следует отметить исчезновение С. neoteretis и резкое сокращение планктонных видов до среднего уровня 10 раковин на 100 г.

Это могло произойти в результате изменения интенсивности трансформированного атлантического течения в районе местонахождения колонки PS51/154 на континентальном склоне моря Лаптевых.

Среди бентосных фораминифер увеличивается общее количество видов за счет типично морских. Пики численности отмечаются у Robertinoides charlottensis (Cushman) и А. gallowayi (14 и 16% соответственно). Это относительно глубоководные виды зоны внешнего шельфа и континентального склона (Лукина, 2004; Polyak et al., 2002), редко появлявшиеся ранее. Кроме того, с этого интервала начинает постоянно присутствовать Melonis barleeanus.

Только для этого интервала характерно обилие N. labradoricum, который достигает максимальных значений 21% на отметке 11.8 тыс. лет назад. В арктических морях он приурочен к зонам высокой продуктивности и является индикатором полярного фронта и сезонной границы дрейфующих льдов (Polyak et al., 2002). Повышается численность и других видов-индикаторов повышенной продуктивности, таких как I. norcrossi, P. williamsoni.

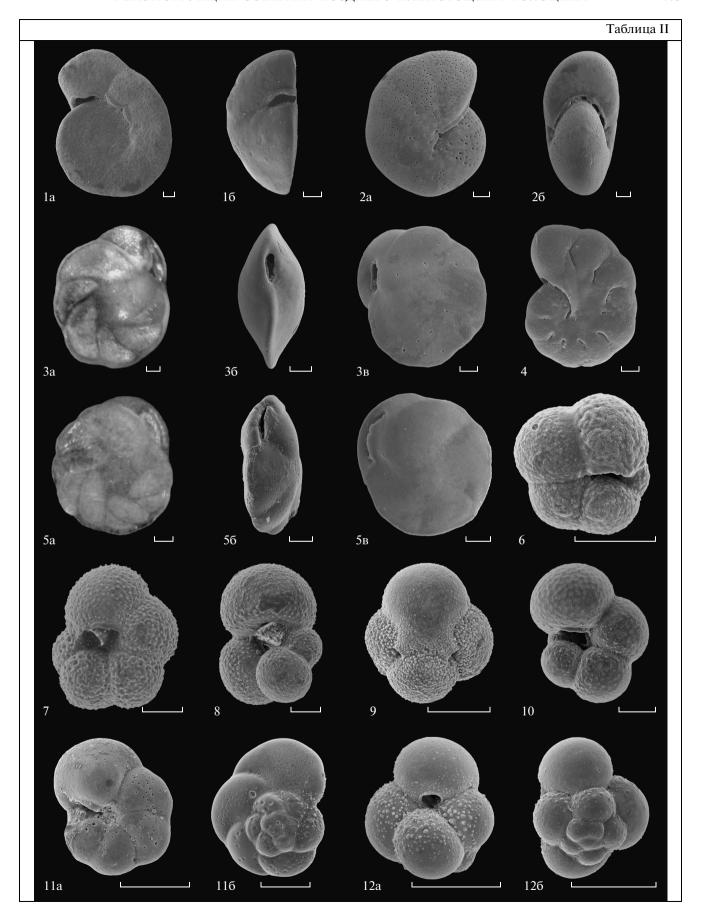
Доля оппортунистического вида Е. clavatum резко сокращается, что вместе с повышением таксономического разнообразия позволяет говорить об улучшении придонных условий: уменьшении ледовитости и поступлении большего объема питательных веществ (Taldenkova et al., 2008, 2010).

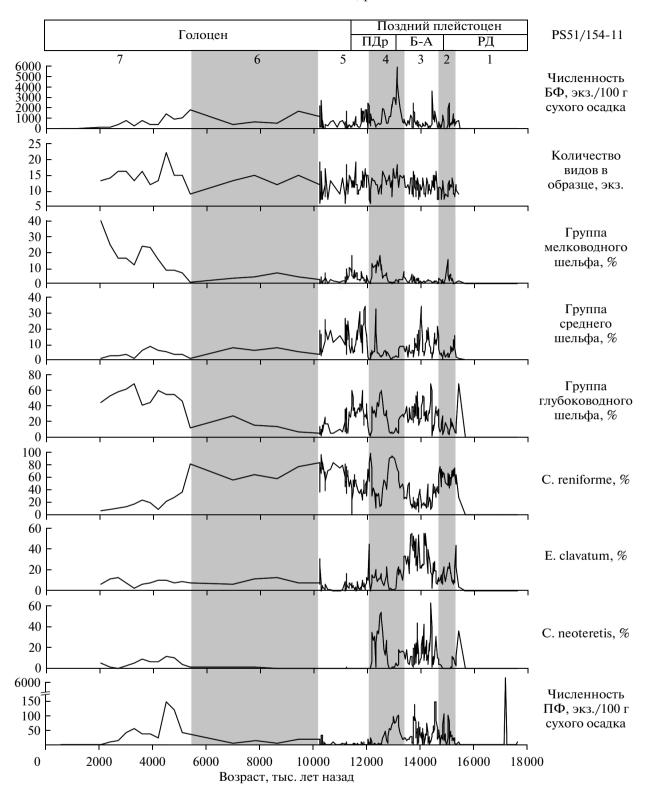
Интервал 6 (5.4—10.2 тыс. лет назад). Начинается с резкого понижения численности и видового разнообразия микрофауны. По-прежнему доминирует С. reniforme, а доля Е. clavatum не превышает 15% от общего числа раковин фораминифер, что свидетельствует о нормальных условиях для жизни других видов на континентальном склоне во время интенсивной фазы затопления шельфа.

Среди видов внешнего шельфа и континентального склона растет доля М. barleeanus. Этот глубоководный инфаунный вид часто встречается на мягких грунтах в трогах, питается захороненной и частично разложенной органикой (Caralp, 1989; Steinsund, Hald, 1994). С. neoteretis практически отсутствует, а доля мелководных видов не превышает 3%.

**Таблица II.** Раковины фораминифер из колонки PS51/154-11 с континентального склона моря Лаптевых. Длина масштабной линейки 50 мкм.

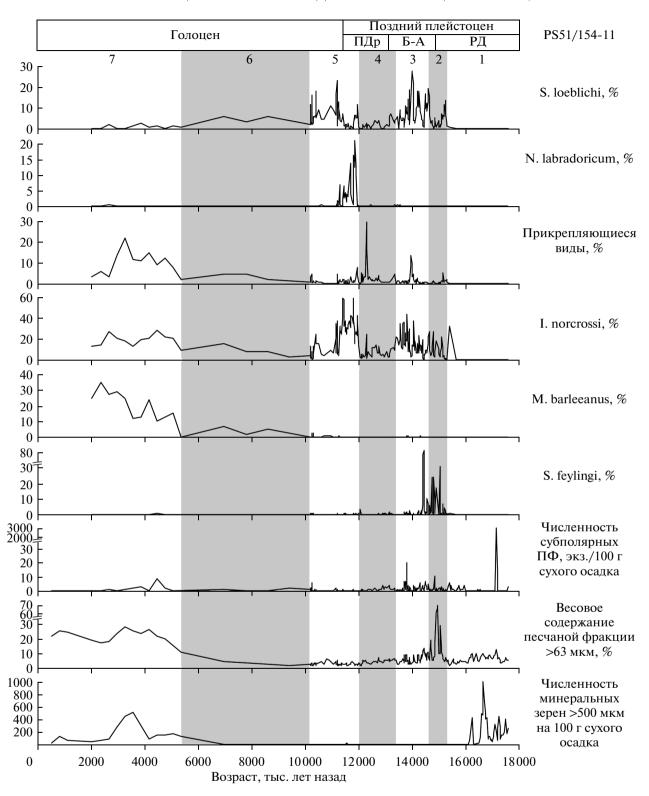
<sup>1</sup> — Cibicides lobatulus (Walker et Jacob):  $1a - 9\kappa3$ . 25, вентральная сторона,  $16 - 9\kappa3$ . 26, вид со стороны устья; 2 — Melonis barleeanus (Williamson):  $2a - 9\kappa3$ . 27, вид сбоку,  $26 - 9\kappa3$ . 28, вид со стороны устья; 3 — Islandiella norcrossi Cushman:  $3a - 9\kappa3$ . 56, вид сбоку,  $36 - 9\kappa3$ . 35, вид со стороны устья,  $38 - 9\kappa3$ . 34, вид сбоку; 4 — Astrononion gallowayi Loeblich et Таррап,  $9\kappa3$ . 29, вид сбоку; 5 — Cassidulina neoteretis (Tappan):  $5a - 9\kappa3$ . 55, вид сбоку,  $56 - 9\kappa3$ . 37, вид со стороны устья,  $58 - 9\kappa3$ . 38, вид сбоку; 6 — Neogloboquadrina pachyderma sin. (Ehrenberg),  $9\kappa3$ . 70; 7 — Turborotalita quinqueloba (Natland),  $9\kappa3$ . 72; 8 — Globigerina bulloides (d'Orbigny),  $9\kappa3$ . 73; 9 — Globigerinita glutinata (Egger),  $9\kappa3$ . 74; 10 — Neogloboquadrina pachyderma dex. (Ehrenberg),  $9\kappa3$ . 71; 11 — Globorotalia scitula (Brady):  $11a - 9\kappa3$ . 75, вентральная сторона,  $116 - 9\kappa3$ . 76, дорзальная сторона; 12 — Globigerinita uvula (Ehrenberg):  $12a - 9\kappa3$ . 77, вентральная сторона,  $126 - 9\kappa3$ . 78, дорзальная сторона.





**Рис. 3.** Колонка PS51/154-11: графики изменения численности бентосных (БФ) и планктонных (ПФ) фораминифер, количества видов в образце, процентного содержания экологических групп и отдельных видов: Cassidulina neoteretis (Таррап), Elphidium clavatum Cushman, Cassidulina reniforme Nørwang — на протяжении конца позднего плейстоцена—голоцена

Сокращения:  $\Pi$ Др — поздний дриас, Б-А — бёллинг-аллерёд, РД — ранняя дегляциация. Цифрами обозначены 7 интервалов.



**Рис. 4.** Колонка PS51/154-11: графики изменения процентного содержания Stainforthia loeblichi (Hoglund), Nonion labradoricum (Dawson), группы прикрепляющихся видов (Cibicides lobatulus (Walker et Jacob), Astrononion gallowayi Loeblich et Tappan, Elphidium subarcticum Cushman), Islandiella norcrossi Cushman, Melonis barleeanus (Williamson), Stainforthia feylingi Knudsen et Seidenkrantz, численности раковин субполярных планктонных фораминифер (ПФ), процентного содержания песчаной фракции (>63 мкм), численности минеральных зерен >500 мкм на протяжении конца позднего плейстоцена—голоцена.

Сокращения:  $\Pi$ Др — поздний дриас, Б-А — бёллинг-аллерёд, РД — ранняя дегляциация. Цифрами обозначены 7 интервалов.

На интервал 6 приходится мало образцов изза резкого снижения скорости седиментации (рис. 2), что повлияло на разрешающую способность реконструкций.

**Интервал 7** (0.6–5.4 тыс. лет назад). Сообщество фораминифер этого интервала резко отличается от ассоциации из нижней части колонки и соответствует современному комплексу (Таманова, 1971; Лукина, 2004). Здесь особо многочисленными становятся виды I. norcrossi, M. barleeanus, A. gallowayi, C. lobatulus, относящиеся к фауне внешнего шельфа и континентального склона. Кроме того, вторую по численности группу образуют виды из мелководных опресненных районов моря: E. incertum, E. bartletti, H. orbiculare, B. frigida. Кажущееся противоречие между максимумом содержания глубоководных видов и одновременным максимумом раковин фораминифер из прибрежных опресненных районов можно объяснить переносом последних со льдами и айсбергами (Reimnitz et al., 1994; Eicken et al., 1997).

Появление угловатого материала айсбергового разноса, выраженное в резком возрастании содержания крупнозернистой фракции (>63 мкм) до 20% и более, характерно именно для последних 5.4 тыс. лет. Интересно, что одновременно возросла численность эпифаунных, прикрепляющихся видов А. gallowayi, С. lobatulus, Е. subarcticum, для которых айсберговый обломочный материал стал служить удобным субстратом для поселения.

В большом количестве появляется вновь С. neoteretis и планктонные фораминиферы N. pachyderma sin, N. pachyderma dex, G. bulloides и Т. quinqueloba. Это подтверждает возобновление влияния трансформированных атлантических вод в области расположения колонки и установление современных типично морских условий.

# РЕКОНСТРУКЦИЯ ИЗМЕНЕНИЙ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ НА ОСНОВЕ СМЕНЫ ИСКОПАЕМЫХ КОМПЛЕКСОВ ФОРАМИНИФЕР

Место отбора колонки PS51/154 в эпоху ранней дегляциации находилось в верхней части континентального склона, где глубина моря составляла около 150 м, вблизи осушенного шельфа, который не был покрыт ледником на протяжении последнего ледникового максимума (Svendsen et al., 2004; Hubberten et al., 2004). В непосредственной близости находился приглубый берег, с которого на континентальный склон поступал терригенный материал, выносимый сибирскими реками (Bauch et al., 2001a; Spielhagen et al., 2005).

Крайне низкое и эпизодическое присутствие раковин бентосных фораминифер в осадках с

возрастом 17.6-15.4 тыс. лет назад можно объяснить существованием бескислородных придонных условий, на которые указывает наличие аутигенных конкреций родохрозита и вивианита (Taldenkova et al., 2010). Подобные условия, неблагоприятные для жизни микрофауны, могли быть вызваны сильной стратификацией водной толщи в результате поступления большого количества пресных вод при начавшемся активном таянии ледников Северной Земли и Баренцево-Карского ледникового щита и мощного сезонного ледового покрова (Lubinski et al., 2001; Taldenkova et al., 2010). В данном случае можно исключить растворение карбоната раковин как причину отсутствия бентосных форм в осадке, так как в образцах из нижнего интервала часто встречаются планктонные фораминиферы, попавшие на дно из пелагиали.

Из-за пониженного уровня моря колонка PS51/154 в эпоху дегляциации находилась выше промежуточного слоя трансформированных атлантических вод, чье периодическое присутствие доказано пиками субполярных планктонных фораминифер. Предполагается, что в зимний период прибрежные ветры, дующие с континента, скованного вечной мерзлотой, образовывали полыньи над зоной континентального склона. Формирование морского льда в полыньях приводило к опусканию плотной соленой холодной воды и апвеллингу подповерхностных трансформированных атлантических вод (Ivanov, Golovin, 2007).

Позже 15.4 тыс. лет назад, исходя из содержания вида-индекса Cassidulina neoteretis, увеличилась интенсивность апвеллинга более теплых, богатых питательными веществами "атлантических" вод, что повлияло на улучшение условий для жизни бентоса. В нашем разрезе в интервале времени 14.7—15.4 тыс. лет назад отмечается сильное влияние северной ветви атлантического течения, поступающей через пролив Фрама (Bauch et al., 2001b; Rasmussen et al., 2007), при этом восточная ветвь течения, проходящая через баренцевоморский шельф, в то время не существовала (Lubinski et al., 2001).

Наличие в комплексе фораминифер в основном арктических и оппортунистических видов говорит о схожести суровых природных условий с предыдущим интервалом. В области континентального склона продолжал существовать холодноводный морской бассейн с плотным сезонным ледовым покровом.

В период потепления бёллинга-аллерёда (13.2—14.7 тыс. лет назад) комплекс фораминифер стал более разнообразным и многочисленным, что может соответствовать переходу к более открытым ледовым условиям и росту продуктивности. Однако большой численности достигли виды, свидетельствующие о неравномерном по-

ступлении питательных веществ, то есть о сильно выраженной сезонности. Также в этом интервале дает максимальные пики оппортунистический вид Elphidium clavatum — показатель стрессовых условий для бентосной фауны (мутность вод, стратификация), вызванных активной береговой эрозией за счет усиления речного стока, что подтверждается максимальным содержанием органического углерода (преимущественно терригенного по происхождению) (Taldenkova et al., 2012).

На протяжении бёллинга-аллерёда в исследуемом разрезе установлено максимальное содержание С. neoteretis, что характерно и для колонок с западного и северного континентального склона Шпицбергена (Ślubowska et al., 2005; Ślubowska-Woldengen et al., 2007). Вследствие быстрого подъема уровня моря произошло затопление шельфа, а место положения колонки на континентальном склоне оказалось в пределах распространения промежуточных трансформированных атлантических вод северной ветви течения. Наличие восточной, баренцевоморской, ветви остается под вопросом, хотя троги в северных частях Баренцева и Карского морей должны были освободиться от ледника (Lubinski et al., 2001).

Результатом потепления климата и усиления флювиального влияния стало увеличение численности фораминифер до максимальных значений около 13 тыс. лет назад, что совпало с ростом доли Cassidulina reniforme до 90%. В это время в море Лаптевых по изотопному составу кислорода раковин планктонных фораминифер отмечено чрезвычайно резкое увеличение поступления пресных вод (Spielhagen et al., 2005). Одновременно наблюдается увеличение содержания эвригалинных и солоноватоводных остракод (Taldenkova et al., 2012). Однако в промежутке 13.0—12.0 тыс. лет назад присутствие С. neoteretis указывает на существование трансформированного атлантического течения.

Событие опреснения в море Лаптевых, нашедшее отражение в комплексе микрофоссилий, коррелируется с открытием Берингова пролива и разгрузкой вод приледникового озера Агассис 13.0 тыс. лет назад (Polyak et al., 2007; Bradley, England, 2008). Таким образом, привнос пресных вод в Северный Ледовитый океан в комбинации с повышением уровня моря и началом активного затопления шельфа привел к сокращению влияния атлантических вод в месте расположения колонки, по всей видимости, в результате их смещения далеко от склона.

Позже 12.0 тыс. лет назад и до 5.4 тыс. лет назад С. neoteretis практически пропадает из разреза. Это служит подтверждением ряда природных изменений. Во-первых, происходило формирование опресненной шельфовой водной массы, которая смешивалась с водами открытого моря, что

создавало условия, которые этот вид старается избегать. Во-вторых, именно в это время отмечается смена пути преимущественного поступления трансформированных атлантических вод в Арктику с северного, через пролив Фрама, на восточный, через освободившееся ото льдов Баренцево море (Lubinski et al., 2001).

В целом период перехода от позднего дриаса к голоцену характеризуется повышенной инсоляцией, постепенным потеплением и ростом продуктивности, что отразилось на составе сообщества фораминифер. В нем увеличивается группа видов внешнего шельфа и континентального склона, а также видов, отражающих высокую сезонную продуктивность, например Nonion labradoricum. Похоже, что в это время граница сезонных льдов находилась вблизи колонки.

Ранний голоцен совпадает с последним этапом трансгрессии, в результате которой уровень моря достиг современных отметок (Bauch et al., 2001а), что привело к окончательному формированию акватории моря Лаптевых. Произошло смещение депоцентров осадконакопления на юг, в сторону мелководного шельфа, что стало причиной резкого снижения скоростей седиментации на континентальном склоне со 120 до 5 см/тыс. лет.

Появление Melonis barleeanus – инфаунного вида, питающегося частично разложившимся органическим веществом, однозначно свидетельствует об установлении глубоководных условий. На протяжении первой половины голоцена в Арктике был сильно сокращен ледовый покров и существовали периоды, когда летом обширные части Северного Ледовитого океана были свободны ото льда (Jakobsson et al., 2010; Polyak et al., 2010). Низкое процентное содержание видов, свидетельствующих о продуктивности на границе таяния морского льда, может быть индикатором потепления поверхностных вод и перемещения летней границы дрейфующих льдов к северу от места расположения колонки. Это предположение подкрепляется практически полным отсутствием материала ледового разноса.

Позже 5.4 тыс. лет назад в сообществе преобладают две основные группы: (1) внешнего шельфа и континентального склона и (2) опресненного мелководного шельфа. Такое соотношение видов фораминифер свидетельствует о нормальноморских условиях в месте расположения колонки, куда вместе с ледовым разносом попадали виды с мелководья. Они вместе с обломками пород вмерзали в новообразованный лед в прибрежной зоне во время осенних штормов, а потом приносились к сезонной границе дрейфующих льдов, включались в их состав и мигрировали по пути Трансполярного дрейфа, частично вытаивая по пути (Reimnitz et al., 1994; Eicken et al., 1997). Чем

ближе к берегу располагается сезонная граница дрейфующих льдов (т.е. чем холоднее климат), тем больше включенных в лед раковин мелководных видов сможет вытаять и попасть на дно следующим летом в пределах внешнего шельфа и континентального склона, вместо того, чтобы быть унесенными с Трансполярным дрейфом в океан. Соответственно, увеличение количества раковин данных видов в составе позднеголоценового комплекса бентосных фораминифер колонки PS51/154 свидетельствует о похолодании климата.

Среди фораминифер увеличивается численность видов, ведущих прикрепленный образ жизни, для них местом обитания служит материал ледового разноса. В последнем интервале наблюдается несколько его пиков, которые коррелируются с пиками численности планктонных фораминифер и С. neoteretis. Процентная доля последнего вида в конце голоцена не превышает 10% по сравнению с 20—60% во время эпохи дегляциации. Это связано с тем, что в голоцене кроме ветви атлантического течения, проникающей через пролив Фрама, набирает силу ветвь течения через баренцевоморский шельф. Они обе смешиваются в поток, достигающий континентальный склон моря Лаптевых в среднем и позднем голоцене.

#### ВЫВОДЫ

На основе изучения численности и состава экологических групп бентосных и планктонных фораминифер и отдельных видов, преобладающих в Северной Атлантике и окраинных шельфовых морях Арктики, удалось реконструировать условия окружающей среды и выделить основные этапы развития континентальной окраины моря Лаптевых за последние 17.6 тыс. лет.

Нижняя часть колонки, где раковины фораминифер в основном отсутствуют, соответствует коншу ранней дегляциации с холодноводными морскими условиями, тяжелой ледовой обстановкой и стратификацией водных масс. В это время на континентальный склон активно поступал терригенный материал, выносимый реками с осущенного шельфа, а также айсбергами, поставлявшимися ледниковыми шапками Северной Земли и разрушающимся Баренцево-Карским ледником.

По обилию планктонных фораминифер и бентосному виду-индексу Cassidulina neoteretis на западном континентальном склоне моря Лаптевых отмечается присутствие трансформированных атлантических водных масс, влияние которых в периоды 12.0—14.7 и 0.6—5.4 тыс. лет назад достигало наибольшей интенсивности. Во время потепления бёллинга-аллерёда (13.2—14.7 тыс. лет назад) сложились стрессовые условия для фораминифер, бентосное сообщество адаптировалось к влиянию

шельфовых водных масс, появившихся в результате быстрого подъема моря и затопления новых территорий. Максимальная численность фораминифер, наблюдающаяся в моновидовом сообществе Cassidulina reniforme, отмечает в море Лаптевых сильное опреснение около 13 тыс. лет назад. Этот эпизод коррелируется с пресноводными событиями в других районах Арктики и началом похолодания позднего дриаса.

Резкое сокращение планктонных видов и исчезновение С. neoteretis в период с 12.0 до 5.4 тыс. лет назад отражает ослабление роли трансформированного атлантического течения на континентальном склоне за счет увеличения влияния шельфовых вод в результате продолжавшейся трансгрессии.

Переход к голоцену связан с увеличением роли Nonion labradoricum и других видов, отражающих высокую сезонную продуктивность у края льдов, а рост количества видов группы внешнего шельфа и континентального склона говорит о сокращении речного влияния.

В период климатического оптимума голоцена 7.2—10.2 тыс. лет назад в сообществе фораминифер наблюдается переход к современному комплексу: на континентальном склоне резко падают скорости седиментации и сокращается поступление терригенного материала за счет затопления мелководного шельфа.

Позже 5.4 тыс. лет назад происходит становление современных условий: похолодание климата и увеличение ледовитости в летний период. В сообществе преобладают две основные группы: (1) внешнего шельфа и континентального склона и (2) опресненного мелководного шельфа. Такое соотношение видов фораминифер свидетельствует о нормально-морских условиях в месте расположения колонки, куда вместе с ледовым разносом попадали виды с мелководья.

Благодарности. Авторы выражают благодарность директору д-ру Х.М. Кассенс, грантерам и сотрудникам лаборатории им. Отто Шмидта в ААНИИ (Санкт-Петербург) за помощь в обработке материала, сотрудникам лаборатории приборной аналитики ПИН РАН за помощь в фотографировании на электронном микроскопе, Михаэлю Хаземану за сотрудничество в области популяризации науки на сайте www.foraminifera.eu. Авторы признательны за помощь в исследованиях и консультации И.А. Погодиной, безвременно ушедшей в 2011 г.

Исследования проводились при поддержке стипендиальных программ российско-германской лаборатории по морским и полярным исследованиям им. Отто Шмидта, грантов РФФИ (08-05-00849, 11-05-01091 и 15-05-08497) и ИНТАС (проект 03-51-6682). Работа выполнена в рамках госзадания "Биостратиграфия и корреляция геологиче-

ских событий Арктического сектора России по микрофоссилиям".

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Дмитренко И.А., Хьюлеманн Й.А., Кириллов С.А. и др. Роль баротропных изменений уровня моря в формировании режима течений на шельфе восточной части моря Лаптевых // Докл. АН. 2001. Т. 377. № 1. С. 101—107.

Добровольский А.Д., Залогин Б.С. Моря СССР. М.: Изд-во МГУ, 1982. 192 с.

Клювиткина Т.С., Новичкова Е.А., Полякова Е.И., Матический Морей Евразии и их значение для палеоокеанологических реконструкций позднего плейстоцена и голоцена (на примере морей Белого и Лаптевых) // Система моря Лаптевых и прилегающих арктических морей: современные условия и палеоклимат. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2009. С. 448—466.

Корсун С.А., Погодина И.А., Тарасов Г.А., Матишов Г.Г. Фораминиферы Баренцева моря (гидробиология и четвертичная палеоэкология). Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 1994. 136 с.

Лукина Т.Г. Особенности распределения фораминифер в море Лаптевых // Фауна и экосистемы моря Лаптевых и сопредельных глубоководных участков арктического бассейна // Исследования фауны морей. 2004. Т. 54 (62). С. 86—123.

*Матуль А.Г., Хусид Т.А., Мухина В.В. и др.* Современные и позднеголоценовые природные условия на шельфе юго-восточной части моря Лаптевых по данным микрофоссилий // Океанология. 2007. Т. 47. № 1. С. 90-101.

Погодина И.А., Талденкова Е.Е., Баух Х.А., Овсепян Я.С. Постгляциальная эволюция внешнего шельфа моря Лаптевых по материалам изучения бентосных фораминифер // Геология и геоэкология континентальных окраин Евразии. Вып. І. М.: Геос, 2009. С. 74—88.

Система моря Лаптевых и прилегающих арктических морей: современные условия и палеоклимат. Отв. ред. Кассенс X., Лисицын А.П., Тиде Й. и др. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2009. 608 с.

Талденкова Е.Е., Баух Х.А., Степанова А.Ю. и др. Изменения палеосреды шельфов морей Лаптевых и Карского в ходе послеледниковой трансгрессии (по ископаемой бентосной фауне) // Система моря Лаптевых и прилегающих арктических морей: современные условия и палеоклимат. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2009. С. 384—409.

Таманова С.В. Видовой состав современных фораминифер как индикатор гидрологического режима арктических морей // Северный Ледовитый океан и его побережье в кайнозое. Л.: Гидрометеоиздат, 1970. С. 199—203.

*Таманова С.В.* Фораминиферы моря Лаптевых // Геология моря. Л.: НИИГА, 1971. Вып. 1. С. 54–63.

Чистякова Н.О., Иванова Е.В., Рисебробаккен Б. и др. Реконструкция послеледниковых обстановок в югозападной части Баренцева моря по комплексам фораминифер // Океанология. 2010. Т. 50. № 4. С. 608—617.

*Шедрина З.Г.* К фауне корненожек Полярных морей СССР // Труды Арктического института. 1936. Т. 33. С. 51-64.

*Bauch H.A.*, *Polyakova Ye. I.* Diatom-inferred salinity records from the Arctic Siberian margin: implications for fluvial runoff patterns during the Holocene // Paleoceanography. 2003. V. 18. № 2. P. 501–510.

Bauch H.A., Kubisch-Popp M.K., Cronin T.M., Rossak B. A Study of the calcareous microfauna from Laptev Sea sediments // Berichte zur Polarforschung. 1995. V. 176.

*Bauch H.A., Kassens H., Erlenkeuser H. et al.* Depositional environment of the Laptev Sea (Arctic Siberia) during the Holocene // Boreas. 1999. V. 28. P. 194–204.

*Bauch H.A., Mueller-Lupp T., Taldenkova E. et al.* Chronology of the Holocene transgression at the North Siberian margin // Global Planet. Change. 2001a. V. 31. P. 125–139.

Bauch H.A., Erlenkeuser H., Spielhagen R.F. et al. A multiproxy reconstruction of the evolution of deep and surface waters in the subarctic Nordic seas over the last 30.000 yr // Quaternary Sci. Rev. 2001b. V. 20. P. 659–678.

*Bradley R.S., England J.H.* The Younger Dryas and the sea of ancient ice // Quaternary Res. 2008. V. 70. P. 1–10.

*Bude S.-O.* Artengemeinschaften bentischer Foraminiferen in der Laptev-See, sibirische Arktis: Rezent Verteilungsmuster und Okologie. Unpubl. M. Sci. Thesis. Kiel University, 1997.

Caralp M.H. Size and morphology of the benthic foraminifer Melonis barleeanum: relationships with marine organic matter // J. Foraminiferal Res. 1989. V. 19. № 3. P. 235–245.

*Dennison J.M., Hay W.W.* Estimating the needed sampling area for subaquatic ecologic studies // J. Paleontol. 1967. V. 41. P. 706–708.

*Dmitrenko I.A., Kirillov S.A., Tremblay L.B. et al.* Impact of the Arctic Ocean Atlantic water layer on Siberian shelf hydrography // J. Geophys. Res. 2010. V. 115. C08010.

Eicken H., Reimnitz E., Alexandrov V. et al. Sea-ice processes in the Laptev Sea and their importance for sediment export // Cont. Shelf Res. 1997. V. 17 (2). P. 205–233.

Fairbanks R.G., Mortlock R.A., Chiu T.-Ch. et al. Radiocarbon calibration curve spanning 0 to 50,000 years BP based on paired <sup>230</sup>Th/<sup>234</sup>U/<sup>238</sup>U and <sup>14</sup>C dates on pristine corals // Quaternary Sci. Rev. 2005. V. 24. P. 1781–1796.

*Fatela F., Taborda R.* Confidence limits of species proportions in microfossil assemblages // Marine Micropaleontol. 2002. V. 45. P. 169–174.

Hald M., Steinsund P.I., Dokken T. et al. Recent and Late Quaternary distribution of Elphidium excavatum f. clavatum in the Arctic seas // Cushman Found. Spec. Publ. 1994. V. 32. P. 141–153.

*Hubberten H.W., Andreev A., Astakhov V.I. et al.* The periglacial climate and environment in northern Eurasia during the Last Glaciation // Quaternary Sci. Rev. 2004. V. 23 (11–13). P. 1333–1357.

*Ivanov V.V., Golovin P.N.* Observations and modeling of dense water cascading from the northwestern Laptev Sea shelf // J. Geophys. Res. 2007. V. 112. C09003.

Jakobsson M., Long A., Ingólfsson Ó. et al. New insights on Arctic Quaternary climate variability from palaeo-records and numerical modeling // Quaternary Sci. Rev. 2010. V. 29. P. 3349–3358.

Kassens H., Karpiy V.Y. and the Shipboard Scientific Party Russian-German Cooperation: The Transdrift I Expedition to the Laptev Sea // Berichte zum Polarforschung. 1994. V. 1. 168 p.

Knudsen K.L., Seidenkrantz M.-S. Stainforthia feylingi new species from arctic to subarctic environments, previously recorded as Stainforthia schreibersiana (Czjzek) // Cushman Found. Foraminiferal Res. Spec. Publ. 1994. V. 32. P. 5–13.

Knudsen K.L., Stabell B., Seidenkrantz M.-S. et al. Deglacial and Holocene conditions in northernmost Baffin Bay: sediments, foraminifera, diatoms and stable isotopes // Boreas. 2008. V. 37. P. 346–376.

Land—ocean systems in the Siberian Arctic: dynamics and history. Eds. Kassens H., Bauch H.A., Dmitrenko I. A. et al. Berlin: Springer, 1999. 712 p.

*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 <sup>14</sup>C ka: foraminifera and stable isotopes // Quaternary Sci. Rev. 2001. V. 20. P. 1851–1879.

*Lukina T.G.* Foraminifera of the Laptev Sea // Protistology. 2001. V. 2 (2). P. 105–122.

*Murray J.* Ecology and application of benthic foraminifera. New York: Cambridge University Press, 2006. P. 426.

*Naidina O.D., Bauch H.A.* Early to middle Holocene pollen record from the Laptev Sea (Arctic Siberia) // Quaternary Int. 2011. T. 229.  $\mathbb{N}$  1–2. C. 84–88.

Østby K., Nagy J. Foraminiferal distribution in the western Barents Sea, Recent and Quaternary // Polar Res. 1982. V. 1982. № 1. P. 53–87.

*Polyak L., Korsun S., Febo L. et al.* Benthic foraminiferal assemblages from the southern Kara Sea, a river-influenced Arctic marine environment // J. Foraminiferal Res. 2002. V. 32. № 3. P. 252–273.

Polyak L., Darby D.A., Bischof J.F., Jakobsson M. Stratigraphic constraints on late Pleistocene glacial erosion and deglaciation of the Chukchi margin, Arctic Ocean // Quaternary Res. 2007. V. 67. P. 234–245.

*Polyak L., Alley R., Andrews J.T. et al.* History of sea ice in the Arctic // Quaternary Sci. Rev. 2010. V. 29 (15–16). P. 1757–1778.

*Polyakova Ye.I., Bauch H.A., Novichkova T.S.* Past changes in Laptev Sea water masses deduced from diatom and aquatic palynomorph assemblages // Global Planet. Change. 2005. V. 48 (1–3). P. 208–222.

Polyakova Ye.I., Klyuvitkina T.S., Golovnina E.A. et al. High-resolution reconstruction of Lena river discharge during the late Holocene inferred from microalgae assemblages // Polarforschung. 2006. V. 75. P. 83–90.

Rasmussen T.L., Thomsen E., Ślubowska M.A. et al. Paleoceanographic evolution of the SW Svalbard margin (76°N) since 20.000<sup>14</sup>C yr BP // Quaternary Res. 2007. V. 67. P. 100–114.

Reimnitz E., Dethleff D., Nürnberg D. Contrasts in Arctic shelf sea-ice regimes and some implications: Beaufort Sea versus Laptev Sea // Marine Geol. 1994. V. 119. P. 215—225.

Rudels B., Jones E.P., Schauer U., Eriksson P. Atlantic sources of the Arctic Ocean surface and halocline waters // Polar Res. 2004. V. 23 (2). P. 181–208.

Ślubowska M.A., Koç 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 // Palaeoceanography. 2005. V. 20. PA4014.

Ślubowska-Woldengen M., Rasmussen T.L., Koç N. et al. Advection of Atlantic Water to the western and northern Svalbard shelf since 17.500 cal yr BP // Quaternary Sci. Rev. 2007. V. 26. P. 463–478.

Spielhagen R.F., Erlenkeuser H., Siegert C. History of freshwater runoff across the Laptev Sea (Arctic) during the last deglaciation // Global Planet. Change. 2005. V. 48 (1–3). P. 187–207.

Steinsund P.I., Hald M. Recent calcium carbonate dissolution in the Barents Sea: paleoceanographic applications // Marine Geol. 1994. V. 117. P. 303–316.

Stepanova A. Yu. Late Pleistocene—Holocene and Recent Ostracoda of the Laptev Sea and their importance for pale-oenvironmental reconstructions // Monograph Suppl. Iss. Rus. Paleontol. J. 2006. V. 40 (2). P. 91–204.

Stepanova A. Yu., Taldenkova E.E., Bauch H.A. Ostracod palaeoecology and environmental change in the Laptev and Kara seas (Siberian Arctic) during the last 18 000 years // Boreas. 2012. V. 41 (4). P. 557–577.

Svendsen J.I., Alexanderson H., Astakhov V.I. et al. Late Quaternary ice sheet history of eastern Eurasia // Quaternary Sci. Rev. 2004. V. 23. P. 1229—1271.

*Taldenkova E., Bauch H.A., Stepanova A. et al.* Last postglacial environmental evolution of the Laptev Sea shelf as reflected in molluscan, ostracodal and foraminiferal faunas // Global Planet. Change. 2005. V. 48 (1–3). P. 223–251.

*Taldenkova E., Bauch H.A., Stepanova A. et al.* Postglacial to Holocene history of the Laptev Sea continental margin: Palaeoenvironmental implications of benthic assemblages // Quaternary Int. 2008. V. 183. P. 40–60.

Taldenkova E., Bauch H.A., Gottschalk J. et al. History of ice-rafting and water mass evolution at the North Siberian continental margin (Laptev Sea) during Late Glacial and Holocene times // Quaternary Sci. Rev. 2010. V. 29. P. 3919—3935.

*Taldenkova E., Bauch H.A., Stepanova A. et al.* Benthic community changes at the North Siberian margin in response to Atlantic water mass variability since last deglacial times // Marine Micropaleontol. 2012. V. 96–97. P. 13–28. *Todd R., Low D.* Foraminifera from the Arctic Ocean off the eastern Siberian coast // U.S. Geol. Surv. Prof. Pap. 1966. № 550. C. P. 79–85.

*Volkmann R.* Planktic foraminifers in the outer Laptev Sea and the Fram Strait − modern distribution and ecology // J. Foraminiferal Res. 2000. V. 30. № 3. P. 157–176.

Wollenburg J., Mackensen A. Living benthic foraminifers from the central Arctic Ocean: faunal composition, standing stock and diversity // Marine Micropaleontol. 1998. V. 34 (3–4). P. 153–185.

Wollenburg J.E., Knies J., Mackensen A. High-resolution paleoproductivity fluctuations during the past 24 kyr as indicated by benthic foraminifera in the marginal Arctic Ocean // Palaeogeogr. Palaeoclim. Palaeoecol. 2004. V. 204. P. 209–238.

Рецензенты М.Е. Былинская, В.С. Вишневская