

УДК 551.461.8–922

Н.В. БЕЛЯЕВА, Т.А. ХУСИД, М.П. ЧЕХОВСКАЯ

## КЛИМАТИЧЕСКИЕ СОБЫТИЯ И ИЗМЕНЕНИЯ ЦИРКУЛЯЦИИ В ПЛЕЙСТОЦЕНЕ В ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ СЕВЕРНОГО ЛЕДОВИТОГО ОКЕАНА

Полярные океаны – это ключевые регионы, определяющие эволюцию глобального климата и изменения океанической циркуляции в плейстоцене. Ледниково-межледниковые колебания в них достигают наибольшей амплитуды. Поэтому палеореконструкции океанской среды полярных регионов важны для понимания истории климата и эволюции океанографической обстановки.

Изменения климата и связанных с ним океанических процессов отражаются в изменениях характера осадков (гранулометрический, минералогический состав, текстура, влажность) и скоростей осадконакопления. Ценным показателем смены климатических событий служат смены сообществ фауны и флоры. В донных осадках Северного Ледовитого океана видовые составы микрофлоры и микрофауны сильно обеднены. В толще осадков отсутствуют радиолярии, диатомовые водоросли, редки динофлагеллаты, кокколиты. Единственная группа представителей органического мира, которая широко представлена в Северном Ледовитом океане в настоящее время и хорошо сохраняется в плейстоценовых осадках – это фораминиферы (планктонные и бентосные).

Изучению бентосных и планктонных фораминифер в верхнечетвертичных осадках Северного Ледовитого океана с целью восстановления условий, существовавших в поверхностных и придонных водах, посвящена настоящая статья.

### МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Распределение бентосных и планктонных фораминифер было изучено в двух колонках донных отложений, взятых в центральной части Северного Ледовитого океана, в районе хр. Менделеева. Колонки получены на дрейфующей станции СП-26 Е.В. Телепневым в 1983 г. Колонка 34 (79°22' с.ш., 178°27' з.д.) взята на глубине 1397 м в районе распространения промежуточной водной массы. Длина колонки – 105 см. Колонка 18 (79°32' с.ш., 177°23' з.д.) взята на глубине 1710 м в области развития глубинных вод. Длина колонки – 88 см.

Возраст осадков определен как позднплейстоценовый. На палеомагнитной записи в колонке 34 на уровне 76 см обнаружена хорошо выраженная инверсия, соответствующая времени 730 тыс. л.н. (Данилов и др., 1991). Эта датировка позволяет определить среднюю скорость осадконакопления – 1,1 мм/1000 лет, что вполне согласуется

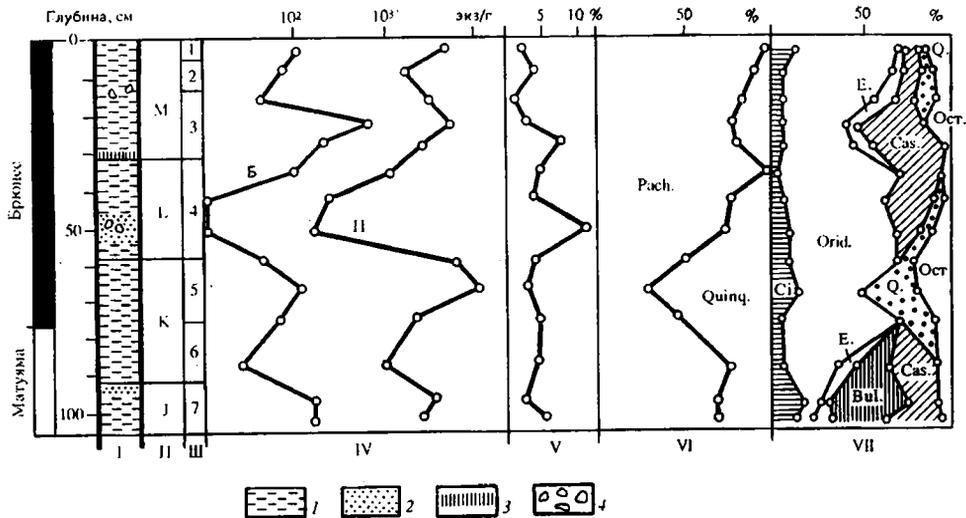


Рис. 1. Распределение фораминифер в колонке со станции 34

1. Литология: 1 – алевритистый лютит, 2 – песчаный лютит, 3 – осадки розового цвета, 4 – гравий; II. Литостратиграфические единицы (Clark et al., 1980); III. Горизонты; IV. Численность раковин бентосных (Б) и планктонных (П) фораминифер; V – процентное содержание бентосных фораминифер. Процентное содержание видов: VI – в планктонной ассоциации: Pach – *Neogloboquadri- na pachyderma*, Qinq. – *Globigerina quinqueloba*, Glut – *Globigerinita glutinata*; VII – в бентосной ассоциации: Q – *Quinqueloculina akneriana*, Cas. – *Cassidulina teretis*, Ci. – *Cibicides wuellerstorffi*, Orid. – *Oridorsalis tener*, E. – *Eponides tumidulus horvathi*, Bul. – *Bulimina aculeata*, T. – *Triloculina trihedra*; Ostr. – остальные виды

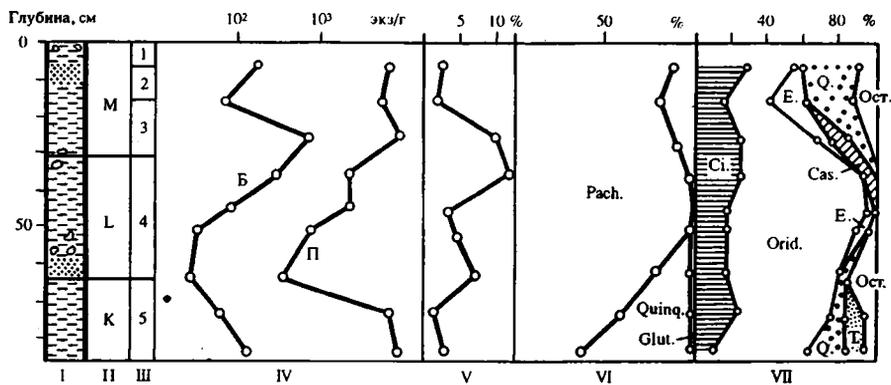


Рис. 2. Распределение фораминифер в колонке со станции 18

Условные обозначения те же, что и на рис. 1

со скоростями осадконакопления и датировками, известными для центральной части Арктического бассейна (Ku, Broecker, 1967; Steuerwald et al., 1968; Clark et al., 1980).

По литологическому составу (описание осадков проведено Е.В. Телпневым, ВНИИ океанология) в разрезе колонки 34 выделены четыре слоя: 0–31, 31–58, 58–92 и 92–105 см (рис. 1), которые сопоставляются со слоями М, К, L и J (Clark et al., 1980), средняя мощность которых составляет 27, 33, 33 и 16 см. В колонке 18 – три слоя: 0–31, 31–64, 64–88 см, соответствующие слоям М, К и L (рис. 2).

В названных колонках были детально изучены планктонные и бентосные фораминиферы.

ниферы, подсчитаны их общая и для каждого вида отдельно абсолютная и относительная численность в пробе в целом и во фракциях 0,5–0,25, 0,25–0,1 и 0,1–0,05 мм. Результаты представлены в виде суммарных оценок для пробы и фракций (в экз/г осадка).

Анализ сообществ бентосных и планктонных фораминифер дает информацию об условиях обитания живых форм и захоронения их раковин – циркуляции, продуктивности, температуре, солености, химизме поверхностных и придонных вод, скоростях осадконакопления.

Близость видового состава фораминифер в колонках донных отложений к видовому составу современной фауны позволяет с уверенностью использовать метод актуализма в палеоэкологических реконструкциях. При этом необходимо знание среды обитания и захоронения современных бентосных и планктонных фораминифер в Северном Ледовитом океане. Поэтому прежде, чем перейти к обсуждению результатов изучения фораминифер в колонках, целесообразно остановиться на особенностях современного распределения фораминифер в Северном Ледовитом океане и среде их обитания.

## ГИДРОЛОГИЯ СЕВЕРНОГО ЛЕДОВИТОГО ОКЕАНА

Северный Ледовитый океан значительно изолирован от остальных частей Мирового океана и круглый год покрыт мощным ледяным покровом. Для его структуры характерна четырехслойная стратификация вод (Степанов, 1983). Поверхностная и глубинная водные массы значительно тоньше, а придонная – аномально толще обычного. Поверхностные воды распространены только до глубины 50–100 м, сильно опреснены и имеют низкую температуру, близкую к точке замерзания. Промежуточная водная масса атлантического происхождения характеризуется повышенной температурой и высокой соленостью (температура – от 0 до 1°C, соленость – 34,92‰). Нижняя граница промежуточных вод отмечается на глубине 1500 м. Глубинная и придонная водные массы близки по своим свойствам, характеризуются низкой температурой, высокой соленостью (температура глубинных вод от –0,3 до –0,4°C, температура придонных вод составляет –0,3°C, соленость 34,99‰) и большей плотностью. Граница между ними проводится на глубине 2500–3000 м.

## СОВРЕМЕННЫЕ ФОРАМИНИФЕРЫ В СЕВЕРНОМ ЛЕДОВИТОМ ОКЕАНЕ

*Планктонные фораминиферы.* Ассоциация планктонных фораминифер в Северном Ледовитом океане практически моновидовая. В водах океана численность фораминифер колеблется от 1 до 464 экземпляров в 1000 м<sup>3</sup> воды (Be, 1960). Доминирующий представитель планктонных фораминифер – *Neoglobobulimina pachyderma* (Ehrenberg) левозавернутая. В популяции этого вида преобладают особи с крупными толстостенными раковинами, развитие которых проходит в промежуточных водах, на глубинах более 100 м. Молодые тонкостенные формы обитают в поверхностном слое воды. Помимо доминирующего вида в ассоциации редко встречается субарктический вид *Globigerina quinqueloba* Natland, который развивается в поверхностном слое воды (выше 50 м) при температуре более 5°C. Этот вид характеризуется широкой адаптацией к изменениям солености. Особи имеют очень мелкие (менее 0,1 мм) тонкостенные раковины. Кроме того в единичных экземплярах встречаются *Globigerina bulloides* d'Orbigny, *Globigerinita glutinata* (Egger), *N. pachyderma* правозавернутая. Все эти виды характерны для субарктических регионов.

В осадках Северного Ледовитого океана раковины планктонных фораминифер широко распространены и обнаружены в значительном количестве на хребтах, поднятиях и на дне глубоководных котловин. Доминирует вид *N. pachyderma* левозавернутая. Данные по количественному распределению в осадках Арктического бассейна

немногочисленные (Беляева, Хусид, 1984; Green, 1960). Число раковин вида составляет от первых десятков до 25000 экз./г., а доля его в планктонной ассоциации от 96 до 100%. Кроме *N. pachyderma* левозавернутой встречаются *G. quinqueloba* (максимальное значение численности – 211 экз.), *G. bulloides*, *N. pachyderma* правозавернутая.

**Бентосные фораминиферы.** Наиболее полная информация о видовом составе современных фораминифер и об их распределении в Арктическом бассейне и прилегающем Амеразийском шельфе дана в работах К. Грина и М. Лаго (Green, 1960; Lagoe, 1977, 1979). В результате детального анализа распространения разных видов бентосных фораминифер и их связи с окружающей средой М. Лаго удалось выделить сообщества, положение которых четко коррелируется с распределением поверхностных, промежуточных и глубинных водных масс. С промежуточными водами связано сообщество с руководящим видом *Cassidulina teretis* Tappan. В сообществе постоянно присутствуют виды *Cassidulina islandica* Norvang, *Eponides tumidulus horvathi* Green, *Oridorsalis tener* (Brady), *Quinqueloculina akneriana* d'Orbigny, *Triloculina trihedra* Loeblich and Tappan, *Cibicides wuellerstorfi* (Schwager), *Stetsonia horvathi* Green, *Bulimina aculeata* d'Orbigny. С глубинными и придонными водами коррелируются ассоциации с руководящими видами *O. tener*, *S. horvathi*. В глубинных водах часто встречаются *E. tumidulus horvathi*, *C. wuellerstorfi*, реже *Q. akneriana*.

Исследования в Норвежско-Гренландском бассейне и в Атлантическом океане показали, что *C. wuellerstorfi* ассоциируется с более продуктивными водами, а *O. tener* служит показателем "голодных" условий и достигает наибольшего изобилия в малопродуктивных районах (Лукашина, 1983; Belanger, Streeter, 1980; Jansen et al., 1983; Mackensen et al., 1985).

**Колонка 34** (см. рис. 1). Фораминиферы встречены по всему разрезу, их концентрации колеблются в пределах одного–двух порядков, планктонных – от сотен до десятков тысяч, бентосных – от единиц до тысячи экземпляров. Большой частью (26–100%) планктонные фораминиферы представлены раковинами левозавернутых *N. pachyderma*. Содержание *G. quinqueloba* колеблется по разрезу от 4 до 68%. Раковины *N. pachyderma* (правозавернутые) и *G. bulloides* не образуют высоких концентраций. Следует отметить, что колебания численности видов синхронны и совпадают с изменениями общей численности по разрезу.

Крупные раковины планктонных фораминифер (более 0,25 мм) составляют менее 1% от общего числа. Содержание раковин размером 0,25–0,1 мм и мелких, размером 0,1–0,05 мм, заметно меняется по разрезу, отражая изменения как в соотношении видов *N. pachyderma*, *G. quinqueloba*, так и в соотношении преобладающих размеров раковин этих видов. В ассоциации размерностью 0,25–0,1 мм основная часть представлена левозавернутой *N. pachyderma* 75–100%, а доля *G. quinqueloba* – 0–25%. Для мелкой фракции (0,1–0,05 мм) в разрезе отмечены максимальные содержания этих видов: *N. pachyderma* до 100% и *G. quinqueloba* до 97%.

Анализ изменений численности, а также соотношения отдельных видов в планктонных и бентосных ассоциациях, относительного содержания крупных и мелких раковин планктонных фораминифер позволяет выделить в разрезе фаунистические горизонты.

Горизонты VII, V, III и I (105–92, 76–58, 30–16 и 0–6 см) обогащены фауной, отличаются большим видовым разнообразием бентосных фораминифер. В ассоциации планктонных фораминифер наряду с левозавернутыми *N. pachyderma* в заметном количестве встречены правозавернутые формы вида, а также раковины *G. quinqueloba*. Такая структура ассоциации планктонных фораминифер говорит о повышении температуры поверхностных вод во время накопления этих горизонтов.

В бентосных ассоциациях здесь наряду с *O. tener* значительную роль играют *O. wuellerstorfi*, *C. teretis*, *B. aculeata*, *Q. akneriana*. Вид *C. wuellerstorfi* встречается постоянно во всех обогащенных горизонтах, хотя ни в одном он не становится до-

минирующим. Виды *C. teretis*, *Q. akneriana*, обычно встречающиеся в этих горизонтах, достигают максимальных относительных концентраций только в одном из них.

Фораминиферовая ассоциация гор. VII отличается наибольшим своеобразием бентосного сообщества в разрезе. Здесь значительного доминирования достигают виды теплых промежуточных вод. Преобладают *B. aculeata*, *C. teretis*; суммарное количество их раковин составляет 55–65%. В настоящее время *B. aculeata* имеет большую численность в высокопродуктивных районах океана, в подвижных гидродинамических условиях на грубозернистых осадках (Miller, Lohman, 1982; Mead, 1985). Видовой состав ассоциации гор. VII свидетельствует о распространении теплой водной массы с высокой продуктивностью, по-видимому, так же как и ныне имеющей атлантическое происхождение. В планктонной ассоциации этого горизонта присутствуют *Globoquadrina dutertrei* (d'Orbigny), *Globorotalia truncatulinoides* (d'Orbigny), *Globigerinoides ruber* (d'Orbigny), *Globigerinoides sacculifer* (Brady), что говорит об интенсификации поверхностных течений и притоке североатлантических вод в Арктический бассейн.

Для бентосной ассоциации обогащенного гор. V характерен вид *Q. asperiana*, раковины которого составляют в сумме около 40%. Сейчас этот вид в Арктическом бассейне обитает в теплых промежуточных водах и в верхней части более плотных холодных глубинных вод, и роль его в современных фаунистических комплексах второстепенная. По-видимому, во время формирования гор. V придонные воды отличались большей плотностью и более высокой соленостью. В этом горизонте своих максимальных абсолютных (6900 экз.) и относительных (68%) концентраций достигает планктонный вид *G. quinqueloba*. Развитие этого вида свидетельствует о значительном опреснении вод поверхностного слоя, что связано с таянием ледовых покровов и возрастанием влияния крупных рек Сибири и Канады.

В бентосной ассоциации гор. III доминирует вид *C. teretis* – индикатор теплых промежуточных вод современного Северного Ледовитого океана.

Ассоциация гор. I (поверхностного) имеет смешанный состав: в ней есть элементы фауны теплых промежуточных и холодных глубинных вод. Вероятно, при взятии колонки верхний слой был нарушен, поэтому определение его нижней границы затруднено.

В горизонтах VI, IV и II (92–76, 58–30 и 16–6 см) фораминиферовые ассоциации обеднены видами и характеризуются более низкой, на один–два порядка, численностью. Планктонные формы размером 0,1–0,05 мм составляют незначительную часть в сообществе. В бентосном сообществе доминирует (до 50–70%) *O. tener* – вид, характерный для холодных глубинных вод Северного Ледовитого океана. Низкие значения общей численности, обедненный видовой состав при резком преобладании этого вида позволяет судить о низкой продуктивности района во время формирования этих горизонтов. Наиболее сильно выражено господство руководящего бентосного вида при минимальных значениях общей численности фораминифер (ниже, чем в других обедненных горизонтах) в гор. IV, особенно в нижней его части.

Колонка 18 (см. рис. 2). Планктонные и бентосные фораминиферы встречены по всему разрезу. Направленность изменений общей численности и характеристики ассоциаций близки к описанным в разрезе колонки 34. Выделяются горизонты V, III и I (88–68, 30–20 и 10–0 см) с высокими концентрациями фораминифер. В гор. V отмечены максимальные значения их общей численности; более чем на половину ассоциация планктонных фораминифер представлена видом *G. quinqueloba*, присутствует вид *G. glutinata* (от I до 8%). Заметную роль в сообществе обогащенных горизонтов играют мелкие тонкостенные раковины – от 20 до 30% в гор. III и I, до 45% – в гор. V.

В осадках, обедненных фауной, фораминиферовые ассоциации характеризуются пониженной гор. – II (20–10 см) и минимальной гор. – IV (68–30 см) численностью. В гор. IV значительную часть сообщества составляют куммерформы, для тонкостенных мелких раковин всего 2–8%.

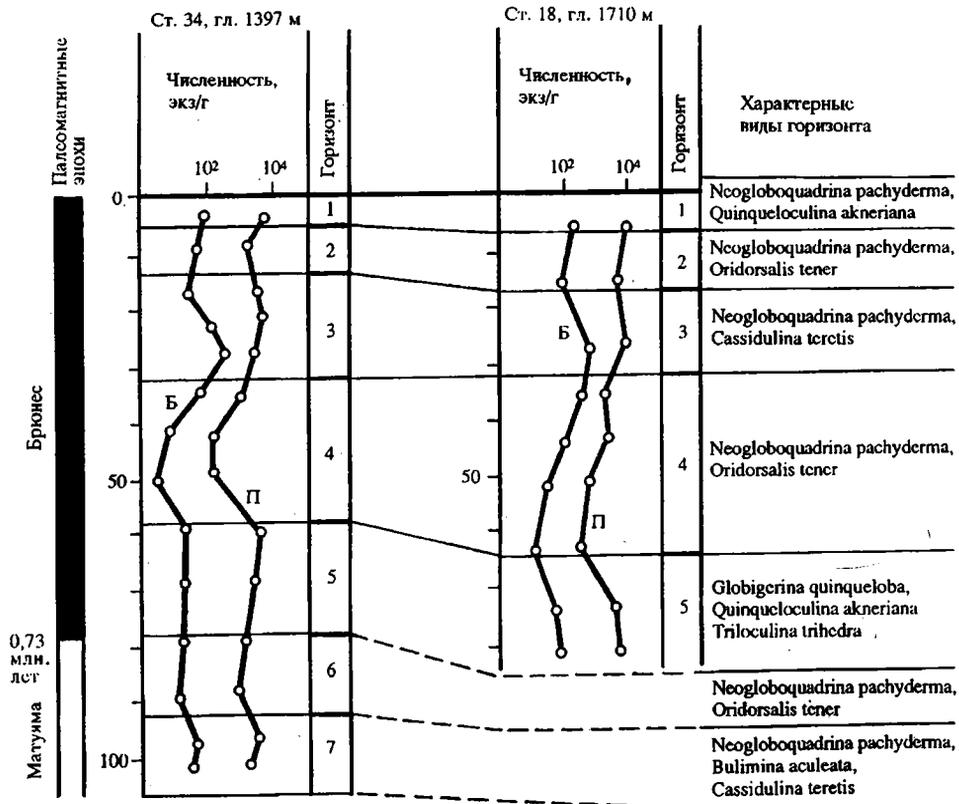


Рис. 3. Корреляция колонок Арктического бассейна

В составе бентосной фауны постоянно встречаются два вида: *O. tener*, *C. wuellerstorfi*. Роль этих видов меняется в разных горизонтах. Значение *O. tener* всегда высокое в обедненных горизонтах, где он составляет до 40–80%, в то время как в обогащенных – не более 20–40%. Напротив, относительное содержание *C. wuellerstorfi* всегда выше в обогащенных горизонтах – до 30%, а в обедненных никогда не превышает 20%. Отличительной чертой фораминиферовых ассоциаций обогащенных горизонтов является значительное видовое разнообразие. Здесь появляются виды, характерные для промежуточных вод. Заметную роль играют следующие виды: *G. akneriana*, *T. trihedra* – в гор. V, *C. teretis* – в гор. III, *Q. akneriana* – в гор. I.

**Сопоставление колонок.** В разрезе колонок наблюдается чередование горизонтов с высокой и низкой численностью раковин фораминифер. Фаунистические ассоциации обедненных горизонтов характеризуются низким видовым разнообразием, определенным повторяющимся комплексом и резким преобладанием двух видов: *N. pachyderma* в планктонной части ассоциации и *O. tener* в бентосной части (рис. 3).

Видовой состав фораминиферовых ассоциаций в обогащенных горизонтах всегда более разнообразный, степень доминирования руководящих видов низкая. В планктонной части, помимо *N. pachyderma* большую роль играет *G. quinqueloba*, особенно в гор. V обеих колонок. В составе бентосной части комплекса обогащенных осадков массовое развитие получают один–два вида, что свидетельствует о специфической экологической обстановке во время формирования горизонта. Эти виды являются общими для обеих колонок, однако их доля в формировании ассоциаций более мелководной колонки 34 выше, чем в ассоциациях колонки 18. Характерные виды бентос-

ной фауны обогащенных горизонтов свойственны теплым промежуточным водам: для гор. VII – это *B. aculeata*, *C. teretis*; для гор. V – *Q. akneriana*, *T. trihedra*, для гор. III – *C. teretis*, для гор. I – *O. akneriana* (см. рис. 3).

Возрасту 730 тыс. л.н. отвечает граница гор. V и VI, где фиксируется рубеж палеомагнитных эпох Брюнес и Матуяма. Средняя скорость осадконакопления в Арктическом океане 1,1 мм/1000 л. На основании этих данных продолжительность формирования гор. I, II, III и V около 100 тыс. л., гор. IV – 300 тыс. л.

## ВЫВОДЫ

Повсеместная встречаемость раковин планктонных и бентосных фораминифер в Северном Ледовитом океане в позднем плейстоцене говорит о благоприятных для их развития условиях во время накопления осадков. Изменения в составе и структуре сообществ отражают флуктуации климатических условий и связанные с ними перестройки общей циркуляции океана.

Формирование обедненных горизонтов (VI, IV и II) происходило в ледниковые периоды, когда мощность льда возрастала, большая часть суши осушалась, подо льдом затруднялся тепло- и газообмен, величина первичной продукции в поверхностных водах значительно снижалась. В это время арктические воды широко распространялись и проникали далеко на юг в Норвежское и Гренландское моря, при этом уменьшалось поступление атлантических вод не только в Арктической, но и в Норвежско-Гренландский бассейн. Область формирования североатлантических глубинных вод перемещалась из Норвежско-Гренландского бассейна в северо-восточную Атлантику (Duplessy et al., 1980; Duplessy, Shackleton, 1985). В результате этих процессов в Арктическом бассейне широко распространилась холодная глубинная водная масса, которая поднималась на меньшие глубины, предположительно до уровня 1300 м. По свойствам холодные глубинные воды были близки современным, но вследствие значительной редукции термогалинной циркуляции отличались слабой подвижностью. Преобладание устойчивых к растворению раковин *N. pachyderma* низкая численность мелких раковин в целом и *G. quinqueloba* в частности, позволяют говорить об агрессивности придонных вод по отношению к карбонатному веществу в эти периоды. Наиболее мощный покров льда и наибольшее ослабление скорости циркуляции поверхностных и придонных вод в Арктическом бассейне существовали во время формирования гор. IV.

Формирование обогащенных горизонтов происходило в межледниковые периоды, в условиях, сходных с современными. Для этих периодов характерны максимальные концентрации бентосных и планктонных фораминифер, обогащенный видовой состав, увеличение содержания (в гор. V преобладание) мелких раковин, что связано с оживлением поверхностной и придонной циркуляции, уменьшением объема льда, возрастанием продуктивности и меньшей степенью агрессивности придонных вод. Наибольшее оживление системы поверхностных течений приурочено ко времени формирования гор. VII.

Фаунистический состав комплексов бентосных фораминифер обогащенных горизонтов свидетельствует о широком распространении в океане теплых промежуточных вод, которые, как и в настоящее время, были развиты на глубинах от 500 до 1500 м.

Основной источник промежуточных вод в Арктическом бассейне – теплые соленые североатлантические воды, продукция которых возрастает в межледниковые эпохи (Streeter et al., 1982). Благодаря таянию части ледового покрова и лучшему прохождению света через лед значительно увеличивается органическая продукция поверхностных вод. Состав фаунистических ассоциаций позволяет отметить, что времени формирования отдельных обогащенных горизонтов сопутствовала специфическая

обстановка. В теплый межледниковый период, возможно, 800–840 тыс. л.н., продуктивность поверхностных вод была наиболее высокой (гор. VII). Максимальное потепление и значительное опреснение поверхностных вод наступило около 700 тыс. л.н. (гор. V). Об этом свидетельствует необычайно высокое для Арктического бассейна (более 50%) содержание *G. quinqueloba* и относительно высокое правозавернутых раковин *N. pachyderma*. Условия, наиболее близкие к современным, существовали 127–115 тыс. л.н. (гор. III). По составу и структуре фораминиферная ассоциация этого периода сходна с той, которая в настоящее время обитает в районе взятия колонок. Образование гор. I происходило во время последнего интенсивного потепления. Мощное поступление атлантических вод в Северный Ледовитый океан началось 13 тыс. л.н., и современный гидрологический режим сформировался около 10 тыс. л.н.

## ABSTRACT

The Quaternary history of the Arctic Ocean climate and hydrological variations is inferred using analyses of plankton and benthic foraminifera. Two cores from the central part of the Arctic Ocean have been investigated. The result of analyses demonstrate that foraminifera-rich layers are separated by foraminifera-poor layers.

The formation of foraminifera-poor layers took place during glacial period, when the total thickness of the ice cover had been increased, lower sea levels had caused the exposure of great part of the shelf. Surface productivity was low and there was poor oxygenation of the bottom. Within the glacial time interval cold waters were widespread and penetrated to depths 200–300 m. At this time more effective solution of calcium carbonate occurred as a result of weak deep water circulation.

The deposition of foraminifera-rich layers took place in interglacial periods. The ice thickness was less. The hydrological conditions are characterized by high productivity, more active surface and deep water circulation. The warm intermediate water mass was widespread. Bottom water erosion to carbonate was weak.

## ЛИТЕРАТУРА

- Беляева Н.В., Хусид Т.А. Особенности распределения известковых фораминифер в осадках Арктического бассейна // ДАН СССР. 1980. Т. 254, № 3. С. 697–700.
- Данилов Н.Д., Телепнев Е.А., Чузунов А.Б. и др. Результаты палеогеографического изучения донных осадков центральной части Северного Ледовитого океана (хребет Менделеева) // Океанология. 1991. Т. 31, вып. 1. С. 108–116.
- Лукашина Н.П. Распределение современных донных фораминифер в северо-восточной Атлантике // Там же. 1983. Т. 23, вып. 1. С. 100–105.
- Степанов В.Н. Океаносфера. М.: Мысль, 1983. 270 с.
- Be A. W. H. Some observations on Arctic planktonic foraminifera // Cushman Found. Forum. Res. Contrib. 1960. Vol. 11, pt. 2. P. 64–68.
- Belanger P. E., Streeter S. S. Distribution and ecology of benthic foraminifera in the Norwegian-Greenland Sea // Mar. Micropaleontol. 1980. Vol. 5. P. 401–428.
- Clark D., Whitman R., Mirgan K., Mackey S. Stratigraphy and glacial marine sediments of the Amerasian Basin, Central Arctic Ocean. Wash. (D.C.), 1980. 57 p. (Geol. Soc. Amer. Spec. Pap.; N 181).
- Duplessy J.-C., Moyers J., Pujol C. Deep water formation in the North Atlantic Ocean during the last ice age // Nature. 1980. Vol. 286, N 5770. P. 479–486.
- Duplessy J.-C., Shackleton N. J. Response of global deep-water circulation to Earth's climate change of 135 000–107 000 years ago // Ibid. 1985. Vol. 316, N 6028. P. 500–507.
- Green K. E. Ecology of some Arctic foraminifera // Micropaleontology. 1960. Vol. 6, N 1. P. 57–78.
- Jansen E., Erlenkenser H. Ocean circulation in the Norwegian Sea during the last deglaciation: Isotopic evidence // Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol. 1985. Vol. 49, N 3/4. P. 189–206.
- Jansen E., Sejrup H. P., Fjaeran T. et al. Late Weichselian paleoceanography of the Southeastern Norwegian Sea // Norw. geol. tidssk. 1983. Vol. 63. P. 117–146.

- Ku T.L., Broecker W.S.* Rates of desimentation in the Arctic Ocean // *Progress in oceanography*. L.: Pergamon press, 1967. Vol. 4. P. 95-104.
- Lagoë M.B.* Recent benthic foraminifera from the central Arctic Ocean // *J. Foram. Res.* 1977. Vol. 7, N 2. P. 106-131.
- Lagoë M.B.* Recent benthonic foraminiferal biofacies in the Arctic Ocean // *Micropaleontology*. 1979. Vol. 25, N 2. P. 214-224.
- Mackensen A., Sejrup H.P., Jansen E.* The distribution of living benthic foraminifera on the continental slope and rise of southwest Norway // *Mar. Micropaleontol.* 1985. Vol. 9. P. 275-306.
- Mead G.A.* Recent benthic foraminifera in the Polar Front region of the Southwest Atlantic // *Micro-paleontology*. 1985. Vol. 31, N 3. P. 221-248.
- Miller K., Lohman G.P.* Environmental distribution of recent benthic foraminifera on the northeast United States continental slope // *Bull. Geol. Soc. Amer.* 1982. Vol. 93, N 3. P. 200-206.
- Steuerwald B.A., Clark D.L., Andrew J.A.* Magnetic stratigraphy and faunal patterns in Arctic Ocean sediments // *Earth and Planet. Sci. Lett.* 1968. Vol. 5. P. 79-85.
- Streeter S.S., Belanger P.E., Kellog T.B., Duplessy J.-C.* Near-surface conditions and deep water overflow from the Norwegian-Greenland Sea: Benthic foraminiferal evidence // *Quatern. Res.* 1982. Vol. 18, N 1. P. 72-100.