

УДК 551.465

ТЕПЛОВОДНЫЕ ПЛАНКТОННЫЕ ФОРАМИНИФЕРЫ В ОСАДКАХ КАРСКОГО МОРЯ

© 2019 г. Н. С. Оськина*, Т. А. Хусид**, Н. В. Либина, М. М. Доманов, А. Г. Матуль

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

**e-mail: nsoskina@mail.ru*

***e-mail: tkhusid@mail.ru*

Поступила в редакцию 24.05.2017 г.

После доработки 04.04.2018 г.

Принята к публикации 02.07.2018 г.

Статья посвящена исследованию тепловодных видов планктонных фораминифер в Арктике. Авторами была изучена фауна планктонных и бентосных фораминифер в поверхностном и подповерхностном слоях осадков Карского моря. Было выяснено, что комплексы бентосных фораминифер характерны для этого региона, тогда как в комплексах планктонных фораминифер, полученных возле Новой Земли, в значительном количестве присутствуют тепловодные виды — экваториально-тропические, тропические и субтропические, не обитающие в данном регионе. Предполагается, что они занесены из низких широт в Арктику течением. Было проведено сравнение с немногочисленными литературными данными о присутствии в осадках вокруг Новой Земли и в Арктике тепловодных видов планктонных фораминифер. Показано, что живые планктонные тепловодные фораминиферы были отмечены в водной толще моря Лаптевых, а их раковины наблюдались в современных осадках окраинной части моря Лаптевых.

Ключевые слова: планктонные фораминиферы, бентосные фораминиферы, тепловодные фораминиферы, течения, осадки

DOI: 10.31857/S0030-1574593485–496

ВВЕДЕНИЕ

Северный Ледовитый океан является регионом, экстремально чувствительным к изменениям климата, особенно это относится к изменениям циркуляции воды. Климат и связанная с ней циркуляция оказывают существенное влияние на распределение планктонной и бентосной фауны фораминифер в настоящее время, и, несомненно, воздействовали в прошлом.

Карское море имеет широкое сообщение с Арктическим бассейном через пролив между Землей Франца-Иосифа и Северной Землей, в своей западной части оно испытывает воздействие более теплых и соленых атлантических вод.

Статья посвящена исследованию фауны фораминифер в поверхностных осадках Ново-земельского желоба и южных отрогов желоба Святой Анны. Как известно, бентосные фораминиферы повсеместно распространены в осадках Карского моря [21, 28]. До сих пор в литературе не сообщалось о присутствии в Карском море планктонных форм. В нашем распоряжении оказались пробы, в которых планктонные фо-

раминиферы составляли до 12–14% в суммарном числе фораминифер, в некоторых пробах их доля достигала 47%. Проникновение планктонных форм в этот холодный регион, в котором из-за недосыщенности придонных вод карбонатными ионами плохо сохраняются известковые раковины бентосных фораминифер, оказалось неожиданным явлением.

Большой интерес вызывают глубоководные желоба Карского моря; во-первых, из-за малой изученности в связи с их трудной доступностью, во-вторых, из-за сложности взаимодействия вод разного происхождения — непосредственно шельфовых вод Карского моря, вод Арктического бассейна и трансформированных атлантических вод. Теплые и соленые атлантические воды проникают по глубинным желобам частично с севера из Арктического бассейна, частично из Баренцева моря через пролив Карские ворота.

Вдоль берегов Новой Земли с севера на юг тянется глубоководный желоб с глубинами свыше 200 м. К востоку от этого желоба глубины уменьшаются и сменяются обширным мелководьем.

В северной части моря расположен глубоководный желоб Святой Анны, выходящий за пределы моря в океан.

Поступление атлантической воды в Карское море

Атлантические воды поступают в Северный Ледовитый океан через юго-восточную границу Норвежского моря (Фареро-Шетландский и Фареро-Исландский проливы). Перейдя Фарерско-Исландский порог, Северо-Атлантическое течение следует на северо-северо-восток вдоль берегов Норвегии (Норвежское течение), которое затем разветвляется на Западно-Шпицбергенское течение, втекающее в Арктический бассейн через пролив Фрама, и Нордкапское течение, входящее в Баренцево море между о. Медвежий и Скандинавским полуостровом (рис. 1, 2).

Приповерхностная атлантическая вода севернее и северо-восточнее Шпицбергена охлаждается и смешивается с поверхностной арктической водой отрицательной температуры и пониженной солености. Глубинная (фрамовская) ветвь атлантических вод, сохранившая положительную температуру и высокую соленость, вместе с трансформированным верхним слоем переносится пограничным течением в восточном направлении вдоль Арктического континентального склона [16].

Около мыса Желания (Новая Земля) часть потока фрамовской ветви атлантической воды ответвляется и, обогнув мыс с севера в восточном направлении, через желоб Святой Анны распространяется на шельф Карского моря.

Теплые глубинные атлантические воды поступают в желоба Святой Анны и Воронина в слое 100–200 м, температура воды достигает 1,5°C. Проникновение этих вод невелико, и к южным границам желоба вода охлаждается до 0°C и ниже [8].

Поступающая в Баренцево море с Нордкапским течением атлантическая вода вытекает из моря на северо-востоке между архипелагами Новая Земля и Землей Франца-Иосифа. Поступив в Карское море, эта вода через желоб Святой Анны затекает в Арктический бассейн, частично смешиваясь с фрамовской ветвью, втекающей западнее Шпицбергена и распространяющейся на восток вдоль континентального склона арктических морей [16].

Помимо традиционно выделяемых фрамовской и баренцевоморской ветвей переноса атлантических вод обосновано существование третьей ветви пограничного течения [24]. Эта ветвь проходит по границе шельфа и континентального склона и именуется шельфовой ветвью.

Интенсивное взаимодействие между тремя ветвями атлантической воды на участке от зоны их слияния (к северу от желоба Святой Анны) до центральной части моря Лаптевых приводит к изменению структуры переноса и термохалинных характеристик водных масс. В результате этого взаимодействия на глубинах 200–1000 м формируется водная масса с преобладанием воды фрамовской и баренцевоморской ветвей, которая вдоль континентального склона может проникать в Канадский бассейн. А фрамовская ветвь, отсекаемая от континентального склона в море Лаптевых, предположительно в дальнейшем рециркулирует вдоль хребта Ломоносова в направлении пролива Фрама [13].

По данным многолетних наблюдений [1], происходит интенсификация поступления теплых

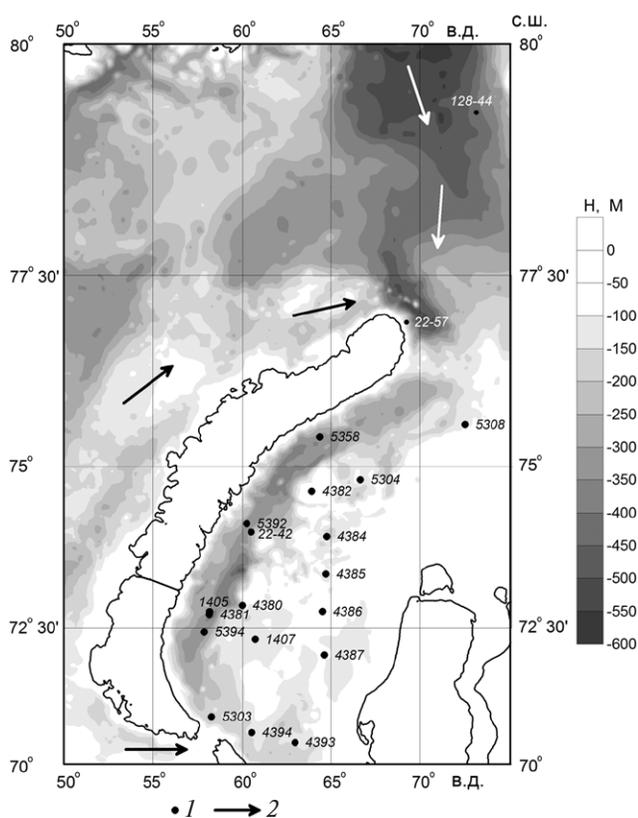


Рис. 1. Карта района и расположение станций.

1 — пробы, в которых обнаружены тепловодные планктонные фораминиферы; 2 — направление затока атлантических вод в Карское море (белые — в составе фрамовской ветви, черные — прошедшие через Баренцево море).

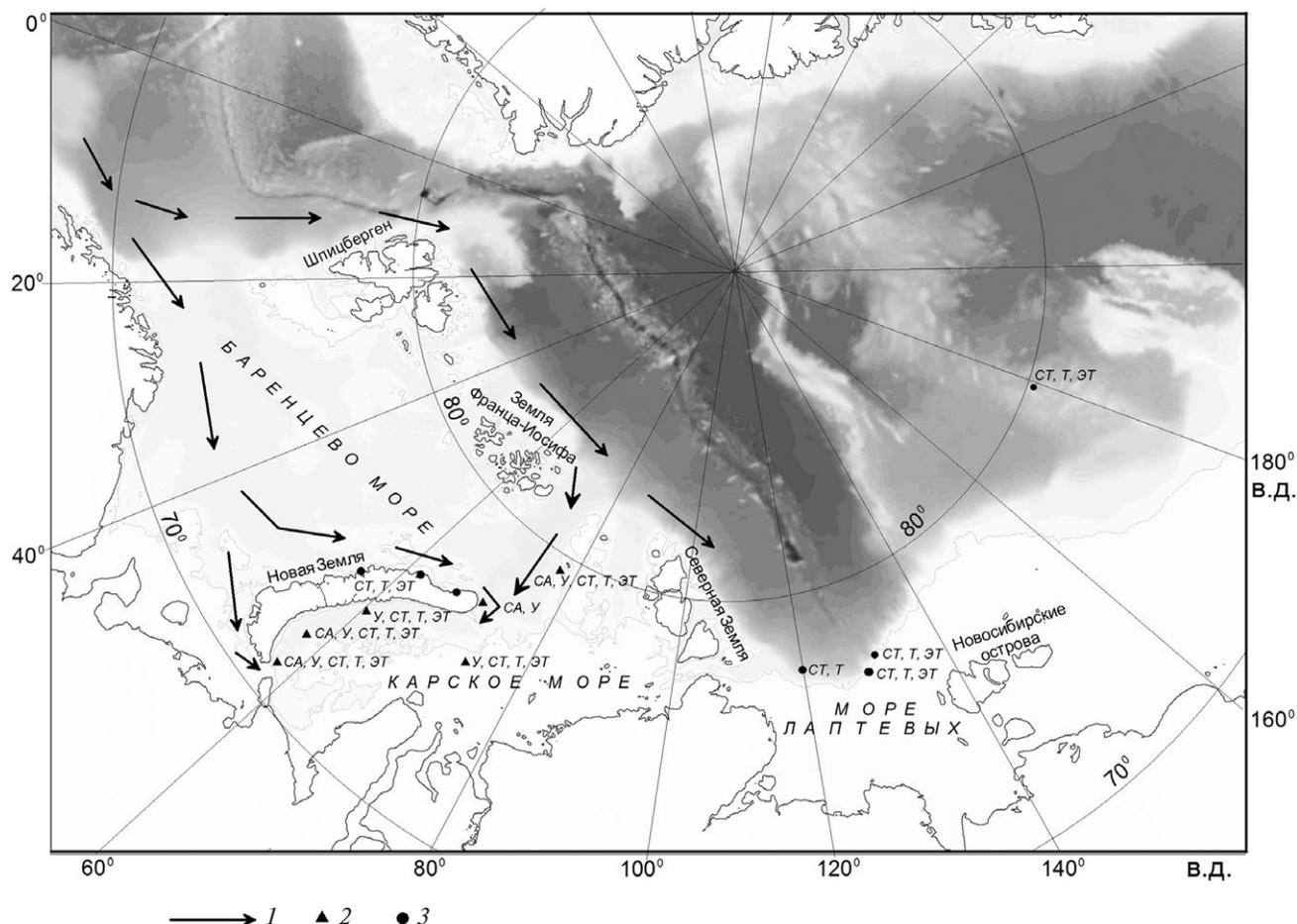


Рис. 2. Местонахождения планктонных фораминифер в осадках и водной толще Северного Ледовитого океана, в которых, по авторским и литературным данным, обнаружены тепловодные планктонные фораминиферы. 1 — направление переноса Атлантических вод; 2 — станции (авторские данные); 3 — станции (литературные данные). Виды планктонных фораминифер, встреченные на станции. СА — субарктический вид; У — умеренные виды; СТ — субтропические виды; Т — тропические виды; ЭТ — экваториально-тропические виды.

атлантических вод в Арктический бассейн через пролив Фрама. Положительная аномалия, прошедшая через пролив Фрама в 1999 г., в 2003 г. наблюдалась в северной части моря Лаптевых, а к 2006 г. заполнила практически весь Евразийский суббассейн. Еще одна положительная аномалия атлантических вод, отмеченная в проливе Фрама в 2004–2005 гг., в 2006 г. наблюдалась как между Шпицбергом и Землей Франца-Иосифа, так и в желобе Святой Анны. После ряда колебаний температура атлантических вод в Норвежском море в 2009 г. вновь стала повышаться [1]. Интенсивное поступление теплых атлантических вод в Северный Ледовитый океан за последние десятилетия соответственно влияет на приток атлантических вод в Карское море. Этим может объясняться по-

вышение температуры придонного слоя воды в Карском море [5].

Поступление атлантических вод в Карское море возможно тремя путями (рис. 1, 2): из Баренцева моря с баренцевоморской ветвью вдоль западного берега Новой Земли, огибая ее с севера. Эти воды не проходят фронт и не поступают в юго-западную часть моря. С севера атлантические воды поступают в составе фрамовской ветви через желоба Святой Анны и Воронина в слое 100–600 м. С юго-запада заток модифицированных атлантических вод в Карское море осуществляется через проливы Карские Ворота и Югорский Шар с Баренцевоморскими водами.

Сведения об общей циркуляции вод Карского моря являются весьма противоречивыми, так

как к настоящему времени существует несколько различных схем течений. Так, ряд экспедиций, проведенных за последние десять лет ИО РАН в Карском море, показал, что полученные результаты не согласуются полностью ни с одной из предлагавшихся ранее схем циркуляций. Также расходятся и полученные ими результаты, при том что наблюдения выполнялись по одной методике и с использованием однотипного оборудования [9, 10, 11, 22]. Таким образом, направление переноса вод основными течениями в Карском море не является однозначно установленным. Наиболее противоречивым является вопрос о направлении Восточно-Новоземельского течения, которое определялось в разное время как течение юго-западного направления, так и северо-восточного. Аналогичная ситуация наблюдалась и в проливе Карские ворота. Выполненные в 128-м и 129-м рейсах НИС «Профессор Штокман» в период августа–октября 2014 г. четыре разреза в Карских воротах показали существенную изменчивость во времени сложной системы встречных течений на различных глубинах. Варьируют как скорость и интенсивность

поступления баренцевоморских вод в Карское море, так и направление их распространения после пролива [23].

Поступление атлантических вод в Карское море, соответственно, также нестабильно и изменчиво по распространению на акватории в соответствии с течениями и преобладающим переносом вод. Заток вдоль восточного побережья Новой Земли как с северной стороны, так и с южной через Карские ворота фиксировался инструментально, но мог иметь различную продолжительность во времени.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Микропалеонтологический анализ проведен на материале донных морских отложений из глубоководных желобов — Новоземельского и желоба Святой Анны, продолжающегося севернее Карского моря в Арктический бассейн (рис. 1). Отбор материала проводился коробчатым пробоотборником. Материал был получен во время 66-го рейса НИС «Академик Мстислав Кедьш» и в 128-м рейсе «Профессор Штокман».

Таблица 1. Численность, состав основных видов бентосных фораминифер, относительная доля агглютинированных раковин и доля планктонных форм в Новоземельском желобе (66-й рейс НИС «Академик Мстислав Келдыш», июль, август 2016 г.)

№№	Глубина, м	Время взятия пробы	Горизонт, см	Численность раковин, экз/г	Агглютинированные, %	<i>Saccorhiza ramosa</i>	<i>Normosina globulifera</i>	<i>Hyperammia subnodosa</i>	<i>Reophax</i> spp	<i>Cribrostomoides subglobosus</i>	<i>Trochamina</i> spp	<i>Spiroplectomina biformis</i>	<i>Eiphiidium clavatum</i>	<i>Eiphiidium subarcticum</i>	<i>Melonis barleeanus</i>	<i>Stainforthia loebtichi</i>	<i>Cassidulina reniforme</i>	<i>Islandiella norcrossi</i>	<i>Nonionella labradorica</i>	<i>Buccella</i> spp	<i>Dentalina</i> spp	Доля агглютинированных форм, %	Планктонные формы (суммарное количество фораминифер), %	
53–04	190	17.07	0–2	86	98	18	7	2	15	22	22	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	98	0
53–08	209	19.07	0–2	132	49	4	12	0	10	27	16	12	9	0	0	5	8	2	3	2	1	49	20	
53–58	350	30.07	0–2	78	84	30	20	5	7	3	1	0	0	11	3	0	0	0	0	0	0	84	0	
53–92	313	11.08	0–2	74	87	19	1	6	16	31	3	0	0	3	7	0	0	0	0	0	2	87	0	
53–92	313	-	5–7	19	41	10	1	0	15	11	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	41	59	
53–92	313	-	7–9	15	40	10	0	0	12	14	1	0	0	5	0	0	0	1	0	0	0	40	53	
53–94	330	12.08	0–2	87	73	50	3	0	7	10	3	0	0	5	4	0	0	0	0	0	0	73	19	
53–03	213	16.08	0–2	82	43	9	0	0	28	5	1	0	0	1	9	0	0	0	0	0	0	43	47	
53–03	213	-	6–7	28	32	1	0	0	9	14	0	0	0	0	28	0	0	0	0	0	3	32	29	
53–03	213	-	7–10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

Фораминиферы исследовались в 26 пробах поверхностных осадков в слое 0–2 см. При лабораторной обработке пробы промывали через сито с ячейей 50 мкм. Для достоверного вычисления процентного содержания каждого вида во всех образцах подсчитывалось до 100–150 раковин бентосных форм. Фораминиферы просматривались в микроскопе Leica. Wild МЗС при увеличении в 50–70 раз. Для сравнительной характеристики количественного содержания раковин фораминифер численность экземпляров в каждой пробе пересчитывали на 1 г сухого осадка.

Большинство проб (14) получено в Новоземельском желобе на глубине 200–330 м (рис. 1), три пробы — в желобе Святой Анны: две из них непосредственно в Карском море на глубине 272 и одна — на глубине 462 м в районе Арктиче-

ского бассейна. Пробы в Новоземельском желобе взяты на разных судах летом и осенью. Из них шесть проб получено летом (июль–начало августа) (табл. 1, 2).

Состав фораминифер в желобах западной части моря сравнивается с центральной областью [21], процентное содержание постоянно встречающихся в этой области видов показано в табл. 3.

Чтобы получить дополнительное представление о составе фораминифер и возможном присутствии раковин планктонных фораминифер в подповерхностном слое осадка нам были представлены пробы из слоев осадков 5–7 и 7–9 см, полученных из дночерпателей на: ст. 5392 — средняя часть Новоземельского желоба; ст. 5303 (юг желоба, вблизи пролива Карские ворота).

Таблица 2. Численность, состав основных видов бентосных фораминифер, относительная доля агглютированных раковин и доля планктонных форм в Новоземельском и в желобе Святой Анны

№№	Глубина, м	Горизонт, см	Численность, экз/г	<i>Saccoriza ramosa</i>	<i>Hyphantidina subnodosa</i>	<i>Reophax</i> spp	<i>Recurvoides</i> spp	<i>Adercotryma glomerata</i>	<i>Criboostomoides subglobosus</i>	<i>Trochammina nana</i>	<i>Buccella</i> spp	<i>Eipheidium clavatum</i>	<i>Eipheidium subarcticum</i>	<i>Cibicides lobatulus</i>	<i>Nonionella labradorica</i>	<i>Melonis barleanus</i>	<i>Cassidulina reniforme</i>	<i>Islandiella islandica</i>	<i>Trifarina fluens</i> , %	Доля агглютированных форм, %	Планктон/(бентос+планктон), %
128-й рейс НИС «Профессор Штокман», август–сентябрь 2014 г.																					
128–44	462	0–2	31	46	5	3	0	5	0	7	0	0	0	0	0	7	0	0	0	81	12
128–45	172	0–2	49	13	0	5	5	17	8	0	19	2	0	7	2	2	0	7	5	49	1
128–70	274	0–2	31	41	6	6	6	0	12	0	0	0	0	0	0	19	0	0	0	80	1
22-рейс НИС «Академик Борис Петров», сентябрь–ноябрь 1995 г.																					
22–42	276	0–2	0.6	2	0	28	2	0	30	0	0	0	4	0	0	16	0	0	0	80	1
22–41	242	0–2	6	1	6	1	2	0	47	0	1	0	0	8	0	0	2	0	0	86	3
22–44	308	0–2	12	3	13	16	7	0	22	25	0	0	6	0	0	0	0	0	0	94	0
22–51	335	0–2	13	26	15	17	0	0	0	28	0	0	0	0	0	0	3	0	0	96	1
22–57	272	0–2	162	0	0	0	0	1	1	0	6	4	0	44	5	8	1	7	0	2	13
22–59	272	0–2	20	3	0	6	0	39	3	3	8	7	0	4	8	1	0	4	1	61	0
49-й рейс НИС «Дмитрий Менделеев», октябрь 1993 г.																					
4381	375	0–2	23	4	3	3	13	0	38	19	0	0	5	0	0	0	2	0	0	87	0
12-й рейс НИС «Профессор Штокман», октябрь 1984 г.																					
1405	380	0–2	7	1	0	4	0	22	34	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Таблица 3. Число и состав раковин преобладающих видов бентосных фораминифер (БФ) в центральной части Карского моря (49-й рейс НИС «Дмитрий Менделеев», осень 1993 г., 12-й рейс НИС «Профессор Штокман», октябрь 1984 г.). Отдельно показаны доля агглютинированных раковин в ассоциациях БФ и доля планктонных форм (%)

№№	Глубина, м	Горизонт, см	Численность, экз/г	<i>Saccoriza ramosa</i>	<i>Hyperammia subnodosa</i>	<i>Reophax</i> spp	<i>Recurvoides</i> spp	<i>Cribrostomoides subglobosus</i>	<i>Trochammina nana</i>	<i>Buccella</i> spp	<i>Elphidium clavatum</i>	<i>Cassidulina reniforme</i>	<i>Islandiella norcrossi</i>	Доля агглютинированных форм, %	Планктон/ (бентос+планктон), %
4380	106	0–2	138	2	2	14	3	24	20	0	0	0	0	100	0
4382	72	0–2	18	3	0	2	3	17	42	0	0	0	0	99	0
4384	176	0–2	15	0	5	1	15	34	31	0	0	0	0	100	0
4385	119	0–2	1	0	0	0	0	71	0	0	0	0	0	100	0
4386	70	0–2	124	0	0	0	1	0	1	2	38	31	13	3	0
4387	150	0–2	12	3	0	18	14	16	14	0	11	1	0	87	0
4393	216	0–2	27	0	0	1	23	10	22	0	0	1	0	81	0
4394	138	0–2	10	3	11	5	5	6	16	0	9	15	0	57	0
1407	120	0–2	15	34	0	6	0	3	4	0	0	1	0	99	0

РЕЗУЛЬТАТЫ

Бентосные фораминиферы. Бентосные фораминиферы были отмечены во всех пробах, они представлены как агглютинированными, так и известковыми формами. В целом обнаруженная фауна бентосных фораминифер характерна для континентального склона Карского моря [3, 14, 20, 21, 26–30].

В желобах Карского моря на глубинах более 200 м широко распространены агглютинирующие формы — *Cribrostomoides subglobosus*, *Trochammina nana*, *Reophax* spp., *Recurvoides contortus*, *Saccorhiza ramosa*, секреторные — *Elphidium subarcticum*, *Melonis barleeanus*. Сообщество приурочено к зоне распространения коричневых илов, которые развиты во всей глубоководной части моря [6]. В придонном слое воды над коричневыми илами образуется высокий окислительно-восстановительный потенциал, а показатель активной реакции понижен, по-видимому, вследствие избытка CO_2 [7]. Этим объясняется очень малое количество карбонатов в осадках, тем не менее почти во всех пробах, полученных в желобах, в небольшом количестве присутствуют известковые раковины секреци-

онных видов. Во многих пробах обнаружены раковины планктонных видов. На коричневых грунтах некоторые животные находят благоприятные условия существования, в первую очередь иглокожие и ракообразные [12]. Л. А. Зенкевич отмечал на коричневых илах Карского моря обилие разнообразных кишечнорастных, моллюсков, а также детритоядных иглокожих (морских звезд) с их солидным известковым скелетом и в то же время отмечал процесс быстрого растворения мертвых моллюсков и явную недостаточность CaCO_3 для живых.

В северной части района, на крутом склоне желоба Святой Анны вблизи берега архипелага Новая Земля на станции 22–57 общая численность раковин значительно, на порядок, выше по сравнению с другими станциями, при этом комплекс составлен почти исключительно известковыми раковинами (98%). Только в этой пробе в изобилии встречен бентосный вид *Cibicides lobatulus*, который является сестонофагом и предпочитает усиленный гидродинамический режим. Его содержание достигает 44%. Планктонные формы в этой пробе составляют 12%.

В центральной части моря на глубине от 70 и до 200 м сообщество фораминифер представлено

в основном агглютинирующими формами, преобладают те же виды, что и в желобах, процент агглютинирующих видов выше, чем в желобах, местами составляет 100%, и только в одной пробе с самой маленькой глубины (70 м) в заметном количестве встречены известковые виды. Ни в одной пробе центральной части моря не найдено ни одной планктонной раковины [21] (табл. 3).

Планктонные фораминиферы. Как известно, планктонные фораминиферы обитают в водах высоких широт Атлантического и Тихого океанов, а также в Северном Ледовитом океане. Как правило, это немногочисленный комплекс, включающий всего несколько видов, принад-

лежащих к субполярной и умеренной климатическим группам [2], обычно он характеризуется доминированием, вплоть до 90–95% субполярного вида *Neogloboquadrina pachyderma* sin. Кроме этого вида в комплексе присутствуют умеренные виды — *Globigerina quinqueloba*. *G. bulloides*, *Globigerinita uvula*. *G. glutinata*. *Neogloboquadrina pachyderma* dex, а тепловодные виды планктонных фораминифер, принадлежащие к субтропической, тропической и экваториально-тропической группам, отсутствуют. В нашем исследовании только в одной пробе встречен комплекс, характерный для высоких широт — на станции 22–57 (табл. 4). Большой интерес для

Таблица 4. Распределение видов планктонных фораминифер в поверхностном (0–2 см) и подповерхностном (5–10 см) слоях осадков Карского моря, %

Группа	Виды	53–03 0–2 см	53–03 6–7 см	53–03 7–10 см	53–08 0–2 см	53–94 0–2 см	128–44 0–2 см	53–92 5–7 см	53–92 7–10 см	22–57 0–2 см
СА	<i>Neogloboquadrina pachyderma</i> sin	4				7	1			70
У	<i>Globigerina quinqueloba</i>	2			+	10	3			
У	<i>Globigerina bulloides</i>	2			+	3		3		10
У	<i>Globigerinita glutinata</i>	23			+	37	19	13	+	10
У	<i>Neogloboquadrina pachyderma</i> dex	2				3				10
У	<i>Globigerinita uvula</i> cf	1								
СТ	<i>Globorotalia scitula</i>	2				3				
СТ	<i>Globorotalia truncatulinoides</i>							6	+	
СТ	<i>Globigerina falconensis</i>				+				+	
СТ	<i>Globigerinita humilis</i>				+		29		+	
СТ	<i>Globigerina calida</i> cf	4				3				
СТ	<i>Globigerinita iota</i>					7	8			
Т	<i>Globigerinoides ruber</i>	22	+		+	7	12	29	+	
Т	<i>Globigerinoides conglobatus</i>	6			+			3		
Т	<i>Globoquadrina dutertrei</i>	6	+							
Т	<i>Globigerina rubescens</i>	6			+	3	19	35	+	
Т	<i>Globigerinoides tenellus</i>			+			6		+	
ЭТ	<i>Globigerinella aequilateralis</i>	8				3				
ЭТ	<i>Globigerinoides sacculifer</i>	2	+		+	7		10	+	
ЭТ	<i>Globorotalia menardii</i>	4								
ЭТ	<i>Candeina nitida</i>	4					2			
ЭТ	<i>Globigerina (Beella) digitata</i> cf	2				3				
Т-ЭТ	<i>Streptochylis</i> sp.				+	3				

Примечание. Климатические группы видов планктонных фораминифер (Бараш, Блум, 1974): СА — субарктическая; У — умеренная, СТ — субтропическая, Т — тропическая, ЭТ — экваториально-тропическая. Проценты видов определены условно, поскольку содержание раковин в пробе часто составляет менее 100 (70–80) экземпляров. Знак + означает присутствие вида в пробе.

палеоокеанологии и климатологии представляют неожиданные и довольно многочисленные находки тепловодных видов (рис. 1) в таком холодноводном и мелководном регионе, как Карское море.

Планктонные виды найдены в четырех пробах Карского моря, где они составляли более 12% от общего числа фораминифер (рис. 1). Две пробы были получены в 66-м рейсе НИС «Академик Мстислав Келдыш» в июле 2016 г., и они содержат богатую фауну тепловодных фораминифер, включающую субтропическую, тропическую и экваториально-тропическую группы видов. Самую высокую долю — 47% — они составили в пробе 5303, взятой у южного края Новоземельского желоба (табл. 4). Около 20% тепловодных видов содержится в двух пробах из южного района желоба (ст. 5394) и вблизи его северного окончания (ст. 5308). Обе станции взяты в том же рейсе НИС «Академик Мстислав Келдыш». Небольшая часть (около 12%) тепловодных видов содержится в пробе 128–44, полученной в желобе Святой Анны (Северный Ледовитый океан) в 128-м рейсе НИС «Профессор Штокман» в августе 2014 г. И, как говорилось выше, только в одной пробе (22–57) из северной части Карского моря вблизи архипелага Новая Земля, полученной в сентябре 1995 г., встречены только холодноводные виды, причем больше 2/3 комплекса составляет субполярный вид *Neoglobobadrina pachyderma* sp. Все встреченные тепловодные виды являются «экзотическими» для этого региона. Их раковины отличаются мелкими размерами и довольно тонкими стенками, незрелостью, которая выражается в уменьшенном количестве камер в последнем обороте. По гидрологическим данным [17], температура поверхностного слоя воды Карского моря летом достигает только 8–10°C вблизи приустьевых районов под влиянием речного стока. В юго-западной части Карского моря при притоке теплых вод из Баренцева моря она достигает 6–8°C, но в основном составляет 3–4°C. Эти температуры слишком низкие для субтропических видов, которые предпочитают среднегодовые температуры воды выше 15°C, и тем более для тропических и экваториально-тропических видов, которые растут и размножаются при среднегодовых температурах 24°C и выше. Поэтому мы предполагаем, что эти раковины были принесены течениями из Атлантики. Аналогичные данные по тепловодным видам в холодных реги-

онах были приведены в литературе, посвященной фораминиферам (табл. 5), а именно: из бухт Баренцева моря [19], из осадков моря Лаптевых [15], из колонки, взятой в центральной глубоководной Арктике [4], а также из водной толщи моря Лаптевых и пролива Фрама [31]. Появление экзотических тепловодных видов, несомненно, отражает мощный приток атлантических вод и, скорее всего, раковины перемещались с самым поверхностным, наиболее прогреваемым слоем воды (рис. 2).

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Неожиданные находки тепловодных экзотических для Карского моря видов планктонных фораминифер вызывают вопрос, откуда они могли там появиться? Вероятно, они приплыли или как живые организмы, или только их пустые раковины с течениями из низких широт. По нашему мнению, наиболее вероятным таким течением является Гольфстрим, который переходит затем в Северо-Атлантическое течение. Гольфстрим берет начало в низких широтах Северной Атлантики в районе Мексиканского залива и движется на северо-восток со скоростью 6 км/час, иногда его скорость достигает 10 км/час, таким образом, раковины, двигаясь пассивно вместе с течением, могли в сутки пройти около 140–150 км, а за месяц — 4000–4500 км и попасть из тепловодных тропических районов в высокие широты Северной Атлантики и в Арктику. Время жизни планктонных фораминифер составляет от нескольких недель до 2 месяцев, однако и пустые раковины тоже могут некоторое время плыть с течением [31].

Другой вопрос, когда найденные нами раковины попали в осадки Карского моря?

Поступление и осаждение биоматериала атлантического происхождения более вероятны вдоль восточного побережья Новой Земли в северной части и в южной. В районе желоба Святой Анны и Воронина также возможна встречаемость перенесенных в составе фрамовской ветви атлантических видов. Осаждению может способствовать резкая изменчивость направлений течений, возникновение фронтов, вызванных встречными течениями.

Глубина, с которой получены пробы, составляет менее 300 м. На такую глубину пустые раковины при отсутствии сильного течения могут опуститься за несколько дней. Следовательно,

Таблица 5. Находки тепловодных видов планктонных фораминифер в Арктике по литературным данным

Станции (Автор)	Район, координаты	Виды	Возраст. Примечание
Вода 300–500 м (Volkman, 2000)	Море Лаптевых внешний край	<i>Globigerina falconensis</i> . (CT), <i>Globigeri-noides ruber</i> (T), <i>Globigerina rubescens</i> (T), <i>Globoturbotalita tenella</i> (T), <i>Globigerinella aequilateralis</i> (ЭТ)	Современность
Колонка PS51/154-11 (Овсеян и др., 2015)	Море Лаптевых 77° с. ш. 120° в. д. глубина 270 м (15.4–17.6 тыс. лет назад)	<i>Globorotalia scitula</i> (CT), <i>G. inflata</i> (CT), <i>Orbulina universa</i> (T)	Конец плейстоцена
Приледниковые бухты (Потехина и др., 1991)	Баренцево море, бухты Северного острова Новой Земли: Машигина-Ледянка, Борзова, Иностранцева	<i>Globorotalia scitula</i> (CT), <i>G. inflata</i> (CT), <i>G. truncatulinoides</i> (CT), <i>Globigerinoides ruber white and rink</i> (T), <i>G. conglobatus</i> (T), <i>G. sacculifer</i> (ЭТ)	4–6 тыс. лет, раковины мелкие
Колонка 18 (Матуль и др., 2007)	Море Лаптевых, 75° с. ш., 134° в. д. Глубина 46 м	<i>Globigerina humilis</i> (CT), <i>Globorotalia inflata</i> (CT), <i>G. truncatulinoides</i> (CT), <i>G. hirsuta</i> (CT), <i>Globigerinoides ruber white and rink</i> (T) (60%), <i>G. conglobatus</i> (T), <i>G. rubescens</i> (T), <i>Globoturbotalita tenella</i> (T), <i>Globorotalia tumida</i> (T), <i>Globoquadrina hexagona</i> (ЭТ), <i>Globigerinella aequilateralis</i> (ЭТ), <i>Globorotalia menardii</i> (ЭТ)	5100–6200 лет назад. Судя по присутствию <i>G. hexagona</i> , это межстадиал плейстоцена
Колонка 34 (Беляева и др., 1993)	Хребет Менделеева, 79° с. ш., 178° з. д. Глубина 1397 м	<i>Globigerinoides truncatulinoides</i> (CT), <i>Globoquadrina dutertrei</i> (T), <i>Globigerinoides ruber</i> (T), <i>G. sacculifer</i> (ЭТ)	Матуяма. Возможно, межледниковье. Раковины мелкие

раковины планктонных фораминифер попали в осадки совсем недавно — в течение этого летнего сезона, именно летом они смогли оказаться в Карском море. Косвенным подтверждением недавнего попадания в осадок планктонных фораминифер является состав фауны бентосных фораминифер из этих же проб. В них в большом количестве присутствуют виды, имеющие агглютинированные раковины и раковины, обладающие карбонатным скелетом. Это указывает на растворение карбонатов. Если бы планктонные фораминиферы, также обладающие карбонатным скелетом, попали бы в осадок давно, то их раковины уже растворились бы.

Как упоминалось выше, находки экзотических тепловодных видов планктонных фораминифер отмечались ранее. Так, в работе Р. Фолкманн [31] указывалось, что в слое воды 300–500 м в море Лаптевых были встречены в небольшом количестве пустые (без плазмы) раковины экваториально-тропического вида *Globigerinella aequilateralis*, тропических ви-

дов *Globigerinoides ruber*, *Globigerina rubescens*, *Globoturbotalita tenella* и субтропического вида *Globigerina falconensis* (рис. 2). Авторы данной статьи связывают их появление с транспортом атлантических водных масс в Арктику.

Р. Фолкманн сообщает, что кроме немногочисленных экзотических раковин, в воде были встречены многочисленные холодноводные, характерные для высоких широт, виды. Было показано, что живые фораминиферы максимальны в слое воды 50–100 м в проливе Фрама и в море Лаптевых и в слое воды 100–150 м в Баренцевом море, а пустые раковины встречаются на всех глубинах в одинаковом количестве. В том же море Лаптевых, но уже в осадке [18], в горизонте, который авторы отнесли к позднему плейстоцену (15.4–17.6 тыс. лет назад), были встречены субтропические — *Globorotalia scitula*, *G. inflata* и тропический вид *Orbulina universa* (табл. 5). Их нахождение авторы связывают с атлантическим течением. Это нижний горизонт в колонке. Интересно, что в верхних

горизонтах, относящихся к концу плейстоцена и к голоцену, тепловодные виды отсутствуют, хотя климат был теплее, чем во время формирования нижнего горизонта.

Сопоставление наших данных с литературными показывает, что находки тепловодных видов планктонных фораминифер локализуются в двух регионах (рис. 2): либо вблизи Новой Земли с ее восточной стороны (данная работа) — в Карском море и у западного побережья Новой Земли в Баренцевом море [19], либо у внешнего края моря Лаптевых [15]. В центральной Арктике (рис. 2) Беляевой и др. [4] тепловодные виды (табл. 5) были встречены в горизонте, сформировавшемся, судя по палеомагнитным данным, в эпоху Матуяма, то есть более 700 тыс. лет назад. В этих пробах присутствовали виды, относящиеся к экваториально-тропической, тропической и субтропической группам.

Проанализировав все перечисленные литературные источники, мы констатируем, что наиболее богатый комплекс, содержащий 12 видов, отмечен на внешнем крае моря Лаптевых. Несомненно, что все находки объясняются проникновением в высокие широты теплого течения из Атлантики, а выпадение переносимых им раковин в этих регионах, возможно, связано с уменьшением скорости течения на мелководье или другими гидрологическими факторами.

Интересно, что теплое течение проходит через Баренцево море, но там находки комплексов тепловодных видов планктонных фораминифер не отмечаются. Известно, что теплое течение из Атлантики проходит в том секторе Северного Ледовитого океана, который прилегает к российскому побережью, а в сектор, прилегающий к американскому побережью, проникают менее теплые воды из Северной Пацифики, и там находки тепловодных планктонных фораминифер отсутствуют.

В пробах Карского моря (табл. 4) встречены также холодноводные виды, принадлежащие к субполярной и умеренной группам. Эти раковины вполне могут быть местного происхождения, хотя не исключена возможность приноса части холодноводных раковин из Баренцева моря и высоких широт Атлантики с тем же теплым течением.

Все пробы из Карского моря, в которых присутствуют тепловодные виды, были получены во время летних сборов, и это тоже, вероятно, связано с гидрологическими условиями.

В 2010 г. была опубликована статья [25], где сообщалось, что вблизи Шпицбергена в высоких широтах (80° с. ш.) в нескольких планктонных пробах, полученных в августе 2009 г., была обнаружена тепловодная фауна радиолярий. Радиолярии являются планктонными организмами, но в отличие от планктонных фораминифер обладают не карбонатным, а кремнистым скелетом. Как указывают авторы статьи, в пробах были встречены тропические и субтропические виды, причем из 145 известных современных видов присутствовали 98. Географическое положение этих станций находится на пути или вблизи (рис. 2) одной из ветвей теплого течения. Следовательно, не только планктонные фораминиферы, но и другие планктонные организмы заносятся течениями из низких широт в Арктику: интересно, что находки обеих групп планктонных организмов (фораминифер и радиолярий) относятся к летнему сезону.

ВЫВОДЫ

1. В районах глубоководных желобов Карского моря были изучены осадки, содержащие планктонные и бентосные фораминиферы. Фауна бентосных фораминифер характерна для данного района, комплекс представлен известковыми, но в большинстве агглютинирующими видами, в центральной части моря на глубинах свыше 70 м сообщество бентосных фораминифер состоит исключительно из агглютинирующих форм.
2. Кроме бентосных фораминифер, в осадках желобов Карского моря обнаружены планктонные фораминиферы: они представлены экзотическими для этого района тепловодными видами, относящимися к экваториально-тропической, тропической и субтропической группам. Но ни одной планктонной раковины — ни местной, ни экзотического происхождения — не найдено в центральной части моря.
3. Появление тепловодных видов планктонных фораминифер в холодноводных районах (и в глубоководных желобах Карского моря, и в бухтах Новой Земли Баренцева моря, и в море Лаптевых, и в Арктическом бассейне, в районе хребта Менделеева) объясняется переносом их в летний сезон из низких широт Атлантики мощным теплым течением Гольфстримом, переходящим в Северо-Атлантическое течение.

4. Тепловодные виды планктонных фораминифер встречены не только в поверхностном и подповерхностном слое осадков, в осадках голоцена, плейстоцена, но и в осадках эпохи Матуяма — более 700 т. лет назад.

Источник финансирования. Работа выполнена в рамках государственного задания ФАНО России (тема № 0149-2019-0007) при поддержке РНФ (проект № 16-47.02009) (разделы статьи «Обсуждение» и «Выводы»).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ашик И. М., Кириллов С. А., Макитас А. П. и др. Основные результаты морских исследований Арктики в XXI веке // Проблемы Арктики и Антарктики. 2010. № 1 (84). С. 100–115.
2. Бараш М. С., Блюм Н. С. Распространение видов планктонных фораминифер в осадках Атлантического океана в зависимости от температуры воды // Микрорепалеонтология морей и океанов. М.: Наука, 1974. С. 138–149.
3. Басов В. А., Слободин И. Я. Комплексы фораминифер из современных и позднекайнозойских отложений западной части Советской Арктики // Тр. НИИГА. 1965. Т. 143. С. 190–200.
4. Беляева Н. В., Хусид Т. А., Чеховская М. П. Фораминиферы в позднечетвертичных осадках Центральной Арктики // Стратиграфия отложений и палеоокеанология Мирового океана. М.: Наука, 1993. С. 141–148.
5. Васильев А. А., Стрелецкая И. Д., Широков Р. С., Облогов Г. Е. Эволюция криолитозоны прибрежно-морской области западного Ямала при изменении климата // Криосфера Земли. 2011. Т. XV. № 2. С. 56–64.
6. Горшкова Т. И. Осадки Карского моря // Тр. Всес. гидробиол. о-ва. 1957. Т. 8. С. 24–36.
7. Добровольский А. Д., Залогин Б. С. Моря СССР. М.: Мысль, 1965. 350 с.
8. Добровольский А. Л., Залогин Б. С. Моря СССР. М.: Изд-во МГУ, 1982. 192 с.
9. Зацепин А. Г., Кучерук Н. В., Поярко С. Г. и др. Комплексные исследования экосистемы Карского моря (54-й рейс научно-исследовательского судна «Академик Мстислав Келдыш») // Океанология. 2008. Т. 48. № 6. С. 947–951.
10. Зацепин А. Г., Поярко С. Г., Кременецкий В. В. и др. Гидрофизические характеристики глубоководных желобов западной части Карского моря // Океанология. 2015. Т. 55. № 4. С. 526–539.
11. Зацепин А. Г., Морозов Е. Г., Пака В. Т. и др. Циркуляция вод в юго-западной части Карского моря в сентябре 2007 г. // Океанология. 2010. Т. 50. № 5. С. 683–697.
12. Зенкевич Л. А. Биология морей СССР. М.: Изд-во АН СССР, 1963. 739 с.
13. Иванов В. В., Аксенов Е. О. Трансформация Атлантической воды в восточной части котловины Нансена по данным наблюдений и моделирования // Проблемы Арктики и Антарктики. 2013. № 1 (95). С. 72–87.
14. Корсун С. А., Погодина И. А., Тарасов Г. А., Матишов Г. Г. Фораминиферы Баренцева моря (гидробиология и четвертичная палеоэкология). Апатиты: Кольский научный центр РАН, 1994. 140 с.
15. 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.
16. Махотин М. С., Иванов В. В. Распространение атлантических водных масс в Баренцевом море по данным наблюдений и численного моделирования // Тр. Гидрометцентра России. 2016. Вып. 361. С. 169–191.
17. Национальный атлас России. Главная редакция НАР при Госцентре «Природа». Т. 2. 2007.
18. Овсепян Я. С., Талденкова Е. Е., Баух Х. А., Кандиано Е. С. Реконструкция событий позднего плейстоцена–голоцена на континентальном склоне моря Лаптевых по комплексам бентосных и планктонных фораминифер // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 2015. Т. 23. № 6. С. 96–112.
19. Потехина Е. М., Хусид Т. А., Беляева Н. В. Фораминиферы и минеральные включения бухтовых льдов Северного острова Новой Земли // Бюл. Моск. об-ва испытателей природы. Отд. геол. 1991. Т. 66. Вып. 2. С. 126–127.
20. Талденкова Е. Е., Баух Х. А., Степанова А. Ю. и др. Изменения палеосреды шельфов морей Лаптевых и Карского в ходе послеледниковой трансгрессии (по ископаемым остракодам и фораминиферам) // Система моря Лаптевых и прилегающих морей Арктики: современное состояние и история развития. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2009. С. 384–409.
21. Хусид Т. А. Сообщества бентосных фораминифер в Карском море // Океанология. 1996. Т. 36. № 5. С. 759–765.
22. Шука С. А., Кременецкий В. В., Недоспасов А. А., Корж А. О. Структура течений Карского моря // Материалы научной конференции. Экосистема Карского моря — новые данные экспедиционных исследований. Москва, 2015. С. 34–39.
23. Шука С. А., Кременецкий В. В., Недоспасов А. А., Корж А. О. Структура течений в проливе Карские ворота // Материалы научной конференции. Экосистема Карского моря — новые данные экспедиционных исследований. Москва, 2015. С. 39–45.
24. Aksenov Y., Ivanov V. V., Nurser A. J. G. et al. The Arctic Circumpolar Boundary Current // J. Geophys. Res. 2011. V. 116. C09017. P. 1–28. doi:10.1029/2010JC006637.
25. Bjorklund K. R., Kruglikova S. B., Anderson O. R. Modern incursions of tropical Radiolaria into the Arctic Ocean // J. of Micropaleontology. 2012. V. 31. P. 139–58. doi: 10.1144/0262-821X11-030
26. Korsun S. Benthic foraminifera in the Ob estuary, West Siberia // Berichte zur Polarforschung. 1999. № 300. P. 59–70.
27. Korsun S., Hald M. Modern benthic foraminifera off Novaya Zemlya tidewater glaciers, Russian Arctic // Arctic and Alpine Research. 1998. V. 30. № 1. P. 61–77.

28. Polyak L., Korsun S., Febo A. et al. Benthic foraminiferal assemblages from the southern Kara sea, a river-influenced Arctic marine environment // *J. Foram. Res.* 2002. V. 12. № 3. P.252–273.
29. Polyak L., Levitan M., Gataulin V. et al. The impact of glaciation, river-discharge and sea-level change on Late Quarternary environments in the southwestern Kara Sea // *International Journal of Earth Sciences.* 2000. V. 89. P. 550–562.
30. Todd R., Low D. Foraminifera from the Kara and Greenland Seas and review of Arctic studies // *Geol. Surv. Profess. Pap.* 1980. № 1070. P. 1–30.
31. Volkman R. Planktic foraminifers in the outer Laptev Sea and Fram Strait –Modern distribution and ecology // *J. of Foraminiferal Res.* 2000. V. 55. P. 75–105.

THE WARM WATER PLANKTONIC FORAMINIFERA IN THE SEDIMENTS OF KARA SEA

© 2019 N. S. Oskina*, T. A. Khusid**, N. V. Libina, M. M. Domanov, A. G. Matul

Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

*e-mail: nsoskina@mail.ru

**e-mail: tkhusid@mail.ru

Received May 24, 2017

Revised version received April 04, 2018

After revision July 02, 2018

Article is devoted to a research of warm-loving species of planktonic foraminifera in the Arctic. Fauna of the planktonic and the benthic foraminifera in the surface and subsurface layer of the Kara Sea sediments was studied. It is found that complexes of the benthic foraminifera are characteristic for this region. It is shown also what at complexes of planktonic foraminifera the significant amount of kinds of warm-loving species from equatorial, tropical and subtropical regions are presented. It is supposed that they are brought to the Arctic by a current from low latitudes. The received results are compared with the published data. Earlier it was shown that alive warm-loving species meet in waters of the Laptev Sea and their shells were observed in the present sediments of the marginal part of the Laptev Sea.

Keywords: planktonic foraminifera, foraminifera, bentos, warmwater foraminifera, current, sediments