

УДК 551.465

ДИНАМИКА ГЛУБИННЫХ ВОД В СУБПОЛЯРНОЙ СЕВЕРНОЙ АТЛАНТИКЕ В КОНЦЕ ЧЕТВЕРТИЧНОГО ПЕРИОДА

© 2018 г. Н. П. Лукашина*

Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Калининград, Россия

*e-mail: lukashinanp@mail.ru

Поступила в редакцию 29.07.2015 г.

После доработки 11.04.2016 г.

В субполярной Северной Атлантике были отобраны четыре седиментационные колонки. Все они идеально подходят для реконструкции динамики североатлантического меридионального переноса поверхностных и глубинных водных масс в позднечетвертичное время. Стратиграфия колонок была проведена на основании данных карбонатного анализа осадков, изучения планктонных фораминифер и изотопного состава кислорода по *Neogloboquadrina pachyderma* sin. Изучение комплексов бентосных фораминифер показывает значительные отличия в динамике глубинных вод позднечетвертичного времени от современных, главным образом связанных с водообменом между Северной Атлантикой и арктическими морями. Установлено, что в конце среднего – в большей части позднего плейстоцена глубинная циркуляция в субполярной Северной Атлантике была вялой, ее усиления происходили при дегляциациях. Во время оптимума последнего межледникового (МИС 5е) переток норвежской воды в Северную Атлантику осуществлялся в основном в ее западной части. Формирование современной глубинной воды в восточной части Северной Атлантики началось в конце последнего оледенения.

DOI: 10.1134/S0030157418040123

ВВЕДЕНИЕ

Важной составляющей Глобальной термогалинной циркуляции (ГТЦ) является формирование глубинной воды в субполярной Северной Атлантике – одним из ключевых регионов Мирового океана. Именно здесь осуществляется Североатлантический меридиональный перенос (САМП) водных масс, который существенно влияет на изменение климата Земли. Одним из двух основных компонентов в этой системе являются поверхностные воды Северо-Атлантического течения, которые проникают в Норвежско-Гренландский бассейн (НГБ), там охлаждаются и опускаются на большие глубины. А затем через Исландские пороги возвращаются в Северную Атлантику и, смешиваясь с другими водными массами, формируют северо-атлантическую глубинную воду (САГВ) – второй компонент САМП.

В настоящее время в восточной части Северной Атлантики, а точнее – в Исландской котловине за счет норвежской воды, переливающейся через Ирландский желоб и через Фареро-Исландский порог, образуется северо-восточная глубинная вода (СВГВ). Огибая хребет Рейкьянес, она попадает в Северо-Западную Атлантику. Здесь, к юго-востоку от Гренландии она смешивается с водой течения Ирмингера, с водой Во-

сточно-Гренландского течения и с лабradorской водой, в результате чего образуется САГВ [7, 60].

В ледниковые периоды САМП ослабевал. Арктические моря покрывались льдами, которые мешали продвижению на север поверхностного Северо-Атлантического течения, за счет чего течение Ирмингера отклонялось на запад, а не на северо-запад, как сейчас. В результате опускание теплой поверхностной воды и формирования глубинной воды (“опрокидывание”) происходило южнее – в самой субполярной Северной Атлантике [5, 56, 61]. Состав стабильных изотопов показывает, что в течение ледниковых максимумов объем САГВ сильно сокращался по сравнению с настоящим временем [23, 52–54, 60], в результате чего ГТЦ становилась менее интенсивной, чем в настоящее время.

Несмотря на то, что климатический оптимум последнего межледникового периода был похож на современный, циркуляция глубинных и поверхностных водных масс в Северной Атлантике была иной [22, 29, 31]. Предполагается, что ветвь поверхностного Северо-Атлантического течения – течение Ирмингера было мощнее, чем сейчас и теплая поверхностная вода проникала в Норвежско-Гренландский бассейн в основном над Гренландско-Исландским порогом [10, 12].

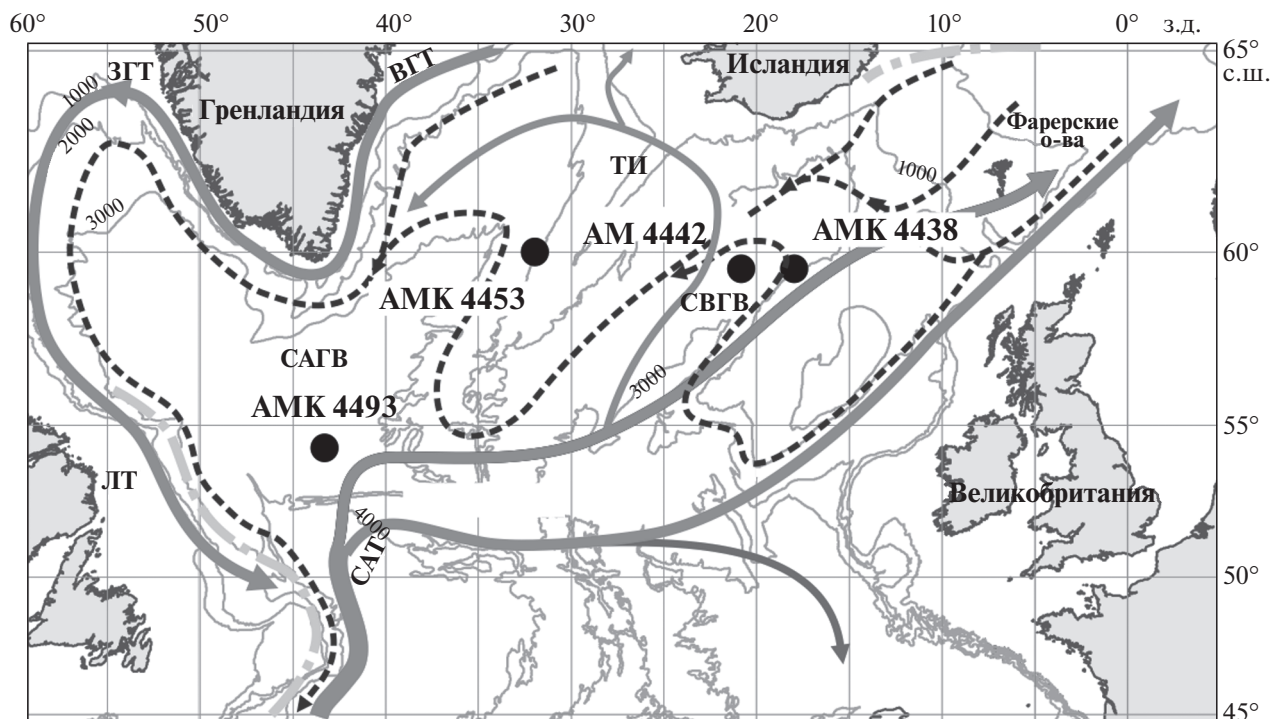


Рис. 1. Схема североатлантического меридионального переноса водных масс и расположение изученных колонок (7, 60). Сплошные линии – поверхностные течения, пунктирные – глубинные течения. САТ – северо атлантическое течение, ТИ – течение Ирмингера, ВГТ – Восточно-Гренландское течение, ЛГТ – Лабрадорское течение, САГВ – северо атлантическая глубинная вода, СВГВ – северо восточная глубинная вода.

Комплексы глубоководных бентосных фораминифер содержат информацию о глубинных океанских средах, и их смена в донных осадках демонстрирует значительные изменения в динамике водных масс в течение ледниковых-межледниковых циклов, особенно в Северной Атлантике. Задача настоящей работы заключается в том, чтобы на основании изучения бентосных фораминифер из субполярной Северной Атлантики выявить отличия позднечетвертичной глубинной циркуляции от современной, и обозначить причину этих отличий.

МАТЕРИАЛ

В 48-м рейсе НИС «Академик Мстислав Келдыш» в Северной Атлантике были взяты четыре колонки донных осадков. Точки отбора колонок находятся одновременно под влиянием как поверхностных, так и глубинных элементов САМП и поэтому идеально подходят для детальной реконструкции двух структурных зон. В северной части Исландской котловины в зоне распространения СВГВ были подняты две колонки – АМК 4438 и АМК 4442. Над первой из них проходит западная ветвь поверхностного Северо-Атлантического течения, а в глубинную зону поступает норвежская вода из Ирландского желоба, которая огиба-

ет плато Рокколл. Вторая колонка находится на пути распространения к югу норвежской воды, переливающейся через Фареро-Исландский порог (рис. 1).

Колонки АМК 4453 и АМК 4493 были взяты в западной части Северной Атлантики. Первая из них расположена у подножия западного склона хребта Рекиянес, вдоль которого из Исландской котловины на север проходит СВГВ. Колонка АМК-4493 была взята в Лабрадорском море, в зоне распространения САГВ с примесью лабradorской донной воды (табл. 1).

МЕТОДИКА

Стратиграфия колонок была проведена на основании изучения карбонатности осадка, комплексов планктонных фораминифер и изотопного состава кислорода по планктонному виду *Neogloboquadrina pachyderma* sin. (для всех колонок кроме АМК 4442) (рис. 2). Для нескольких горизонтов колонки АМК 4438 был определен абсолютный возраст методом избыточного тория – ^{230}Th изб. и радиоуглеродным методом (табл. 2).

Карбонатность осадков и планктонные фораминиферы изучалась в лаб. Геоэкологии АО ИО РАН [9, 42], изотопный состав кислорода определялся в лаборатории Кильского Университета по

Таблица 1. Расположение изученных колонок и количество изученных проб

№ п/п	Станция	Широта	Долгота	Глубина, м	Длина (см)	Кол-во изученных проб
1	АМК 4438	59°32'96	17°56'88	2242	308	160
2	АМК 4442	59°32'08	21°51'13	2787	286	143
3	АМК 4453	60°02'25	32°01'97	2448	217	120
4	АМК 4493	53°31'22	42°45'74	3547	369	184

гранту РФФИ № 12-05-00240-а, абсолютный возраст – в лаборатории Санкт-Петербургского государственного университета по тому же гранту. Уделялось внимание содержанию в осадках терригенного обломочного материала айсбергового разноса (IRD), скопления которого связаны с событиями Хайнриха [28].

Бентосные фораминиферы являются главным компонентом морских донных сообществ. На их распределение в глубоководных осадках Мирового океана оказывают влияние несколько факторов, среди которых наиболее важными являются поступление органического материала на морское дно и концентрация кислорода в придонном слое воды или в поровых водах [40, 66, 71]. Эти факторы определяют не только плотность населе-

ния бентосных фораминифер и их видовое разнообразие, но и видовой состав. Все бентосные организмы на дне делятся на эпифауну и инфауну. Как показывают исследования, все эпифаунные виды бентосных фораминифер требовательны к содержанию кислорода и предпочитают олиготрофную обстановку, тогда как инфаунные виды – наоборот – богатую органическим веществом среду и низкое содержание кислорода [24, 26]. Соотношение эпифауны и инфауны среди бентосных фораминифер является показателем степени “вентиляции” придонных водных масс [26, 33, 39, 40, 43].

Изменения в глубинной структурной зоне субполярной Северной Атлантики отразились в чередовании комплексов бентосных фораминифер

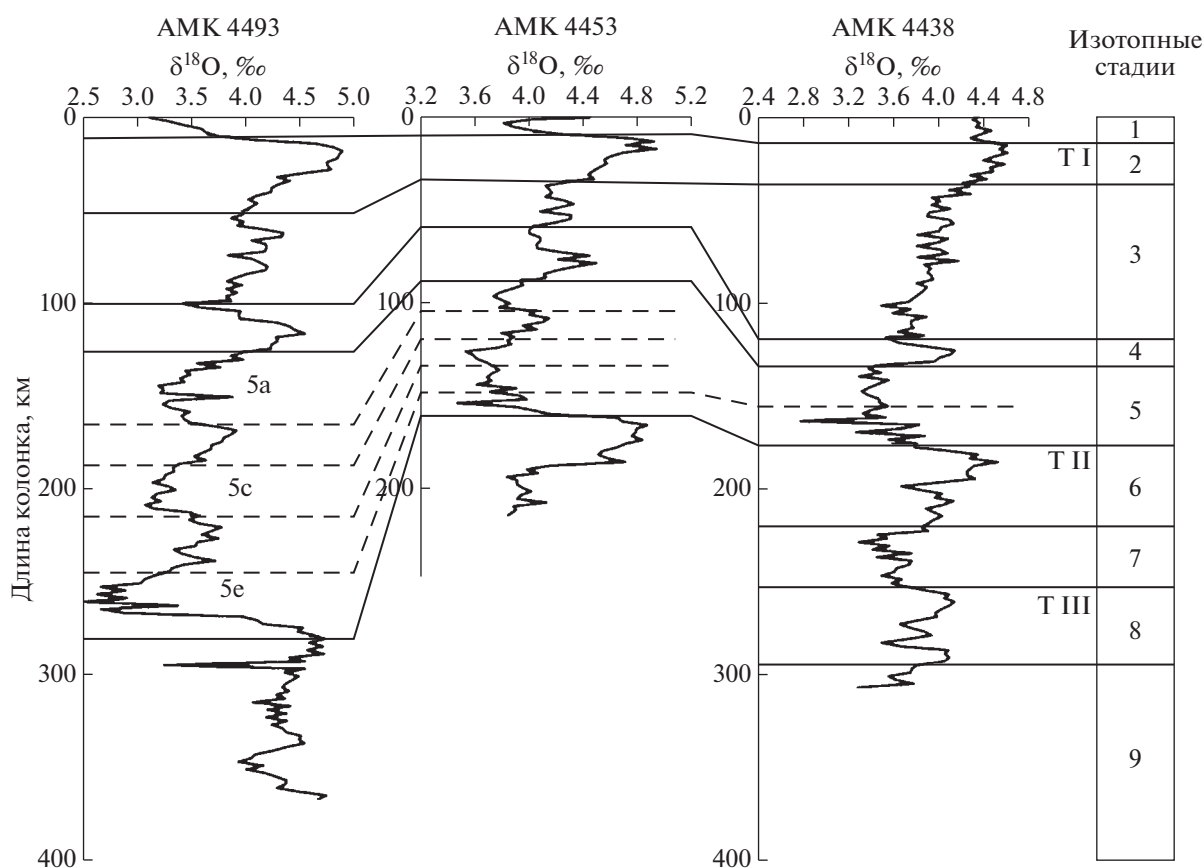


Рис. 2. Корреляция изученных колонок по изотопному составу кислорода в *Neoglobobulimina pachyderma* sin. Т I, Т II, Т III – терминации.

в ледниковых-межледниковых донных осадках. В результате изучения бентосных фораминифер нами было определено более 70 секретирующих и около 10 агглютинирующих видов. Видовой состав во всех колонках в значительной мере был одинаков. Доминирующими среди них, составляющими более 20% хотя бы в одном из интервалов разрезов были *Hoeglundina elegans*, *Planulina wuellerstorfi*, *Epistominella exigua*, *Oridorsalis umbonatus*, *Melonis pompilioides*, *Melonis barleeanum*, *Pullenia bulloides*, *Bulimina marginata*, *Uvigerina peregrina*, *Osangularia umbonifera*, *Eggerella bradyi*, комплексы цибицидесов, милиолид и агглютинирующих видов.

Hoeglundina elegans и *Planulina wuellerstorfi* являются эпифаунными видами [34, 45, 63]. *Hoeglundina elegans* в Северной Атлантике доминирует на глубинах от 2000 до 3500 м на южных склонах поднятия Роколл, на Срединно-Атлантическом хребте и на материковом склоне Северной Америки, которые омываются САГВ [30, 47, 68]. Строение ее арагонитовой раковины с маленькими порами подтверждает предпочтение *Hoeglundina elegans* в высокой концентрации кислорода [18]. *Planulina wuellerstorfi* в Северной Атлантике доминирует в тех же районах, что и *Hoeglundina elegans*, а кроме того — на склонах Норвежско-Гренландского бассейна, где ее численность достигает 30–60% [5, 70]. *Planulina wuellerstorfi* распространена там, где приток органического вещества на дно колеблется между 1 и 3 г/м⁻² год⁻¹ [8], а концентрация кислорода в донной воде составляет более 4 мл/л [43]. На склоне Северо-Западной Африки комплекс, в котором доминируют *Hoeglundina elegans* и *Planulina wuellerstorfi* характерен для олиготрофных условий с высоким содержанием кислорода в придонной воде [48].

Epistominella exigua является одним из самых распространенных видов Северной Атлантики. Она доминирует в Ирмингеровой, Исландской, Лабрадорской и в Западно-Европейской котловинах, где ее значение нередко превышает 50% [5]. Предполагается, что *Epistominella exigua* обитает в районах, где среднегодовое поступление органического вещества на дно не очень высоко. Но периодически, когда происходит сезонное цветение фитопланктона и увеличивается поступление свежего органического вещества, популяция этого вида быстро увеличивается [35, 67, 69, 71].

Oridorsalis umbonatus считается эпифаунным — мелкоинфаунным видом, распространенным в районах с холодной богатой кислородом донной водой, где приток органического вещества на дно достаточно низкий [20, 44, 49]. Вместе с *Epistominella exigua* в современной Северной Атлантике *Oridorsalis umbonatus* доминирует в осадках Лабрадорской котловины [5], где происходит сезонная эвтрофикация поверхностных вод [69]. Распро-

Таблица 2. ²³⁰Th и ¹⁴C датировки для колонки АМК-4438

Горизонт, см	Возраст ²³⁰ Th, тыс. л. н.	Возраст ¹⁴ C, тыс. л. н.
7–9	4.9 ± 1	3.415 ± 0.004
15–17		11.089 ± 0.037
27–29		18.934 ± 0.7
59–61	36.6 ± 6.5	
167–169	110.9 ± 10.2	
228–230	225.1 ± 21	

странение *Oridorsalis umbonatus* вместе с *Pyrgo murrhyna* коррелируется в Индийском океане со слабой пищевой доступностью [49]. В то же время в восточно-экваториальной части Тихого океана он преобладает в районах с высокой продуктивностью [39]. Очевидно, этот вид может быть толерантным к низкокислородным условиям [58].

Предполагается, что наиболее распространенный представитель милилид — *Pyrgo murrhyna* в Северной Атлантике приспособился к изменчивым условиям поступления органики [38] и предпочитает хорошо вентилируемые воды САГВ с высоким содержанием кислорода [27]. Милиолиды, а также разнообразные цибицидесы довольно широко распространены в современном Атлантическом океане, но их количество чаще всего не превышает 10%.

Bulimina aculeata является типичным мелководным инфаунным видом [64], и индикатором высокой поверхностной продуктивности [50]. Она доминирует между 70 и 250 м у побережья Западной Африки [48], а в Мексиканском заливе — между 200 и 600 м [21].

Другой инфаунный вид *Uvigerina peregrina* распространен в высокопродуктивных зонах Мирового океана [16, 33, 43]. В Северной Атлантике он обилие преимущественно на материковом склоне Северной Америки, где ее комплекс согласуется не только с повышением органического углерода и сокращением кислорода, но и с увеличением илистой составляющей в осадках [47].

Melonis barleeanum нередко встречается в зонах апвеллингов с высоким поступлением органического вещества в осадки и с низким содержанием кислорода [62]. В частности, комплекс бентосных фораминифер у побережья Северо-Западной Африки, представленный видами *Uvigerina peregrina* и *Melonis barleeanum*, коррелируется с содержанием C_{орг} от 3 до 6 г/м⁻² в год⁻¹ и кислорода в придонной воде около 3 мл/л [48]. Однако предполагается, что *Melonis barleeanum* менее требователен к содержанию органического вещества в осадках, чем *Uvigerina peregrina*, а булиминовый комплекс

отражает еще более низкое содержание кислорода, чем у вигеринов [15, 16].

Melonis pompilioides также является инфантным видом, обильным в районах с высокой поверхностной продуктивностью [33, 45]. Однако в современной Северной Атлантике этот вид крайне редко достигает 10% в комплексах. Раковины *Melonis pompilioides*, как и раковины *Melonis barleanum* имеют крупные поры, которые говорят о низком содержании кислорода в среде его обитания [18].

К инфантным видам относится также *Pullenia bulloides*, которая распространена в Атлантическом океане в районах с высоким продолжительным притоком органического материала и с низким содержанием кислорода в воде, часто в районах апвеллингов [16, 25, 45]. Однако в Индийском океане она ассоциируется с низкопродуктивными районами и с высоким содержанием кислорода [20]. В настоящее время количество *Pullenia bulloides* в Северной Атлантике не превышает 10%.

Osangularia umbonifera является абиссальным эпифантным видом, адаптировавшимся к слабому пищевому снабжению и низкой температуре и солености. Он ассоциируется с недонасыщенной по отношению к карбонату кальция антарктической донной водой (АнДВ) [14, 17, 39, 46]. *Sigmoilopsis schlumbergeri* живет в первых сантиметрах грунта и питается отложенным в нем детритом, он способен развиваться в условиях нехватки растворенного кислорода [19]. *Cassidulina teretis* обитает внутри субстрата. Этот вид в Северной Атлантике в настоящее время не встречается. Он доминировал в Норвежском море во время последнего оледенения на глубинах от 800 до 1600 м, где ассоциировался с норвежской промежуточной ледниковой водой [5].

Распределение агглютинирующих бентосных фораминифер также в большой степени зависит от содержания органического вещества на дне. Они не выносят богатую кислородом придонную среду [37]. Часто они заселяют континентальные склоны, покрытые слабокарбонатными осадками, куда геострофическими или вертикальными течениями доставляется большое количество органического углерода [32, 51]. Наиболее многочисленными из агглютинирующих видов в изученных нами разрезах являются рабдаминны и гипераминны с удлинёнными цилиндрическими “тубулярными” раковинами. Диаметр трубки тубулярных видов является показателем трофности среды [36]. В современной Северной Атлантике оба рода преобладают на склонах Северо-Американской котловины, на континентальном склоне Бискайского залива и на склонах плато Рокколл [32, 47, 51, 55].

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ БЕНТОСНЫХ ФОРАМИНИФЕР В КОЛОНКАХ

Колонка АМК 4438. В колонке АМК 4438 выделено 9 верхних морских изотопных стадий (МИС) [42] (рис. 3).

В осадках МИС 9 при высокой концентрации бентосных фораминифер (до 600 экз /1 г) доминируют *Melonis pompilioides* (до 35%), *Pullenia bulloides* и *Planulina wuellerstorfi* (более 20%).

В ледниковых осадках МИС 8 с высоким содержанием IRD концентрация бентосных фораминифер сокращается более чем в два раза, здесь доминируют три вида: *Pullenia bulloides*, *Melonis pompilioides* (до 40%), а также *Oridorsalis umbonatus* (до 30%). На границе МИС 8/МИС 7 (Терминация III) количество этих видов сокращается до минимума, за счет увеличения значений *Planulina wuellerstorfi* и *Hoeglundina elegans* (до 30 и 15% соответственно).

В нижней части межледниковых осадков МИС 7 по-прежнему высоко значение *Planulina wuellerstorfi*, но в верхних интервалах горизонта опять доминирует (до 25%) *Pullenia bulloides*. Фораминиферовое число колеблется от 200 до 400 экз /1 г.

Осадки предпоследнего ледникового периода МИС 6, которые также характеризуются большим количеством IRD, концентрация бентосных фораминифер снижается в среднем до 100 экз /1 г осадка. Здесь доминирует *Pullenia bulloides* (25–45%), а в средней части горизонта появляется комплекс агглютинирующих видов (в основном из рода *Rhizammina*), которые в сумме составляют 20–30%. На границе МИС 6/МИС 5 (Терминация II) значение *Pullenia bulloides* сокращается до 10 и до 30% увеличивается доля *Planulina wuellerstorfi*.

В межледниковых осадках МИС 5 концентрация бентосных фораминифер максимальна в разрезе и достигает 800–1200 экз /1 г, причем максимум приходится на холодные подстадии 5b и 5d, а минимум — на теплые подстадии 5e, 5c и 5a. В подстадии 5e доминирует *Melonis pompilioides* (до 20%), а выше преобладает *Pullenia bulloides* (до 30–40%), сокращаясь количественно до 15% на границе МИС 5/МИС 4. Выше по разрезу этот вид уже никогда не достигает предыдущих значений.

Концентрация бентосных фораминифер в ледниковых осадках МИС 4 сокращается более чем в 2 раза. В нижней части горизонта преобладает *Cassidulina teretis* (до 30%), а в верхней — *Hoeglundina elegans* (до 20%).

В осадках МИС 3 численность бентосных фораминифер в среднем увеличивается до 300 экз /1 г осадка, но на уровне 103–95 см обнаруживается пик, когда их концентрация достигает примерно 600 экз /1 г осадка. Горизонт выделяется по доми-

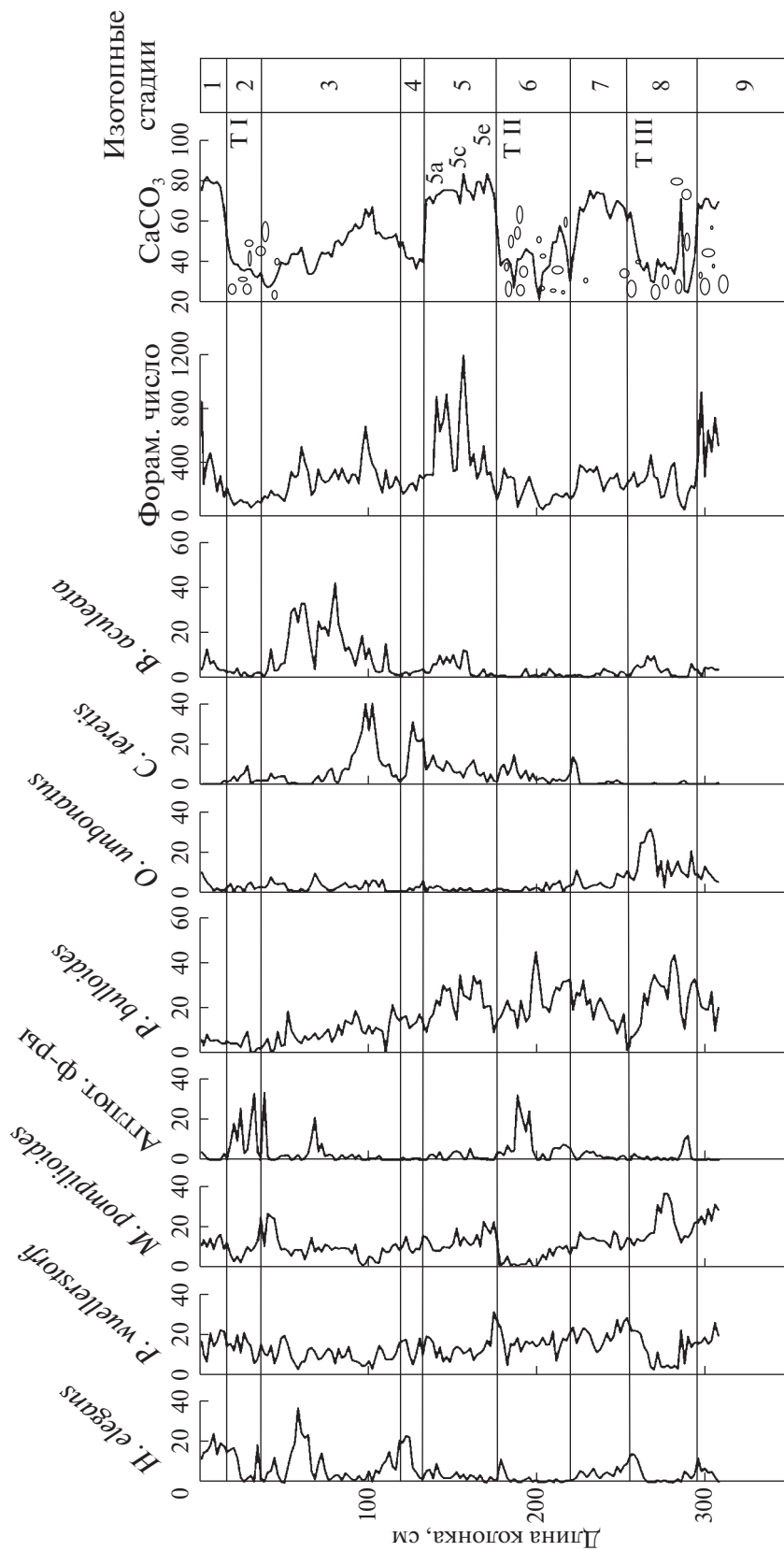


Рис. 3. Распределение доминирующих видов бентосных фораминифер в колонке АМК 4438 (в %). В столбце CaCO₃ показано присутствие в осадках терригенных обломков.

нированию *Bulimina aculeata*, значение которой максимально в средней части (в среднем 30%). Остальные доминирующие виды *Cassidulina teretis* (до 40%), *Hoeglundina elegans* (до 40%), и *Melonis pompilioides* (до 30%) имеют кратковременные максимумы.

Ледниковые осадки МИС 2 характеризуются большим количеством IRD, скопление которых вероятно соответствует событию Н-1. Горизонт выделяется по обилию агглютинирующих фораминифер, которые представлены отрядами *Astro-rhizida* (род *Rhabdammina*), *Ammodiscida* (род *Hyperammina*), *Lituolida* (роды *Haplophragmoides* и *Ciclammina*), *Textulariida* (род *Siphotextularia*) и *Ataxophragmiida* (роды *Trochammina* и *Martinotiella*). Их общая численность достигает 30%, а концентрация раковин в осадке не превышает 100 экз /1 г. На границе МИС 2/МИС 1 (Терминация I) агглютинирующие фораминиферы почти полностью исчезают.

В голоценовых осадках среди разнообразных и довольно многочисленных (до 800 экз/1 г осадка) бентосных фораминифер нет резко выраженного доминирования. Примерно в равных количествах (10–20%) присутствуют *Planulina wuellerstorfi* и *Hoeglundina elegans*, милиолиды, встречаются мелонисы, пуллении, гироидины, цибицидесы и др.

Колонка АМК 4442. В колонке АМК 4442 выделено 7 МИС (рис. 4). Концентрация раковин бентосных фораминифер во всем разрезе достаточно низка и не превышает 400 экз /1 г осадка, за исключением МИС 5d, где она достигает 8000 экз /1 г.

В осадках МИС 7 доминируют *Pullenia bulloides* (до 35%) и *Melonis pompilioides* (в среднем 20%). В нижней части МИС 6 выделена *Uvigerina peregrina* (30%), а в остальной части – комплекс *Cibicides* sp. sp./*Miliolida* (в среднем до 30% каждый род), периодически доминирует *Pullenia bulloides* (в среднем 20%). Она же преобладает в осадках МИС 5. Высокое значение *Melonis pompilioides* (до 40%) характерно для МИС 5d.

В осадках МИС 4 преобладает *Planulina wuellerstorfi* (до 30%). В МИС 3 нет ярко выраженного комплекса бентосных фораминифер. Но в конце МИС 3 – начале МИС 2 в осадках с большим количеством IRD (событие Н-1) и с низким содержанием бентосных фораминифер в осадке (меньше 200 экз /1 г), выделен многочисленный и разнообразный комплекс агглютинирующих фораминифер, в котором доминируют трубчатые рабдамии и гиперраммины (40–60%). Их доминирование продолжилось и в нижней части МИС 2. В верхней части МИС 2 их сменил комплекс *Hoeglundina elegans*/*Planulina wuellerstorfi* (40/25%).

Верхний слой осадка, соответствующий МИС 1 содержит комплекс бентосных фораминифер, в котором доминируют *Melonis barleeaanum* и *Melonis pompilioides* (примерно по 20% каждый).

Колонка АМК 4453. В колонке АМК 4453 выделено 6 МИС (рис. 5). В нижней части МИС 6 комплекс бентосных фораминифер представлен почти исключительно видом *Bulimina aculeata* (до 80%), за счет которой концентрация раковин в осадке является максимальной во всем разрезе и составляет почти 30000 экз /1 г. Осадки МИС 6 содержат некоторое количество терригенного материала, который, скорее всего, имеет турбидитный характер. В средней и верхней части МИС 6 достаточно обильно представлены милиолиды (более 20%) (в основном *Triloquolina tricarinata*) и *Pullenia bulloides*. Фораминиферовое число снижается примерно до 1000 экз /1 г осадка.

В нижней части межледниковых осадков МИС 5e преобладает *Planulina wuellerstorfi* (до 30%), за счет чего численность раковин в осадке снова увеличивается до 1500–2000 экз /1 г. В МИС 5d, где доминируют виды *Melonis pompilioides* и *Pullenia bulloides* (около 30%), оно составляет менее 1000 экз /1 г. Выше (МИС 5c–5a) фораминиферовое число сокращается до 500 экз /1 г осадка. Здесь встречены терригенные обломки. На границе МИС 5/МИС 4 значение *Pullenia bulloides* снижается примерно до 10%.

В нижней части ледниковой МИС 4 появляется “пик” *Epistominella exigua* (почти 40%), здесь же обнаружены раковинки *Hoeglundina elegans*, имеющие плохую сохранность, что вероятно указывает на их перерождение.

В межстадиале МИС 3 опять появляется *Bulimina marginata* (до 20%), доминировавшая в МИС 6. Ледниковые осадки МИС 2 с небольшим количеством терригенных обломков так же, как и в северной части Исландской котловины, выделяются по комплексу агглютинирующих фораминифер (до 30%), среди которых по-прежнему преобладают трубчатые виды из рода *Rhabdammina*. Здесь периодически доминируют *Planulina wuellerstorfi*, *Melonis pompilioides* и *Epistominella exigua*.

В МИС 1 агглютинирующие виды почти исчезают, доминирует *Epistominella exigua* (до 30%) и опять появляется *Hoeglundina elegans* (до 16%), раковины которой на сей раз имеют прекрасную сохранность.

Колонка АМК 4493. В колонке АМК 4493 выделено 6 МИС (рис. 6), для всего разреза характерны терригенные обломки (кроме МИС 1), возможно перенесенные с дрифта Глория. Концентрация раковин бентосных фораминифер в осадке очень низкая (в среднем от 20 до 100 экз /1 г), за исключением МИС 5e, где она увеличивается примерно до 200 экз /1 г. Иногда раковины представлены буквально единичными экземплярами, за счет чего при пересчете на процентное содержание периодически появляются неоправданные пики, которые не следует принимать в расчет при анализе комплексов.

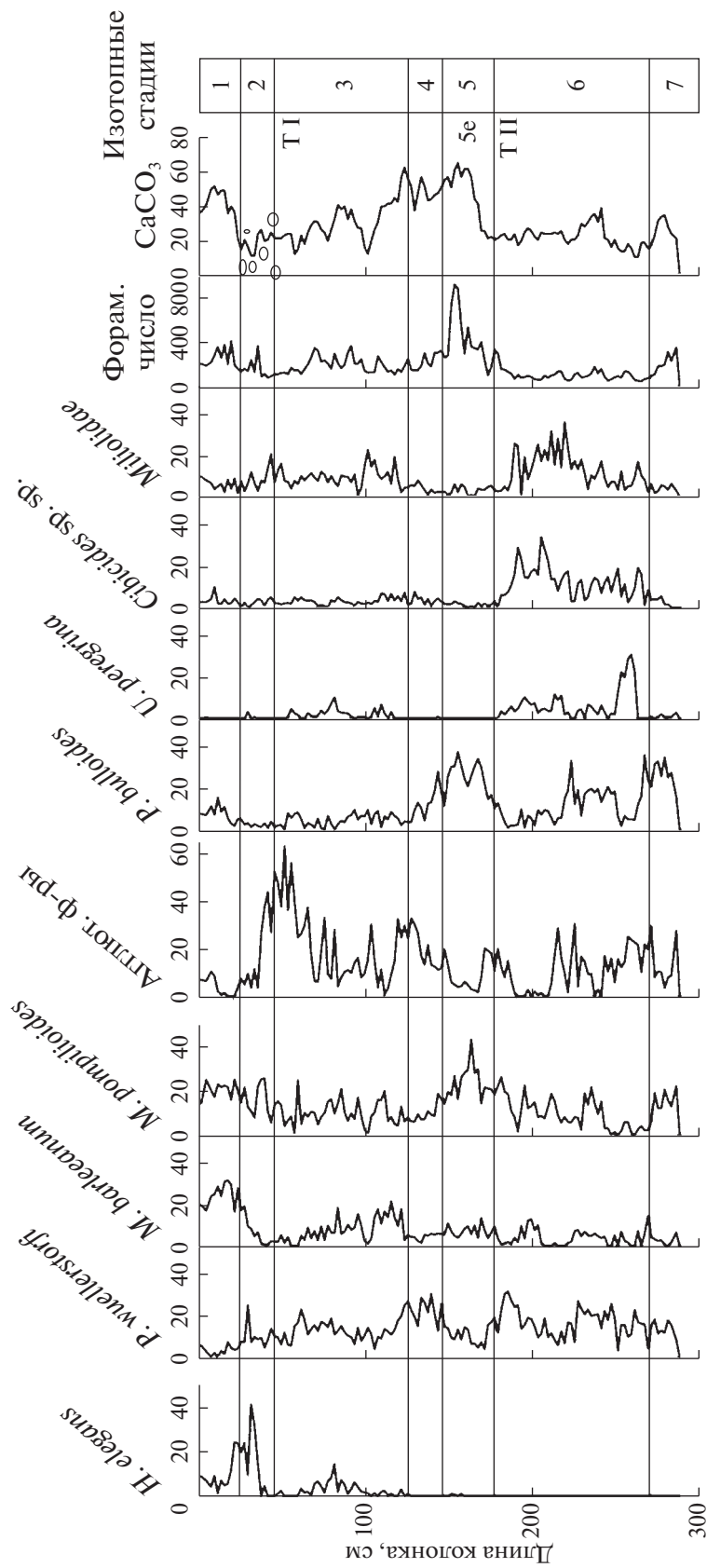


Рис. 4. Распределение доминирующих видов бентосных фораминифер в колонке АМК 4442 (в %).

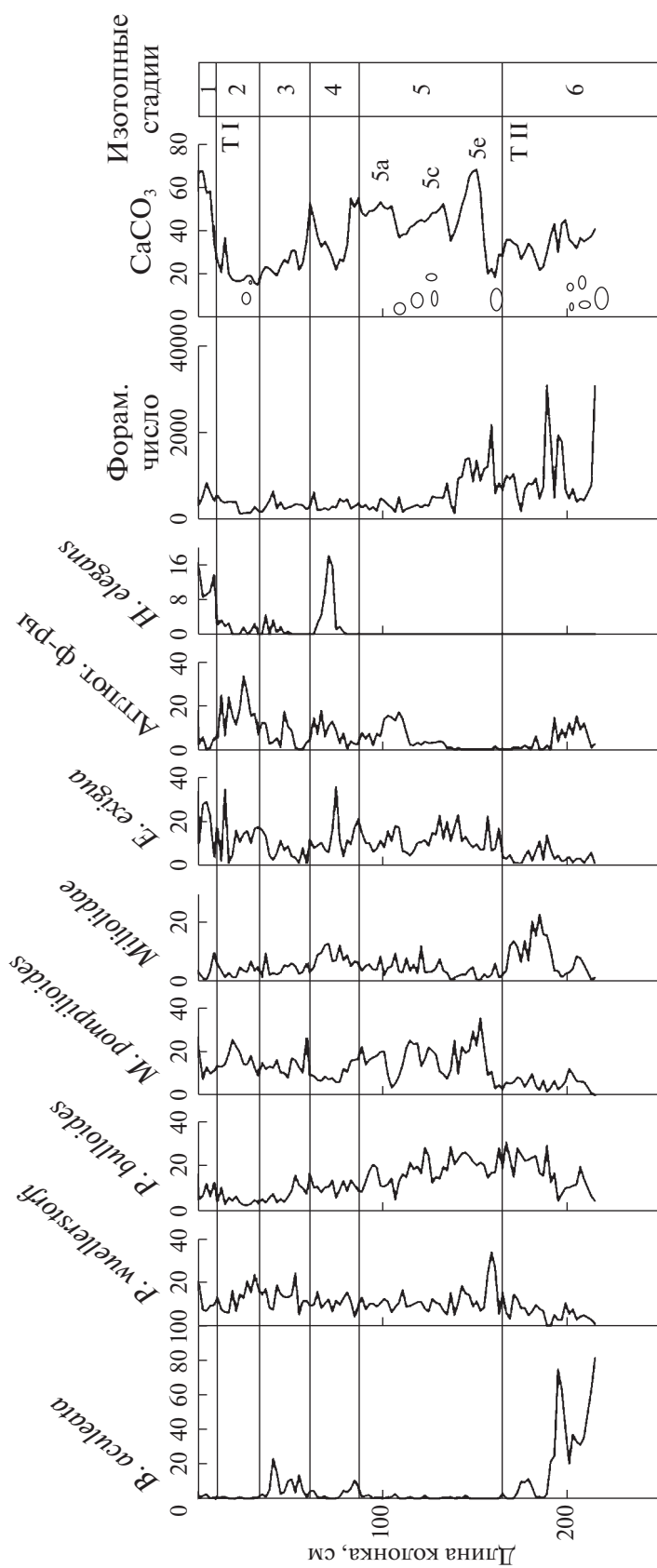


Рис. 5. Распределение доминирующих видов бентосных фораминифер в колонке АМК 4453 (в %).

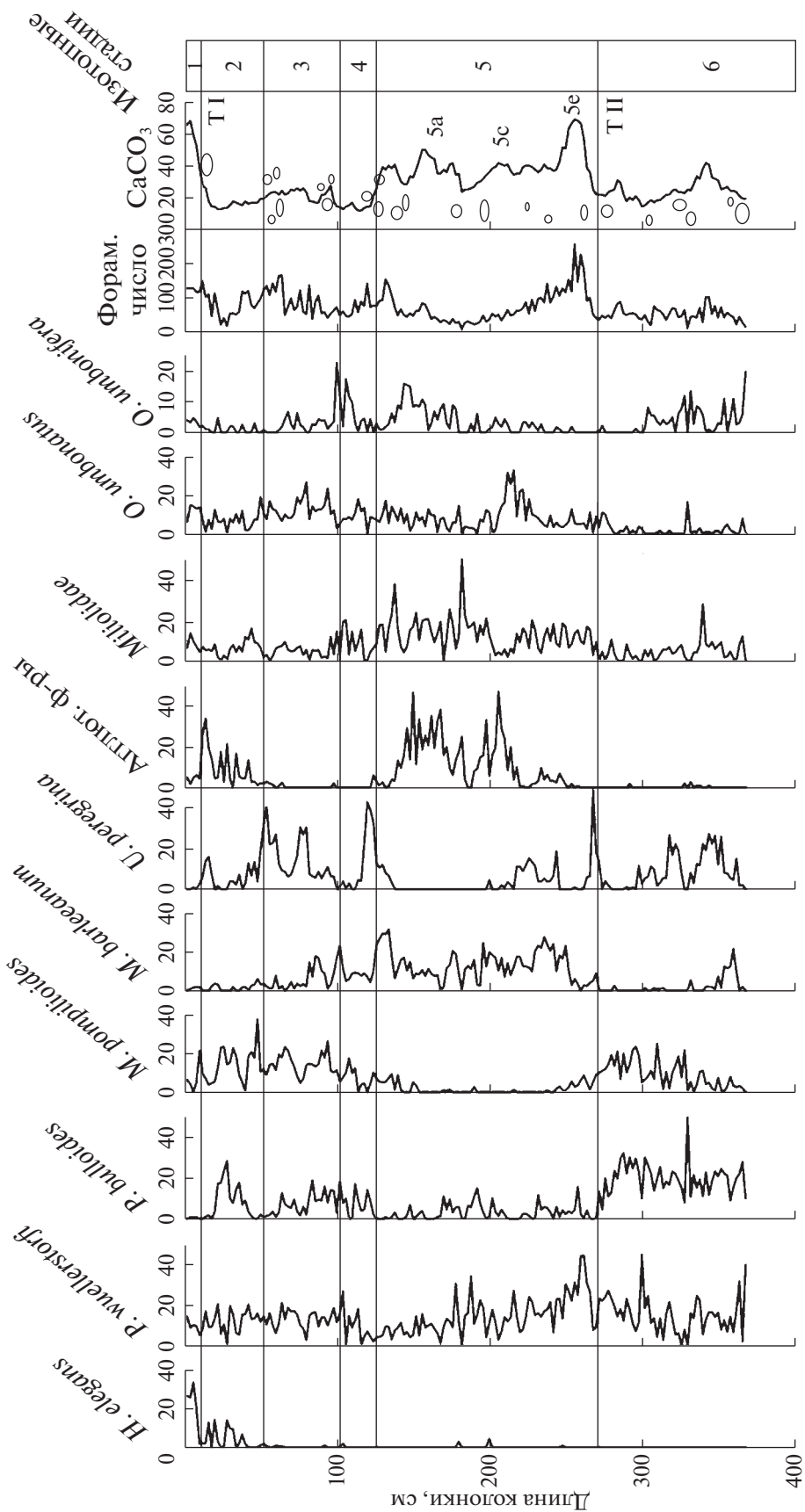


Рис. 6. Распределение доминирующих видов бентосных фораминифер в колонке АМК 4493 (в %).

В осадках МИС 6 постоянно доминирует *Pullenia bulloides* (20–30%) и периодически достигают 20–30% *Melonis pompilioides*, *Uvigerina peregrina*, *Planulina wuellerstorfi*, *Eggerella bradyi*, *Osangularia umbonifera* и *Epistominella exigua*, а также разнообразные цибидидеи. На границе МИС 6/МИС 5е (Терминация II) *Uvigerina peregrina* составляет более половины всех видов в комплексе.

В межледниковых осадках МИС 5е *Pullenia bulloides*, *Melonis pompilioides*, и *Uvigerina peregrina* почти исчезают, зато увеличивается до 40% доля *Planulina wuellerstorfi*. Средняя часть МИС 5 выделяется по доминированию разнообразных агглютинирующих видов и милиолид, значение которых достигает 50% и которые находятся в обратной корреляции. В МИС 5с доминирует *Oridorsalis umbonatus* (более 30%), а в верхней части МИС 5а – *Melonis barleeanum* (до 30%).

В МИС 4 агглютинирующие фораминиферы отсутствуют, в нижней части появляется пик *Uvigerina peregrina* (до 40%), а в верхней – пик *Osangularia umbonifera*. Осадки МИС 3 выделяются по периодическому доминированию *Uvigerina peregrina* (30–40%), *Melonis pompilioides* (до 20%) и *Oridorsalis umbonatus* (до 20%).

В ледниковых осадках МИС 2 комплекс состоит в основном из видов *Pullenia bulloides*, *Melonis pompilioides*, а также агглютинирующих видов, значение которых колеблется пилообразно от 5 до 30%. Осадки МИС 1 прекрасно выделяются по резкому сокращению обильных ранее видов – *Pullenia bulloides*, *Uvigerina peregrina*, агглютинирующих и по увеличению до 30% *Hoeglundina elegans*.

ПАЛЕОРЕКОНСТРУКЦИИ НА ОСНОВАНИИ ИЗУЧЕННЫХ КОЛОНОК

Проведенные нами исследования показывают, что в конце среднего плейстоцена (МИС 8, 7, 6) и в начале позднего плейстоцена (МИС 5) перелив норвежской воды в Северную Атлантику через Фареро-Исландский порог почти не происходил. В эти периоды в северной части Исландской котловины придонная вода была обеднена кислородом и богата питательными веществами, о чем говорят комплексы бентосных фораминифер с доминированием инфаунного вида *Pullenia bulloides*, иногда вместе с другим инфаунным видом *Melonis pompilioides*.

Водообмен между арктическими морями и Северной Атлантикой устанавливался во время дегляциаций (Терминации III и II). Тогда в северной части Исландской котловины появлялась богатая кислородом вода, похожая на современную СВГВ, на что указывает доминирование эпифаунных видов *Planulina wuellerstorfi* и *Hoeglundina elegans*.

Наиболее интересным моментом является изменение глубинной циркуляции в районе грани-

цы МИС 6/МИС 5. Сначала (в конце МИС 6 “ледниковая СВГВ” появилась в западной части Исландской котловины (АМК 4442), очевидно в результате прямого перелива через Фареро-Исландский порог. В восточной части котловины (АМК 4438) она появилась позже (на границе МИС 6/МИС 5), проделав более длинный путь до Исландской котловины из Ирландского желоба.

Периодически в северной части Исландской котловины появлялись и другие водные массы. В частности, в начале ледникового периода (МИС 6) сюда из низких широт поступала бедная кислородом так называемая “увигериновая” вода.

В конце предпоследнего оледенения (МИС 6) в Исландской котловине находилась водная масса, благоприятная для развития агглютинирующих фораминифер. Хотя их доминирование происходит на фоне высокого содержания обломочного материала в осадках, оно не связано с айсберговым переносом терригенного материала с шельфов, т.к. найденные роды являются глубоководными [51]. Выделенные нами тубулярные виды имеют диаметр трубки около 100 мм, что указывает на олиготрофно-мезотрофные придонные условия [36].

Во время температурного максимума последнего межледникового периода (МИС 5е), когда климатические условия были достаточно похожи на современные, в северной части Исландской котловины по-прежнему находилась давно изолированная от поверхности вода с низким содержанием кислорода, а осадки были богаты органическим углеродом. Среди бентосных фораминифер в это время преобладали инфаунные виды *Pullenia bulloides* и *Melonis pompilioides*. Высокое содержание пищи в донных осадках МИС 5е подтверждается также обилием раковин бентосных фораминифер в осадке.

В конце последнего межледникового периода (МИС 5а) значение инфаунных видов стало снижаться, что, вероятно связано с сокращением объема “старой” воды в северной части Исландской котловины. В Западно-Европейской котловине такая вода оставалась еще долго – вплоть до конца последнего оледенения [5].

Во время последнего ледникового периода (МИС 4 – нижняя часть МИС 3) в северную часть Исландской котловины поступала норвежская промежуточная ледниковая вода, с чем связано доминирование *Cassidulina teretis* на западном склоне поднятия Роколл. Усиление циркуляции в промежуточной структурной зоне в межстадиале последнего оледенения (МИС 3) вызвало активные оползневые процессы – с западного склона плато Роколл к подножию переносились более грубые мелководные осадки с *Bulimina aculeata*.

В конце МИС 3 – МИС 2 в северной части Исландской котловины опять стали доминировать

агглютинирующие фораминиферы. Их доминирование отмечено также Томасом с соавторами [71] в Западно-Европейской котловине на глубине 3547 м. Вероятно, в это время в субполярной Северной Атлантике ниже примерно 2000 м существовала достаточно богатая органическим веществом водная масса с низким содержанием кислорода, что подтверждается выводами, сделанными ранее Оппо и Леманом [53].

В конце последнего ледникового периода вместе с аллередским потеплением полярный фронт начал отходить на север и в НГБ стала поступать теплая североатлантическая поверхностная вода. Возвратный переток норвежской воды через Фареро-Исландские пороги способствовал смене “старой” глубинной воды в Исландской котловине на свежую, богатую кислородом воду, с которой связано резкое увеличение концентрации *Hoeglundina elegans* среди бентосных фораминифер.

Верхний горизонт в колонке АМК 4442 содержит не характерный для точки отбора комплекс мелонисов. Это заставляет предположить, что верхний слой осадков мощностью примерно в 25 см является аллохтонным. Возможно, он свалился вниз с восточного склона дрейфа Гардар, который вплотную подходит к месту отбора колонки.

В западной части Северной Атлантики – на западном склоне хребта Рейкьянес (АМК 4453) во время предпоследнего оледенения (МИС 6) происходили активные оползневые процессы, с чем связано доминирование мелководного вида *Bulimina aculeata*. Позже они прекратились, и здесь до конца последнего межледниковья (МИС 5), включая и межледниковый оптимум (МИС 5е), как и в Исландской котловине, существовали “застойные” глубинные условия, о чем говорит комплекс бентосных фораминифер с преобладанием *Pullenia bulloides*.

Пик *Planulina wuellerstorfi*, проявившийся в начале межледникового оптимума (МИС 5е) видимо, связан с кратковременным поступлением богатой кислородом глубинной воды из Исландской котловины. Показательно, что здесь эта вода появлялась несколько позже, чем там, очевидно тратя время на путь вокруг хребта Рейкьянес.

Доминирование *Epistominella exigua* в начале последнего ледникового периода (МИС 4) возможно связано с сезонным весенне-летним поступлением органического вещества на дно с чистой ото льда поверхности. Кажется, что глубинные условия этого периода были довольно схожи с голоценовыми (МИС 1).

В конце оледенения (МИС 2) у западного подножия хребта Рейкьянес, как и в Исландской котловине существовали олиготрофно-мезотрофные, с низким содержанием кислорода придонные условия, благоприятные для агглютинирующих бентосных фораминифер. Современные

глубинные условия установились в исследуемом районе в конце последнего стадиала оледенения, с чем связана смена агглютинирующего комплекса на современный комплекс *Epistominella exigua*.

В Лабрадорской котловине (АМК 4493) в позднем плейстоцене–голоцене (МИС 6–МИС 1) поступление питательных веществ на дно было очень слабым, о чем говорит крайне низкая концентрация бентосных фораминифер. Хотя, возможно, это также связано с активным разбавлением карбонатного материала терригенным.

В конце позднего плейстоцена (МИС 6) в Лабрадорской котловине, как и в других районах Северной Атлантики существовали застойные глубинные условия, судя по доминированию *Pullenia bulloides*. Присутствие *Uvigerina peregrina* во время предпоследнего оледенения показывает, что сюда периодически поступала вода с низким содержанием кислорода, которая во время последнего оледенения была широко распространена в более низких широтах Атлантического океана [5]. В начале МИС 6 Лабрадорской котловины достигала также пришедшая с юга антарктическая донная вода, с которой распространялась к северу *Ossangularia umbonifera*.

Во время оптимума межледниковья (МИС 5е) придонные условия в Лабрадорской котловине в отличие от Исландской котловины и от восточной части Ирмингеровой котловины были более похожи на современные. Здесь происходило формирование богатой кислородом глубинной воды, о чем говорит доминирование *Planulina wuellerstorfi*. На поздних этапах межледникового периода (МИС 5с–5а) в Лабрадорском море создались слабокислородные условия, благоприятные для развития агглютинирующих бентосных фораминифер.

Судя по доминированию одних и тех же инфантных видов – *Uvigerina peregrina*, *Melonis pompilioides* и *Pullenia bulloides* глубинные условия в Лабрадорском море во время последнего оледенения (МИС 4–МИС 2) в большой степени были похожи на условия предпоследнего оледенения (МИС 6). В начале последнего оледенения в Лабрадорском море еще раз появлялась антарктическая донная вода. В конце оледенения вновь стали доминировать агглютинирующие фораминиферы. Формирование современной североатлантической воды произошло в начале голоцена, с чем связано появление *Hoeglundina elegans*.

ОБСУЖДЕНИЕ

Смена комплексов бентосных фораминифер, а также состав самих осадков (содержание CaCO_3 и терригенных обломков) в изученных нами колонках показывает, что в конце четвертичного периода в высоких широтах Северной Атлантики

происходили глобальные глубинные гидрологические перестройки.

В конце среднего–в начале позднего плейстоцена (МИС 8–МИС 5) в субполярной Северной Атлантике глубинная динамика была вялой, ее котловины были заполнены водой с низким содержанием кислорода, а осадки были богаты органическим веществом. В частности установлено, что в МИС 8 и 6 изотермы в Северной Атлантике имели преимущественно субширотное положение [2], что способствовало слабому поступлению теплой и соленой поверхностной североатлантической воды в НГБ, и слабому обратному перетоку. Эти выводы подтверждают предположение Реймо с соавторами [59] о том, что большую часть плейстоцена в Северо-Восточную Атлантику из НГБ перетекало гораздо меньше воды, чем в голоцене.

Периодически и кратковременно в котловинах появлялась свежая, богатая кислородом и бедная питательными веществами холодная вода из НГБ. Эти события происходили главным образом в периоды Терминаций III и II. Однако эта глубинная вода качественно отличалась от современной СВГВ, т.к. в первом случае она выделялась по комплексу *Planulina wuellerstorfi*, а во втором – главным образом – по комплексу *Hoeglundina elegans*.

В начале последнего межледникового периода (МИС 5) глубинная циркуляция в северной части Исландской котловины также была слабее, чем сегодня, что подтверждается сокращением значения *Planulina wuellerstorfi* в осадках изученных нами колоннок. Такая же ситуация была отмечена в Исландской котловине в районе дрейфа Гардар [29], что вероятно было связано с опреснением поверхностной воды в НГБ из-за активного таяния Гренландских льдов.

Во время температурного оптимума последнего межледникового (МИС 5e) температура поверхностной воды в Северной Атлантике была на 2–3.5°C выше, чем сейчас [1, 11], что говорит об усилении САМП. Однако наши исследования однозначно указывают на то, что в северной части Исландской котловины не происходило формирования СВГВ, как в голоцене, значит, она не распространялась и вдоль западного склона хребта Рейкьянес, что и демонстрируют наши данные. Застойные глубинные условия в МИС 5e были характерны не только для Исландской котловины, но и для Западно-Европейской котловины [3]. Таким образом, глубинная ситуация в восточной части Северной Атлантики в это время принципиально отличалась от современной.

Тогда каким же путем вода из НГБ попадала в Северную Атлантику? В МИС 5e Северный полярный фронт имел субмеридиональное направление, основной поток поверхностной североат-

лантической воды отклонялся на северо-запад, и течение Ирмингера было интенсивнее, чем в настоящее время [2, 10, 12, 13]. Так, в районе Лабрадорской котловины поверхностные воды были на 4–5°C теплее и на 0.5–1.0‰ солонее современных [6, 31]. Это дает основание предположить, что теплая поверхностная североатлантическая вода поступала в НГБ в основном к западу от Исландии – над Исландско-Гренландским порогом, а не над Фареро-Исландским, как в голоцене. И возвратный переток глубинной воды, вероятно, происходил через Датский пролив. И действительно, это предположение подтверждается данными колонки АМК 4493, в которой пулленевый комплекс исчезает в начале МИС 5e. Значит, в Лабрадорском море смена “старой” воды на свежую, богатую кислородом воду произошла в самом начале последнего межледникового, что подтверждается и другими исследователями [22]. Состав комплексов бентосных фораминифер, а также данные по придонной изотопии углерода [57] показывают, что придонные условия в Лабрадорской котловине в самой МИС 5e были довольно сходны с современными. Во время поздней подстадии 5e значение ледниковой САГВ стало сокращаться [54], с чем, вероятно, связано снижение доли *Planulina wuellerstorfi* в выделенных нами комплексах.

Во время последнего ледникового периода, когда НГБ был покрыт круглогодичными льдами, “опрокидывание” водных масс происходило в самой Северной Атлантике на промежуточных глубинах, и САМП был короче и слабее современного [5, 23]. В это время в Южном океане преобладала тихоокеанская вода лишь с небольшой долей САГВ. В самом Атлантическом океане граница между САГВ и водой из южной Атлантики располагалась гораздо севернее, чем сегодня, позволяя южноокеанской воде вторгаться в восточную Атлантику через разлом Романш [52]. Так в Канарской котловине во время последнего оледенения антарктическая донная вода занимала не только придонную, но и глубинную структурную зону (примерно 2500 м), не встречая противодействия САГВ с севера [4].

Распространение агглютинирующих фораминифер в широком глубинном диапазоне как в западной, так и в восточной частях Северной Атлантики в конце последнего оледенения (конец МИС 3–МИС 2) вероятно носило глобальный характер. Несмотря на то, что их обилие коррелирует с обилием IRD в осадках, оно не было связано с событиями Хайнриха, т.к. выделенные нами тубулярные виды никогда не встречаются в мелководных средах [51]. Вероятно, благоприятные для них условия появлялись в самой глубоководной среде. Так соотношения Cd/Ca и Zn/Ca в раковинках *Planulina wuellerstorfi* из нескольких североатлантических седиментационных колоннок

предполагают сильное увеличение содержания питательных веществ в течение последнего оледенения [72].

САМП современного типа установился в конце последнего ледникового периода — во время беллинг-аллередского потепления, когда стали преобладать изотермы субширотного направления [2]. Теплые поверхностные воды Северо-Атлантического течения начали поступать в НГБ, и установился возвратный переток холодной, богатой кислородом и бедной органикой воды, которая способствовала глубинной вентиляции в Северо-Восточной Атлантике. Резкое обновление глубинных вод в Северо-Восточной Атлантике началось во время последней терминации [65]. С этого времени в комплексах бентосных фораминифер субполярной Северной Атлантики стала доминировать *Hoeglundina elegans*. “Опрокидывание” водных масс ненадолго перемещалось в Северную Атлантику в позднем дриасе [23].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. В конце среднего—в начале позднего плейстоцена котловины субполярной Северной Атлантики в основном были заполнены плохо вентилируемой, бедной кислородом и богатой питательными веществами водой. САМП был ослаблен, в результате чего ГТЦ была вялой.

2. Во время Терминаций III и II САМП усиливался — в Исландской котловине формировалась “свежая” глубинная вода, похожая на современную СВГВ.

3. Во время последнего межледникового периода, в том числе и во время его температурного оптимума, глубинная вода из НГБ в восточную часть субполярной Северной Атлантики почти не поступала, там продолжали существовать “застойные” условия.

4. В начале последнего межледникового периода САМП установился в западной части субполярной Северной Атлантики, наиболее активен он был во время температурного оптимума межледниковья. Поступление воды из НГБ в Северную Атлантику происходило через Датский пролив.

5. В конце последнего ледникового периода, когда САМП был ослаблен, в котловинах Северной Атлантики установились благоприятные условия для развития агглютинирующих фораминифер.

6. В восточной части Северной Атлантики обновление глубинной воды началось в конце последнего ледникового периода, после чего сформировалась современная модель САМП, обеспечивающая активность ГТЦ.

Автор благодарит В.В. Сивкова за предоставление материалов для исследования.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 12–05–00240–а.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бараш М.С., Юшина И.Г., Шпильхаген Р.Х. Реконструкция четвертичной палеогидрологической изменчивости по планктонным фораминиферам (Северная Атлантика, хребет Рейкьянес) // Океанология. 2002. Т. 42. № 5. С. 744–756.
2. Баширова Л.Д., Кандиано Е.С., Сивков В.В., Баух Х.А. Миграция северного Полярного фронта Атлантического океана по данным изучения комплексов планктонных фораминифер в течение последних 300 тысяч лет // Океанология. 2014. Т. 54. № 6. С. 844–854.
3. Лукашина Н.П. Распределение современных донных фораминифер в северо-восточной Атлантике // Океанология. 1983. Т. 23. № 1. С. 100–105.
4. Лукашина Н.П. Позднечетвертичная абиссальная циркуляция вод в Канарской котловине по данным изучения бентосных фораминифер // Океанология. 1992. Т. 32. № 2. С. 326–336.
5. Лукашина Н.П. Палеоокеанология Северной Атлантики в позднем мезозое и кайнозое и возникновение современной термогалинной океанской циркуляции по данным изучения фораминифер. М.: Научный мир, 2008. 287 с.
6. Матуль А.Г., Юшина И.Г., Емельянов Е.М. О позднечетвертичных палеогидрологических параметрах Лабрадорского моря по радиоляриям // Океанология. 2002. Т. 42. № 2. С. 262–266.
7. Сарафанов А.А., Соков А.В., Фалина А.С. Потепление и осолонение лабрадорской водной массы и глубинных вод в субполярной Северной Атлантике на 60° с.ш. в 1997–2006 гг. // Океанология. 2009. Т. 49. № 2. С. 209–221.
8. Altenbach A.V., Pflauman U., Schiebel R. et al. Scaling percentages and distributional patterns of benthic foraminifera with flux rates of organic carbon // J. of Foram. Res. 1999. V. 29. № 3. P. 173–185.
9. Bashirova L.D., Lukashina N.P. Reflection of Changes in Sea Surface Circulation over the Northeastern Iceland Basin in Planktonic Foraminifer Assemblages during the Late Pleistocene–Holocene // Paleontol. Journ. 2013. V. 47. № 10. P. 1155–1162.
10. Bauch H.A., Erlenkauser H., Jung S.J.A., Thiede J. Surface and deep water changes in the subpolar North Atlantic during Termination II and the last interglaciation // Paleooceanography. 2000. V. 15. P. 76–84.
11. Bauch H.A., Kandiano E.S. Evidence for early warming and cooling in North Atlantic surface waters during the last interglacial // Paleooceanography. 2007. V. 22. PA1201. P. 1–11.
12. Bauch H.A., Kandiano E.S., Helmke J. et al. Climatic bisection of the last interglacial warm period in the Polar North Atlantic // Quat. Sci. Rev. 2011. V. 30. P. 1813–1818.
13. Bauch H.A., Kandiano E.S., Helmke J.P. Contrasting ocean changes between the subpolar and polar North

- Atlantic during the past 135 ka // *Geophys. Res. Letters*. 2012. V. 39. L11604. P. 1–7.
14. *Bremer M.L., Lohmann G.P.* Evidence for primary control on the distribution of certain Atlantic Ocean benthic foraminifera by degree of carbonate saturation // *Deep-Sea Res.* 1982. Part A. V. 29. P. 987–998.
 15. *Caralp M.H.* Size and morphology of the benthic foraminifera *Melonis barleeanum*: relationship with marine organic matter // *J. of Foram. Res.* 1989. V. 19. № 3. P. 235–245.
 16. *Christopher W., Smart C.W.* Abyssal NE Atlantic benthic foraminifera during the last 15 kyr: Relation to variations in seasonality of productivity // *Mar. Micropal.* 2008. V. 69. P. 193–211.
 17. *Corliss B.H., Martinson D.G., Keffer T.* Late Quaternary deep-ocean circulation // *Geol. Soc. Am. Bull.* 1986. V. 97. P. 1106–1121.
 18. *Corliss B.H., Anthony E., Rathburn A.* Pore characteristics of Deep-Sea benthic foraminifera and linkage to oxygen levels. CD-ROM Produced by X-CD Technologies 33. Geol. Kongress, Oslo, 2008.
 19. *Corliss B.H., Chen C.* Morphotype patterns of Norwegian Sea deep-sea benthic foraminifera and ecological implications // *Geology*. 1988. V. 16. № 8. P. 716–719.
 20. *De S., Gupta A.K.* Deep-sea faunal provinces and their inferred environments in the Indian Ocean based on distribution of recent benthic foraminifera // *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.* 2010. V. 291. P. 429–442.
 21. *Denne R.A., Sen Gupta B.K.* Benthic Foraminiferal Zonation on the Northwestern Gulf of Mexico Slope: A Close Look // *Gulf Coast Association of Geological Societies Transactions*. 1988. V. 38. P. 578–588.
 22. *Galaasen E.V., Ninnemann U.S., Irvalli N. et al.* Rapid Reductions in North Atlantic Deep Water during the Peak of the Last Interglacial Period // *Science* 2014. doi 10.1126/science.1248667
 23. *Gherardi J.-M., Labeyrie L., Nave S. et al.* Glacial-interglacial circulation changes inferred from 231Pa/230Th sedimentary record in the North Atlantic region // *Paleoceanography*. 2009. V. 24. PA2204, doi 10.1029/2008PA001696
 24. *Geslin E., Heinz P., Jorissen F., Hemleben C.* Migratory responses of deep-sea benthic foraminifera to variable oxygen conditions: laboratory investigations // *Mar. Micropal.* 2004. V. 53. P. 227–243.
 25. *Gooday A.J.* The biology of Deep-Sea foraminifera: A review of some advances and their applications in paleoceanography // *Palaios* 1994. V. 9. P. 14–31. doi 10.2307/3515075
 26. *Gooday A.J.* Benthic Foraminifera (Protista) as tools in deep-water paleoceanography: environmental influences of faunal characteristic // *Advances in mar. biol.* 2003. V. 46. P. 3–70.
 27. *Gudmundsson G.* Distributional limits of Pyrgo species at the biogeographic boundaries of the Arctic and the North-Atlantic Boreal regions // *J. of Foram. Res.* 1998. V. 28. № 3. P. 240–256.
 28. *Heinrich H.* Origin and consequences of cyclic ice rafting in the northeast Atlantic Ocean during the past 130000 years // *Quat. Res.* 1988. V. 29. P. 142–152.
 29. *Hodell D.A., Minth E.K., Curtis J.H. et al.* Surface and deep-water hydrography on Gardar Drift (Iceland Basin) during the last interglacial period // *Earth and Planetary Science Letters*. 2009. V. 288. P. 10–19.
 30. *Hughes J.A., Gooday A.J., Murray J.W.* Distribution of live benthic Foraminifera at three oceanographically dissimilar sites in the northeast Atlantic: preliminary results // *Hydrobiologia*. 2000. V. 440. I. 1–3. P. 227–238.
 31. *Irvalli N., Ninnemann U.S., Galaasen E.V. et al.* Rapid switches in subpolar North Atlantic hydrography and climate during the Last Interglacial (MIS 5e) // *Paleoceanography*. 2012. V. 27. PA2207. doi 10.1029/2011PA002244
 32. *Jones R.W.* Distribution of morphogroups of Recent agglutinating Foraminifera in the Rockall Trough – a synopsis // *Proc. of the Royal of Edinburg.* 1986. 88 B. P. 55–58.
 33. *Fariduddin M., Loubere P.* The surface ocean productivity response of deeper water benthic foraminifera in the Atlantic Ocean // *Mar. Micropal.* 1997. V. 32. P. 289–310.
 34. *Fontanier C., Jorissen F.J., Licari L. et al.* Live benthic foraminiferal faunas from the Bay of Biscay: Faunal density, composition, and Microhabitats // *Deep-Sea Res.* 2002. Part I. 49. P. 751–785.
 35. *Fontanier C., Jorissen F.J., Chaillou G. et al.* Seasonal and interannual variability of benthic foraminiferal faunas at 550 m depth in the Bay of Biscay // *Deep-Sea Res.* 2003. Part I. V. 50. №4. P. 457–494.
 36. *Kaminski M.A., Kuhnt W.* Tubular agglutinated foraminifera as indicators of organic carbon flux / Eds. Kaminski M.A. et al. Proceedings of the Fourth International Workshop on Agglutinated Foraminifera, Kraków, Poland, September 12–19, 1993 // *Grzybowski Foundation Special Publication*. 1995. № 3. P. 141–144.
 37. *Kaminski M.A., Gradstein F.M., Goll R.M., Greig D.* Biostratigraphy and paleoecology of deep-water agglutinated foraminifera at ODP Site 643, Norwegian-Greenland Sea // *Paleoecol., biostr., paleogeogr. and taxonomy of agglutinated foraminifera*. NATO AST. 1990. Ser. C. 237. P. 345–386.
 38. *Linke P., Lutze G.F.* Microhabitat preferences of benthic foraminifera a static concept or a dynamic adaptation to optimize food acquisition? // *Mar. Micropal.* 1993. V. 20. № 3–4. P. 215–234.
 39. *Loubere P.* Deep-sea benthic foraminiferal assemblage response to a surface ocean productivity gradient: A test // *Paleoceanography*. 1991. V. 6. № 2. P. 193–204.
 40. *Loubere P.* The surface ocean productivity and bottom water oxygen signals in deep water benthic foraminiferal assemblages // *Mar. Micropal.* 1996. V. 28. № 3–4. P. 247–261.
 41. *Lukashina N.P.* Deepwater Circulation in the Northeastern Iceland Basin in the Late Pleistocene // *Paleontol. Journ.* 2013. V. 47. № 10. P. 1178–1186.
 42. *Lukashina N., Bashirova L.* About intensity of the North Atlantic Meridional Overturning Circulation in the end of the Late Pleistocene // 11th International Conference on Paleoceanography, 1–6 September. 2013. Spain: Sitges. P-098.

43. *Lutze G.F., Coulbourn W.T.* Recent benthic foraminifera from the continental margin of northwest Africa: Community structure and distribution // *Mar. Micropal.* 1984. V. 8. № 5. P. 361–401.
44. *Mackensen A., Sejrup H.P., Jansen E.* The distribution of living benthic foraminifera on the continental slope and rise off southwest Norway // *Mar. Micropal.* 1985. V. 9. № 4. P. 275–306.
45. *Mackensen A., Fütterer D., Grobe H., Schmiedl G.* Benthic foraminiferal assemblages from the eastern South Atlantic Polar Front region between 35° and 57° S: Distribution, ecology and fossilization potential // *Mar. Micropal.* 1993. V. 22. P. 33–69.
46. *Mackensen A., Schmiedl G., Harloff J., Giese M.* Deep-Sea foraminifera in the South Atlantic Ocean: Ecology and assemblage generation // *Micropaleontology.* 1995. V. 41. № 4. P. 342–358.
47. *Miller K.G., Lohman G.P.* Environmental distribution of recent benthic foraminifera on the northern United States continental slope // *Geol. Soc. Amer. Bull.* 1982. V. 93. № 3. P. 200–206.
48. *Morigi C., Jorissen F.J., Gervais A. et al.* Benthic foraminiferal faunas in surface sediments off NW Africa: Relationship with organic flux to the ocean floor // *J. of Foram. Res.* 2001. V. 31. P. 350–368.
49. *Murgese D.S., De Deckker P.* The distribution of deep-sea benthic foraminifera in core tops from the eastern Indian Ocean // *Mar. Micropal.* 2005. V. 56. P. 25–49.
50. *Murray W.* Ecology and Applications of Benthic Foraminifera. Cambridge, 2006. 426 pp.
51. *Murray J.W., Alve E., Jones B.W.* A new look at modern agglutinated benthic foraminiferal morphogroups: their value in palaeoecological interpretation // *Palaeogeography, Palaeoclimatol., Palaeoecol.* 2011. V. 309. P. 229–241.
52. *Oppo D.W., Fairbanks R.J.* Variability in the deep and intermediate water circulation of the Atlantic Ocean during the past 25 000 years: Northern hemisphere modulation of the Southern Ocean // *Earth and Planet. Sci. Lett.* 1987. P. 1–15.
53. *Oppo D.W., Lehman S.J.* Middepth circulation of the subpolar North Atlantic during the Last Glacial Maximum // *Science.* 1993. V. 259. P. 1148–1152.
54. *Oppo D.W., Lehman S.J.* Suborbital timescale variability of North Atlantic Deep Water during the past 200 000 Years // *Paleoceanography.* 1995. V. 10. № 5. P. 901–910.
55. *Pujos-Lamy A.* Foraminifères benthiques et bathymétrie: le Cénozoïque du Golfe de Gascogne // *Palaeogeography, Palaeoclimatol., Palaeoecol.* 1984. V. 48. P. 39–60.
56. *Rahmstorf S.* Ocean circulation and climate during the past 120 000 years // *Nature.* 2002. V. 419. P. 207–214.
57. *Rasmussen T.L., Oppo D.W., Thomsen E., Lehman S.J.* Deep-Sea records from the southeast Labrador Sea: Ocean circulation changes and ice-rafting events during the last 160 000 years // *Paleoceanography.* 2003. doi 10.1029/2001PA000736
58. *Rathburn A.E., Corliss B.H.* The ecology of living (stained) Deep-Sea benthic foraminifera from the Sulu Sea // *Paleoceanography.* 1994. V. 9. I. 1. P. 87–150.
59. *Raymo M.E., Oppo D.W., Flower B.P. et al.* Stability of North Atlantic water masses in face of pronounced climate variability during the Pleistocene // *Paleoceanography.* 2004. V. 19. PA2008, doi 10.1029/2003PA000921
60. *Rhein M., Kieke D., Huttel-Kabus S. et al.* Deep water formation, the subpolar gyre, and the meridional overturning circulation in the subpolar North Atlantic // *Deep-Sea Res.* 2011. II 58 P. 1819–1832.
61. *Sarnthein M., Winn K., Jung S. et al.* Changes in east Atlantic deepwater circulation over the last 30 000 years: Eight time slice reconstruction // *Paleoceanography.* 1994. V. 9. P. 209–267.
62. *Schmiedl G., Mackensen A.* Late quaternary paleoproductivity and deep water circulation in the eastern South Atlantic Ocean: Evidence from benthic foraminifera // *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.* 1997. V. 130. I. 1–4. P. 43–80.
63. *Schnitker D.* Quaternary Deep-Sea benthic foraminifera and bottom water masses. *Annu. Rev. Earth Planet. Sci.* 1980. V. 8. P. 343–370.
64. *Sen Gupta B.K., Aharon P.* Benthic foraminifera of bathyl hydrocarbon vents of the Gulf of Mexico: initial report on communities and stable isotopes // *Geo-Marine Letters.* 1994. V. 14. P. 88–96.
65. *Skinner L.C., Shackleton N.J.* Rapid transient changes in northeast Atlantic deep water ventilation age across Termination I // *Paleoceanography.* 2004. V. 19. I. 2. PA2005, doi 10.1029/2003PA000983
66. *Smart C.W.* Environmental applications of Deep-Sea benthic foraminifera / Ed. Haslett, S.K. *Quaternary Environmental Micropalaeontology.* 2002. P. 14–58.
67. *Smart C.W., Gooday A.J.* Recent benthic foraminifera in the abyssal northeast Atlantic Ocean: relation to phytodetrital inputs // *J. of Foram. Res.* 1997. V. 27. P. 85–92.
68. *Streeter S.S., Laveri S.A.* Holocene benthic foraminifera from the continental slope and rise off eastern North America // *Geol. Soc. Amer.* 1982. V. 93. № 3. P. 190–199.
69. *Sun X., Corliss B. H., Brown C. W., Showers W. J.* The effect of primary productivity and seasonality on the distribution of Deep-Sea benthic foraminifera in the North Atlantic // *Deep Sea Res.* 2006. Part I. V. 53. P. 28–47.
70. *Struck U.* Paleocology of benthic foraminifera in the Norwegian-Greenland Sea during the past 500 ka // *Contributions to the Micropaleontology and Paleocceanography of the northern North Atlantic / Eds. Hass H.C., Kaminski M.A. Grzybowski Found.* 1997. P. 51–82.
71. *Thomas E., Booth L., Maslin M., Shackleton N.J.* Northeastern Atlantic benthic foraminifera during the last 45 000 years: changes in productivity seen from the bottom up // *Paleoceanography.* 1995. V. 10. P. 545–562.
72. *Thomas M., Marchitto Jr.* Paired benthic foraminiferal Cd/Ca and Zn/Ca evidence for a greatly increased presence of Southern Ocean Water in the glacial North Atlantic // *Paleoceanography.* 2002. V. 17. № 3. 1038. doi 10.1029/2000PA000598

Dynamics of the Deep Water in the Subpolar North Atlantic in the End of the Quaternary

N. P. Lukashina

In the subpolar North Atlantic 4 sediment cores was taken. All of them are suitable for reconstruction of the dynamics of the meridional overturning circulation in the Late Quaternary. Stratigraphy of the cores was made with the help of carbonate analyses, studying of planktonic foraminifera and oxygen isotopic in *Neogloboquadrina pachyderma* sin. The study of the assemblages of benthonic foraminifera show significant differences in the dynamics deep water in the Late Quaternary, which are connected in basal with the water exchange between North Atlantic and arctic seas. Was found in the end of the Middle – in the most part of the Late Pleistocene deep circulation in the subpolar North Atlantic was poor. Its strengthening taken places in the time of deglaciations (Termination III and Termination II). In the optimum of the last Interglacial (MIS 5e) water flow from the Norwegian sea in the North Atlantic in the west part of this implemented. Formation of the modern deep water in the east part of the North Atlantic in the end of last glaciation have started.