

УДК 551.89

СОВРЕМЕННЫЕ И ПОЗДНЕГОЛОЦЕНОВЫЕ ПРИРОДНЫЕ УСЛОВИЯ НА ШЕЛЬФЕ ЮГО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ МОРЯ ЛАПТЕВЫХ ПО ДАННЫМ МИКРОФОССИЛИЙ

© 2007 г. А. Г. Матуль, Т. А. Хусид, В. В. Мухина, М. П. Чеховская, С. А. Сафарова

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

Поступила в редакцию 20.02.2006 г.

Изучение диатомей и бентосных фораминифер на шельфе юго-восточной части моря Лаптевых показало, что наиболее разнообразные и богатые по численности современные комплексы микрофоссилий образуются на небольшом удалении от дельты р. Лены, в пределах маргинального фильтра моря Лаптевых. В этом районе сильно выражено взаимодействие пресной воды сибирских рек и морской бассейновой воды, в том числе, атлантического происхождения. Местные природные условия в позднем голоцене (последние ~2300 лет) отразили основные региональные и глобальные изменения палеоклимата, включая потепление средних веков ~600–1100 лет назад и малый ледниковый период ~100–600 лет назад. Кроме того, по данным планктонных фораминифер сделано предположение о возможном сильном влиянии потока атлантической воды в оптимуме голоцена ~5100–6200 лет назад.

ВВЕДЕНИЕ

Северный Ледовитый океан считается экстремально чувствительным к глобальным природным изменениям и является одним из ключевых районов в генерировании климатических флуктуаций северного полушария [23]. Многочисленные исследования в западных арктических морях Евразии выявили основные черты изменения палеосреды этих акваторий по окончании последнего оледенения и зафиксировали события усиленного притока теплой североатлантической воды в Баренцево и Карское моря в голоцене [15, 25]. О распространении атлантических вод далее на восток в окраинные моря Евразии и их взаимодействии с мощным потоком пресных речных вод известно мало. Палеогеографические исследования в море Лаптевых дают возможность ближе понять эти процессы.

В данной работе представлены результаты микропалеонтологического анализа современных и голоценовых осадков юго-восточной шельфовой части моря Лаптевых. Мы (а) изучали распределение створок диатомовых водорослей и раковин донных фораминифер в поверхностном слое осадков для установления корреляции с современными физико-географическими условиями, (б) использовали выявленные современные закономерности при интерпретации данных по распределению микрофоссилий в голоценовых отложениях для выполнения реконструкций. Были уточнены пределы и форма влияния пресноводного стока р. Лены на современные шельфовые ассоциации микроорганизмов приповерхностного и придонного слоев юго-восточной части моря Лаптевых. При

изучении колонок донных осадков выявлены этапы палеогеографических изменений в этом районе в течение позднего голоцена.

РАЙОН И МАТЕРИАЛ ИССЛЕДОВАНИЯ

Море Лаптевых располагается в центральной части обширного Сибирского шельфа и является ключевым районом образования пресноводного баланса и ледового режима Арктики [19]. Более одной четверти континентальной пресной воды в Арктический океан поставляется через море Лаптевых, в основном, из бассейна р. Лены [16]. Около 90% годового объема стока р. Лены происходит с июня по октябрь, во время летнего продуктивного периода [17]. Под влиянием речного стока в прибрежных районах образуется сильная летняя приповерхностная стратификация с опресненным верхним слоем 0–7 м, который изолирован от нижних горизонтов четким сезонным пикноклином [2]. Тимохов [28] обобщил основные региональные параметры гидрологии моря Лаптевых. Зимой в пределах стационарной прибрежной полыньи вода охлаждается до -2°C , а летом в придельтовых районах температура на поверхности может достигать $8-10^{\circ}\text{C}$ под влиянием относительно теплой воды сибирских рек. Более 90% распресненной воды с соленостью ≤ 10 psu (potential salinity units) локализовано вблизи дельты р. Лены, в основном, в восточной части моря Лаптевых. Отчетливый поток распресненной поверхностной воды, в котором речная вода составляет $\geq 50\%$ при общей солености ≤ 15 psu и температуре $\geq 4-5^{\circ}\text{C}$, направлен от северо-восточной части

дельты р. Лены к северо-западной части о. Котельный [1, 13, 14, 28] (рис. 1). Существует значительный градиент солености поверхностной воды от ≤ 10 до 28–30 psu по направлению к северо-западной части моря, где преобладают холодные (поверхностная температура $\leq 1-2^\circ\text{C}$) и соленые бассейновые арктические водные массы. Придонная вода изолирована от верхних слоев основным и сезонным пикноклимами [14]. В самой мелководной части моря параметры придонной воды зависят от зимней обстановки на поверхности, когда конвекция распространяется до дна, но слабо изменяются летним пресноводным стоком из-за приповерхностной стратификации [14]. По данным из World Ocean Atlas 2001 [12], температура у дна по всей акватории составляет от -1 до -2°C , а содержание кислорода достигает 5.3–7.5 мл/л. Придонная соленость мало меняется в пределах бассейна, составляя в среднем 28–30 psu и только у самого побережья снижаясь до 20–25 psu [11]. Летом на поверхности южной части моря под воздействием сильных южных ветров развиваются устойчивые северонаправленные течения, а на глубине образуются реверсивные, компенсационные “апвеллинговые” течения, которые в слое 20–40 м могут приносить к побережью более теплую атлантическую воду [1]. По мнению Дмитренко и др. [1], реверсивные течения могут быть типичны для подводных реликтовых речных долин на востоке моря Лаптевых (рис. 1).

Помимо пресной воды, реки приносят с суши большие массы органического и минерального вещества во взвешенном и растворенном виде, которые мобилизуются в морские осадки преимущественно вблизи устьев и во внутренних частях шельфа – в маргинальных фильтрах, – где наиболее отчетливо выражено взаимодействие речных и морских вод [3]. Высокие скорости седиментации (>100 см за 1000 лет) в пределах маргинального фильтра моря Лаптевых [5] служат предпосылкой получения высокоразрешающих записей развития палеосреды с момента окончания последнего оледенения.

Основа исследования – анализ микрофоссилий из донных осадков: диатомей (кремнистая микрофлора) и фораминифер (известковая микрофауна). К обсуждению также привлечены сведения по спорово-пыльцевым комплексам. Ассоциации диатомей моря Лаптевых включают в себя виды пресно- и солоноватоводные, морские, ледовые, холодноводные и, очень редко, умеренно-тепловодные. Они дают информацию о гидрологических условиях поверхностных, а на мелководье и придонных вод: температуре, солености, возможном характере ледового покрова, притоке пресной речной воды, проникновении водных масс атлантического происхождения. Фораминиферы изучены во фракции ≥ 0.05 мм. Бентосные фораминиферы, обладающие монолитными известковыми и

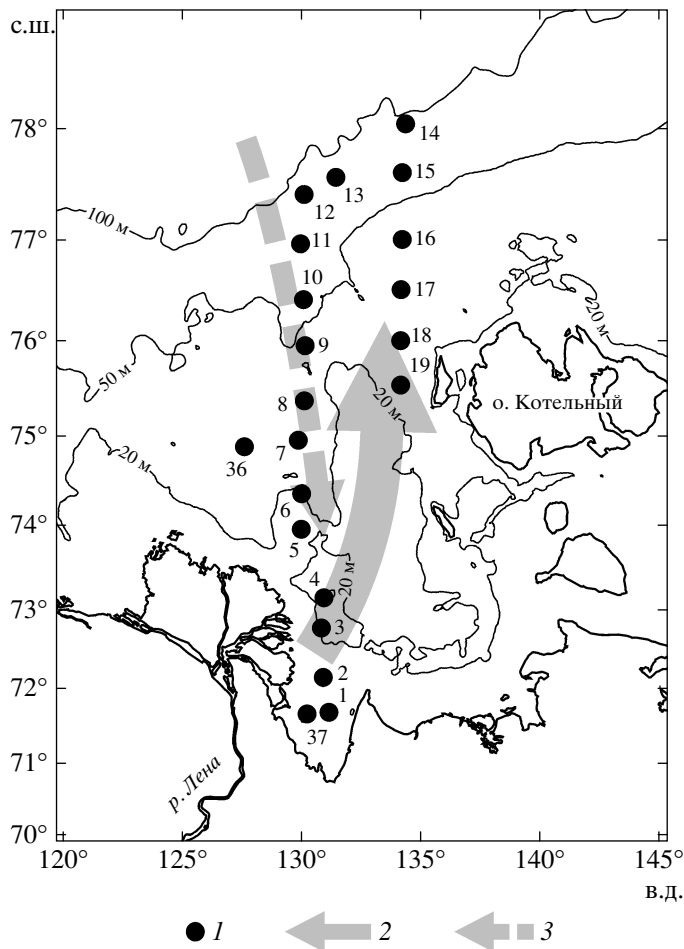


Рис. 1. Положение изученных станций. 1 – станция; 2 – поток пресной поверхностной воды [1, 12, 13, 27]; 3 – предположительный поток придонной воды атлантического происхождения [1].

немонолитными (аглоutinированными – состоящими из минеральных частиц и склеивающего карбонатного секрета) раковинами, отражают температуру, степень аэрации в придонном слое, общий уровень биопродуктивности и поступление биогенного вещества на дно. Планктонные фораминиферы зависят от условий подповерхностной воды и могут говорить, в нашем случае, о притоке морских водных масс из других бассейнов. Степень сохранности диатомей и фораминифер позволяет в общем виде определять агрессивность воды по отношению к биогенному кремнезему и карбонату. Спорово-пыльцевые спектры дают общее представление о развитии растительности на прилегающей суше. Для реконструкций природных условий геологического прошлого (палеорекоконструкций) используются сведения об обилии разных видов микрофоссилий в толще осадков, отразившем параметры окружающей среды.

Распределение микрофоссилий исследовалось на внутреннем шельфе южной и восточной ча-

Таблица 1. Место взятия проб и скорость седиментации в колонках

№ станции	Координаты		Глубина моря, м	Орудие отбора проб: Дч – дночерпатель, ТБД – трубка большого диаметра	Длина разреза, см	Скорость седиментации, см/1000 лет [5]
	с.ш.	в.д.				
1	71°42′	131°20′	12.5	Дч	4	
2	72°10′	131°00′	14.5	Дч	4	
3	72°41′	130°57′	22	Дч	4	
4	73°10′	131°00′	26	Дч	4	
4	73°14′	131°00′	26	ТБД	300	170
5	73°55′	129°59′	21	Дч	4	
6	74°21′	130°00′	20	Дч	4	
7	74°53′	129°59′	37	ТБД	292	125
8	75°24′	130°03′	48	Дч	4	
9	75°52′	130°05.8′	48	Дч	4	
10	76°22.4′	130°00.6′	55	Дч	4	
11	76°52′	129°59.6′	66	Дч	4	
12	77°23′	130°01′	66	Дч	4	
13	77°35′	131°30′	71	Дч	4	
14	78°02′	134°11′	81	Дч	4	
15	77°37′	134°03′	74	Дч	4	
16	76°59′	134°02′	37	Дч	4	
17	76°30.5′	134°00′	32.5	Дч	4	
18	75°00′	134°00′	46	ТБД	215	
19	76°30′	134°00′	33	Дч	4	34.5
36	74°52′	127°30′	20	Дч	4	
37	71°38′	130°22′	13	Дч	4	

стей моря Лаптевых с глубиной от 12.5 до 81 м – от дельты р. Лены по профилям вдоль $\sim 130^\circ$ и $\sim 134^\circ$ в.д. между 71° и 78° с.ш. (рис. 1, табл. 1). Осадочный материал получен Российско-Французской экспедицией SPASIBA на НИС “Яков Смирницкий” в 1991 г. [22]. Пробы поверхностного слоя осадков – терригенных пелитовых илов – отобраны дночерпателем “Океан”, а осадки голоцена – трубкой большого диаметра. Осадки в колонках представлены терригенными пелитовыми илами зеленовато-черного цвета, плотность которых увеличивается вниз по разрезу.

Далее в тексте обсуждаются те колонки осадков, по которым получена наиболее достоверная и непрерывная микропалеонтологическая информация. Определения возраста осадков, скоростей седиментации, характеристика терригенного вещества в исследованных нами колонках даны в публикациях Купцова и Лисицына [5, 20]. Корреляция колонок сделана в этих работах на основе записей магнитной восприимчивости, а возраст осадков рассчитывался по средним значениям скоростей седиментации, определенным по распределению радиоуглерода в органическом веществе. Колонка 4 длиной 300 см охватывает по-

следние ~ 1760 лет. Колонка 7 длиной 292 см охватывает последние ~ 2320 лет. Колонка 18 длиной 215 см охватывает последние ~ 6200 лет.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Диатомей в поверхностном слое осадков. Количество диатомей в поверхностном слое осадков не превышает 1.3×10^6 створок в 1 г осадка, подтверждая данные Кремера [13] о невысокой аккумуляции диатомей в современных отложениях моря Лаптевых. Их распределение по акватории не равномерно, что связано, вероятно, с нестабильностью шельфового гидрологического режима, относительно низкой продуктивностью поверхностных вод, частичным растворением кремневых панцирей диатомей, особенно в мористых районах, и значительным накоплением терригенного материала, который сильно “разбавляет” биогенную составляющую осадка на мелководном шельфе. Наиболее богаты по численности и видовому разнообразию комплексы диатомей, найденные на станциях из приустьевой провинции от побережья к северу до $\sim 73.5^\circ$ с.ш. (станции 1–4), т.е. в зоне маргинального фильтра моря

Лаптевых. Всего в поверхностном слое осадков определено 27 видов, относящихся к 22 родам пресноводного и солоноватоводного генезиса, а также 22 морских таксона, относящихся к 10 родам (табл. 2). Сохранность панцирей диатомей в ряде проб плохая. Кроме того, отдельные формы микрофоссилий имеют тончайшую, трудно различимую структуру створок, что затрудняет определение их точной систематической принадлежности.

Диатомовые комплексы представлены видами преимущественно холодолюбивой и умеренно-холодолюбивой природы солоноватоводного, пресноводного и морского генезиса. В поверхностном слое осадков присутствуют морские виды, в частности, *Thalassiosira gravida*, *Thalassionema nitzschioides*, *Chaetoceros* spp. (споры), а доминируют виды мезогалобы, обитающие в солоноватых водах (соленость 5–20 psu) и виды-олигогалобы, распространенные в пресных водах (соленость 0–5 psu). Среди мезо- и олигогалобов наиболее заметны *Aulacosira granulata*, *A. italica*, *A. islandica*, *Navicula pennata*, *N. clementis*, *Stephanodiscus astraea*, *Asterionella formosa*, *Eunotia praeurupta*, *Fragillaria* sp., *Cymbella* sp. Наличие в комплексах диатомей типично пресноводных видов-галлофобов, полностью исключающих присутствие в воде морских солей, обусловлено выносом их в море речным стоком.

В поверхностном слое осадков северной акватории (станции 7–19) в ассоциациях диатомей доминируют морские и солоноватоводные формы: *Thalassiosira decipiens*, *Th. excentrica*, *Th. bramaputra* var. *septentrionalis*, *Chaetoceros subsecundus*, *Ch. furcellatus*, *Ch. mitra*, *Navicula distans*, *Nitzschia oceanica*, *Paralia sulcata* и др. Пресноводные диатомеи в комплексах мористого участка почти не найдены.

Бентосные фораминиферы в поверхностном слое осадков. Всего в нашем материале (современном и ископаемом) найдено 88 видов фораминифер, из которых подавляющее большинство представлено бентосными формами. В поверхностных (современных) осадках встречена разнообразная фауна моллюсков (бивальвий и гастропод) и несколько видов остракод.

Бентосные фораминиферы (БФ) из поверхностного слоя осадков принадлежат к 57 видам, большинство имеет известковые раковины (табл. 3). Наименьшее число видов (2–4) и минимальная общая концентрация (до 20 экземпляров в отмытой пробе весом ~20 г) обнаружены на мелководных станциях 1 и 37 с глубины 12.5–13 м, расположенных в непосредственной близости к устью р. Лены, а также на станции 36 с глубины 20 м. На более удаленных от берега станциях с глубиной 15–48 м число видов увеличивается до 11–23. Максимум числа видов и общей численности БФ отмечен на ст. 4. В пяти пробах с глубины 12–25 м

встречены единичные раковины планктонных фораминифер *Globigerina* spp., в том числе на станциях 3 и 4 – по 6 экземпляров.

Виды с монолитными известковыми раковинами составляют преобладающую долю по численности экземпляров в населении БФ на изученных станциях. Почти половина (24) из встреченных видов БФ в поверхностных осадках моря имеют агглютинированные (немонолитные) раковины. На их долю приходится от 15 до 37% от суммарного числа экземпляров в тех пробах, где возможны количественные подсчеты видовых соотношений. Массовые (по высокому абсолютному содержанию экземпляров) популяции агглютинирующих и известковых видов развиваются на одних и тех же биотопах. В этих ассоциациях почти все раковины и агглютинирующие, и известковых видов имеют хорошую сохранность. В очень бедных ассоциациях на самых прибрежных участках дна микрофауна фораминифер представлена в основном известковыми видами. Сохранность почти всех раковин здесь плохая. Сами раковины утонченные, с матовой поверхностью; межкамерные швы и устья прослеживаются с трудом; часты фрагменты; иногда сохраняется только хитиновая основа раковин. Состав фауны и облик раковин в бедных ассоциациях свидетельствуют о высокой агрессивности придонной воды приустьевой зоны к карбонатным ионам. Построение агглютинирующими видами своих раковин в этих условиях особенно затруднено, а разрушение их раковин, в которых агглютинированные частицы скреплены карбонатным цементом, после отмирания особи происходит быстро.

В комплексах постоянно в большом количестве присутствует вид *Retroelphidium clavatum* (до 27.78%). Он обладает наиболее устойчивой к растворению раковиной. В большей части проб устойчиво встречаются и образуют значительные концентрации в наиболее богатых ассоциациях виды *Protelphidium orbiculare* (до 39.79%), *Buccella frigida* (до 22.5%), *Elphidium subarcticum* (до 19.21%), *Elphidiella groenlandica* (до 9%). В отдельных пробах встречены *Quinqueloculina seminula* (только на ст. 2 45.17%), *Pyrgo* sp. (только на ст. 3 5.4%). Состав агглютинирующих фораминифер резко меняется на разных станциях. В ряде проб найдено высокое содержание *Ammotium cassis* (до 30.56%), *Textularia torquata* (до 18.36%), *Reophax scorpiurus* (до 12.46%), *Astrorhiza* sp. (только на ст. 2 10.38%), *Reophanus ovisculus* (до 4.36%), *Trochammina rotaliformis* (только на ст. 6 4.84%), *Hyperammina elongata* (только на ст. 6 4.5%).

Спорово-пыльцевые спектры в поверхностном слое осадков. В пробах современных осадков изученного района найдены разнообразные спорово-пыльцевые спектры хорошей сохранности, в общем виде отражающие состав тундровых рас-

Таблица 2. Диатомеи в поверхностном слое осадков (экз./препарат)

Станции	1	2	3	4	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	
Общее число видов	13	13	15	7	2	1	5	2	7	3	7	3	2	6	8	14	5	2	
Число морских видов	5	7	4	2	0	1	4	1	6	2	6	3	2	5	6	8	5	3	
Число пресно- и солоновато- водных видов	8	6	11	5	2	0	1	1	1	1	1	0	0	1	2	6	0	0	
Пресноводные и солоноватоводные виды																			
<i>Achnanthes</i> sp.			1																
<i>Amphiprora</i> sp.	1																		
<i>Asterionella formosa</i>			1																
<i>Aulacosira granulata</i>		1							1										
<i>A. islandica</i>			15	10			2												
<i>A. italica</i>	1	14	15	20															
<i>Aulacosira</i> sp.	2																		
<i>Cyclotella kutzingiana</i>											1								
<i>Cymbella borealis</i>		1																	
<i>Diatoma</i> sp.			1		1														
<i>Dimerogramma</i> sp.	1																		
<i>Diploneis smithii</i>			1																
<i>Eunotia praerupta</i>		1	1	1						1								1	
<i>Fragillaria striatula</i>																		4	
<i>Fragillaria</i> sp.					2										4				
<i>Gomphonema parvulum</i>			1															1	
<i>Melosira arenaria</i>																		1	
<i>M. undulata</i>				1															
<i>Navicula clementis</i>		1																	
<i>Navicula</i> sp.	1		1					1						1					
<i>Peronia</i> sp.			1																
<i>Pinnularia</i> sp.	1	1													1	2			
<i>Stephanodiscus astraea</i>		1																	
<i>Surirella</i> sp.																		1	
<i>Synedra ulna</i>	1		1	1															
<i>Tabellaria flocculosa</i>	1																		
Морские виды																			
<i>Bacterosira fragilis</i>									1										
<i>Chaetoceros furcellatus</i>											3								
<i>Ch. holsaticus</i>																		3	
<i>Ch. mitra</i>														1	1			2	
<i>Ch. subsecundus</i>														1				10	5
<i>Chaetoceros</i> sp.	2	4				1	1		1				1						
<i>Coscinodiscus crenulatus</i>	1							1											
<i>Coscinodiscus</i> sp.		1					2	1	1	1	1	1						1	1
<i>Navicula distans</i>									1					2	1	1		4	
<i>Nitzschia oceanica</i>											3				2	3		3	
<i>Paralia sulcata</i>									1	1			2	3				1	3
<i>Porosira glacialis</i>										1									
<i>Roperia tessellata</i>	1																		
<i>Stephanopyxis</i> sp.									1										
<i>Thalassionema nitzschioides</i>	2	1	1													1			
<i>Thalassiosira bramaputra</i>																			
var. <i>septentrionalis</i>			1	1			1				5							4	
<i>Th. hyalina</i>		3	5				1				5							1	
<i>Th. decipiens</i>												1				1			
<i>Th. excentrica</i>																1			
<i>Th. gravida</i>		3																	
<i>Th. nordenskioldii</i>	3																	1	
<i>Thalassiosira</i> sp.		1		1							1	2		1					
<i>Thalassiothrix longissima</i>			1																1

Таблица 3. Бентосные фораминиферы (БФ) в поверхностном слое осадков

Станции	1	2	3	4	6	8	36	37	2	3	4	6	8
Глубина моря, м	12	15	22	25	18	48	2	13					
Число видов БФ	3	11	15	23	2	15	3	4					
Число подсчитанных экз. БФ	4	963	111	1547	289	432	12	19					
Доля агглютинирующих БФ, %	0	15	23	35	29	37	8	5					
	экземпляры в пробе								%				
Агглютинирующие виды		100							10.38				
<i>Astrorhiza</i> sp.					1							0.35	
<i>Hippocrepina indivisa</i>					10							3.46	
<i>Rhizammina alta</i>			1	10					0.90	0.65			
<i>Thurammina</i> sp.					1	1						0.35	0.23
<i>Sorosphaera</i> sp.					13							4.50	
<i>Hyperammina elongata</i>		42	1	64					4.36	0.90	4.14		
<i>Reophanus oviculus</i>					4							1.38	
<i>Reophax arctica</i>					11						0.71		
<i>Reophax curtus</i>			13	120	36	6			11.71	7.76	12.46	1.39	
<i>Reophax scorpiurus</i>						13						3.01	
<i>Cribrostomoides crassimargo</i>				8							0.52		
<i>Cribrostomoides</i> sp.						10							2.31
<i>Recurvoides contortus</i>						132				4.50	1.81		30.56
<i>Ammotium cassis</i>			5	28						1.80	0.26	1.04	
<i>Eggerella advena</i>			2	4	3		1			0.90	0.78	0.35	
<i>Trochammina inflata</i>			1	12	1							4.84	
<i>Trochammina rotaliformis</i>					14								
<i>Trochammina</i> sp.								1					
<i>Cyclammina</i> sp.				4							0.26		
<i>Spiroplectammina biformis</i>				4							0.26		
<i>Textularia torquata</i>			3	284					2.70	18.36			
Известковые виды													
<i>Cyclogyra</i> sp.		8							0.83				
<i>Quinqueloculina agglutinata</i>					2							0.69	
<i>Quinqueloculina seminula</i>		435							45.17				
<i>Quinqueloculina stalkerii</i>					1							0.35	
<i>Pyrgo williamsoni</i>						8							1.85
<i>Pyrgo</i> sp.			6							5.40			
<i>Gordiospira arctica</i>			10							9.01			
<i>Pyrulina</i> sp.		8							0.83				
<i>Dentalina baggi</i>				2							0.13		
<i>Fissurina marginata</i>		8							0.83				
<i>Fissurina ventricosa</i>				4							0.26		
<i>Pateoris haueinoides</i>					1							0.35	
<i>Esosyrinx curta</i>				8	1	14					0.52	0.35	3.24
<i>Laryngosigma</i> sp.				2							0.13		
<i>Protelphidium depressulum</i>				9							0.58		
<i>Protelphidium orbiculare</i>				268	115	69					17.32	39.79	15.97
<i>Elphidium bartletti</i>						15							3.47
<i>Elphidium subarcticum</i>	1	185	19	44	6	1		2	19.21	17.12	2.84	2.08	0.23
<i>Retroelphidium clavatum</i>	2	56	25	220	22	120	9	2	5.82	22.52	14.22	7.61	27.78
<i>Elphidiella groenlandica</i>		15	5	46	26	7		14	4.50	2.97	9.00	1.62	1.62
<i>Buccella inusitata</i>					7							2.42	
<i>Buccella frigida</i>		104	14	348	23	2			10.80	12.61	22.50	7.96	0.46
<i>Cassidulina reniforme</i>						32							7.41
<i>Bulimina</i> sp.						2							0.46
<i>Islandiella islandica</i>				41	2						2.65	0.69	
Планктонные фораминиферы													
<i>Globigerina</i> spp.	1	2	6	6			2		0.21	5.40	0.39		

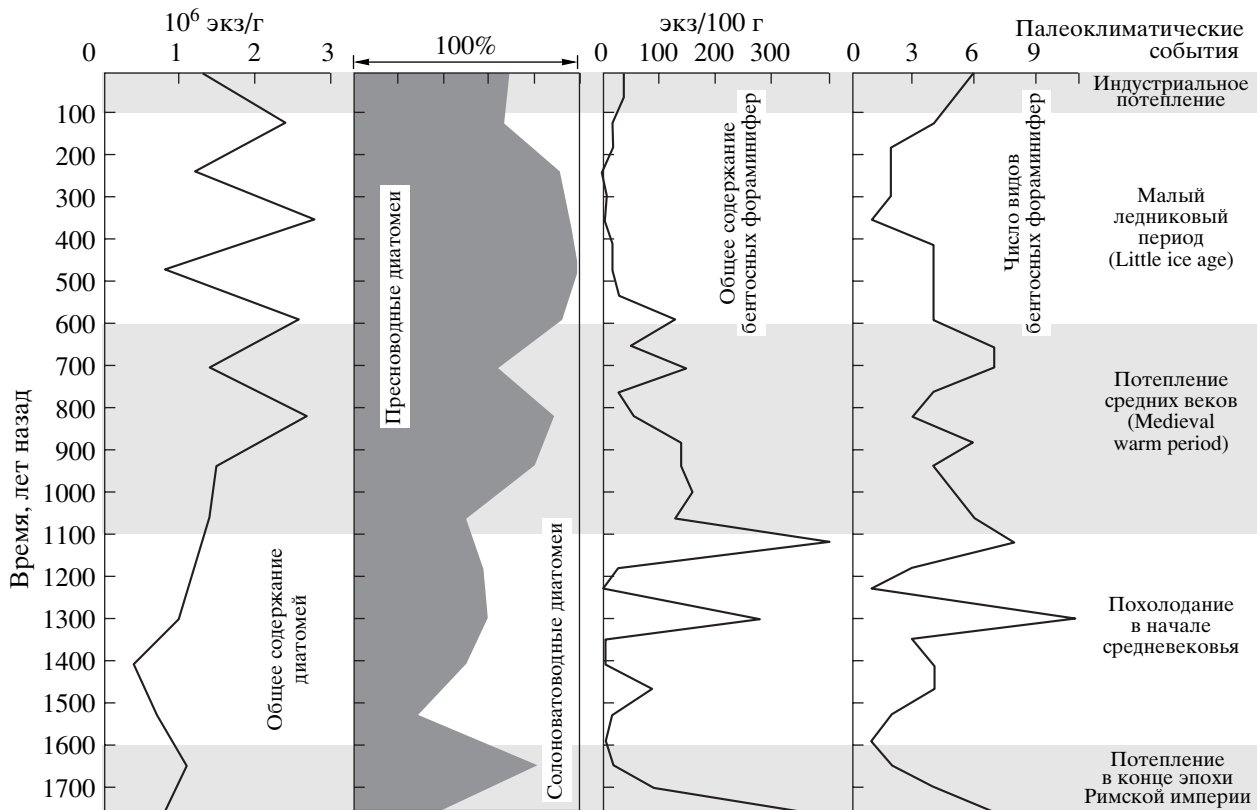


Рис. 2. Распределение микрофоссилий в колонке 4.

тительных ассоциаций в низовьях рек Лены и Яны. Содержание спор зеленых и сфагновых мхов (*Bryales*, *Sphagnales*), а также папоротников сем. *Polypodiaceae* составляет от 10 до 25%. Весьма разнообразен состав пыльцы травянистых растений: сем. *Rosaceae* (розоцветные), сем. *Ranunculaceae* (лютиковые), сем. *Syringaceae* (осоковые), сем. *Ericaceae* (вересковые), сем. *Scrophylaceae* (гвоздичные), сем. *Valerianaceae* (валериановые), сем. *Roaceae* (злаки), сем. *Cheporodiaceae* (маревые), сем. *Asteraceae* (астровые), *Artemisia* (полынь). Заметно присутствие пыльцы древесных растений: группы сосен *Pinus pumila*, *P. sibirica*, *P. silvestris*, ели *Picea*, карликовой ольхи *Alnaster*, группы берез *Betula exilis*, *B. nana*, ивы *Salix*; при этом в составе древесной группы содержание *P. pumila* может достигать 80%, *B. nana* – 15–20%. Береза *B. nana* является обычным элементом тундровых и лесотундровых ассоциаций. Большое содержание *P. pumila* объясняется тем, что пыльца сосен из-за своей морфологии легко и в больших количествах переносится воздушными потоками на расстояния 1000–1500 км от места продукции [4]. Далее в тексте позднеголоценовые спорово-пыльцевые спектры детально не обсуждаются, но их основные характеристики привлечены для палеоклиматических выводов. В частности, в колонках выделяется интервал, где

пыльцевые комплексы обогащены пылью лесотундровых элементов: березы, ольхи *Alnus*, разных кустарничков (ивы, вересковые), различных травянистых (осоковые, злаки, полынь, маревые).

Диатомей в колонках голоценовых осадков. Колонка 4 (рис. 2). Диатомей изучены в 17 образцах. Интервал отбора проб – каждые 20 см. Общее содержание диатомей составляет $0.4\text{--}1.5 \times 10^6$ экз/г в интервале 940–1760 лет назад (л.н.) и повышается до $0.8\text{--}2.7 \times 10^6$ экз/г в интервале 0–940 л.н. Ассоциации диатомей в колонке представлены пресноводными и солоноватоводными видами. Увеличение накопления диатомей в последние ~950 лет определялось повышением содержания пресноводных видов (до 90–100% в интервале 250–600 л.н.). В верхнем слое осадков с возрастом 0–100 лет в комплексе диатомей встречены единичные умеренно-холодноводные морские виды *Rhizosolenia hebetata*, *Th. nitzschoides*, споры *Chaetoceros* spp.

Колонка 7 (рис. 3). Диатомей изучены в 18 образцах. Микрофоссилии присутствуют по всему разрезу колонки и представлены видами пресноводного, солоноватоводного и морского генезиса, что определяется местоположением станции в мористой части района работ. Общее содержание диатомей испытывает большие колебания от 0.1 до 1.7×10^6 экз./г с тенденцией понижения позд-

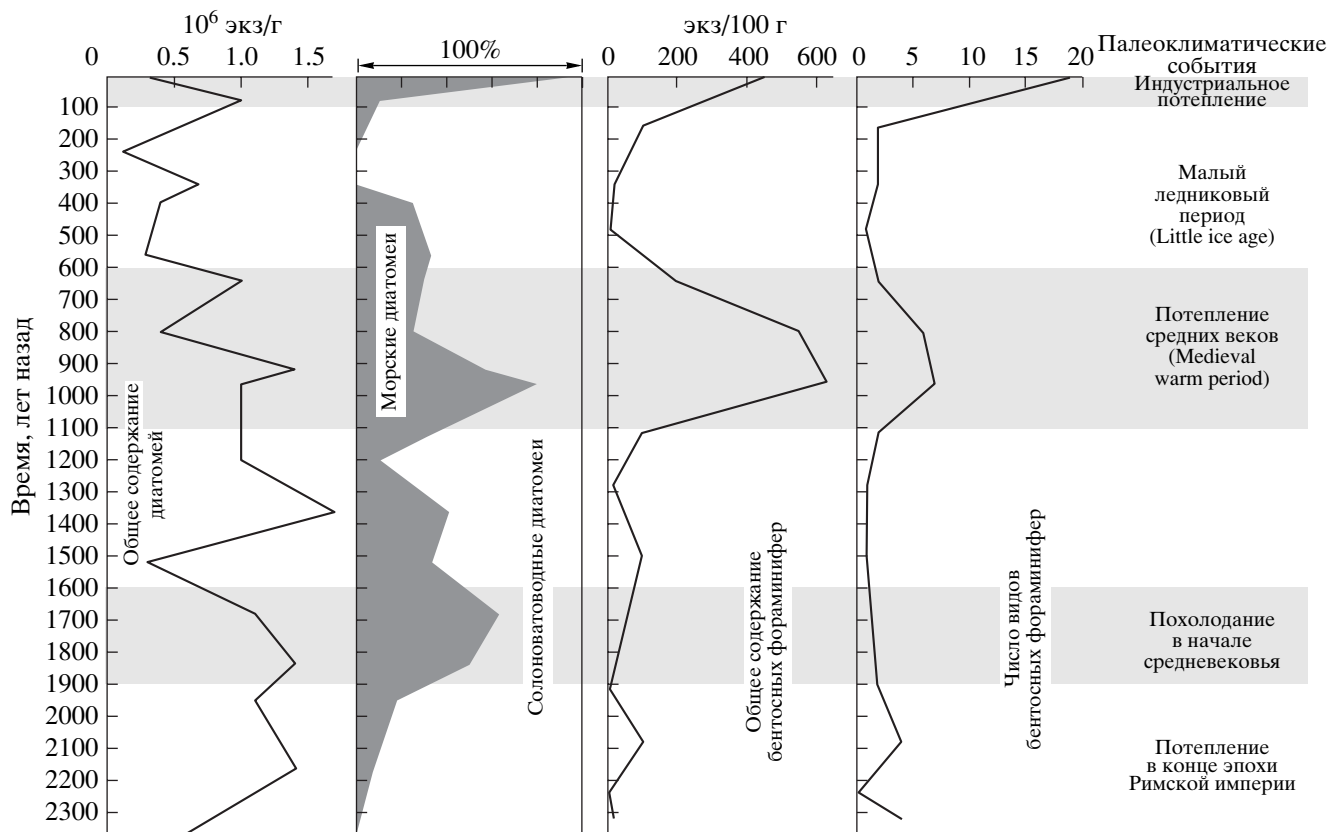


Рис. 3. Распределение микрофоссилий в колонке 7.

нее уровня ~900 л.н. Накопление диатомей вряд ли можно связать с изменениями содержания какой-то одной группы видов. В колонке выделяются три интервала увеличения концентрации морских видов: 1600–1900 л.н. до 40–60%, 900–1000 л.н. до 60–80%, 0–100 л.н. до 100%. В интервале 900–1000 л.н. найден умеренно-тепловодный морской вид *Proboscia alata*, вероятно, принесенный североатлантическими водами, а также морской вид *Ch. mitra*, сейчас характерный для внешнего шельфа моря Лаптевых (в нашем материале – станции 15–17).

Бентосные фораминиферы в колонках голоценовых осадков. Колонка 4 (рис. 2). Фораминиферы изучены в 31 пробе, интервал отбора проб – каждые 10 см. БФ присутствуют во всех пробах колонки. Встречаются только известковые виды. Отсутствие агглютинирующих форм объясняется, по-видимому, разрушением их раковин в процессе седиментогенеза. В разных пробах обнаружено от 4–6 до 8–11 видов. По всему разрезу преобладают два вида *R. clavatum* и *P. orbiculare*. Эти виды характерны и для современной ассоциации. Самые многочисленные и разнообразные в видовом отношении комплексы БФ с хорошей сохранностью обнаружены в интервале 590–1120 л.н., а также в самой нижней части колонки и в верхнем интервале. На

многих раковинах во всей колонке, особенно в ее нижней части, наблюдаются очевидные следы коррозии; иногда встречаются фрагменты раковин. В отдельных пробах колонки обнаружены 1–2 раковины планктонных фораминифер.

Колонка 7 (рис. 3). Фораминиферы изучены в 14 пробах, интервал отбора проб – каждые 20 см. В богатой по численности раковин ассоциации из верхнего слоя осадков обнаружено 19 видов БФ; в интервалах 160–640 и 1120–1920 л.н. число видов снижается до 1–2, а в интервале 800–1000 л.н. увеличивается до 6–7. Самая богатая (по количеству экземпляров) фауна обнаружена в интервале 800–1000 л.н. По всему разрезу в фораминиферовых ассоциациях преобладает вид *R. clavatum*. Раковины этого вида в разных пробах заметно отличаются по степени сохранности. Некоторые, преимущественно в самой многочисленной ассоциации из интервала 800–1000 л.н., имеют хорошую сохранность; на их поверхности ясно видны ретральные процессы, четко прослеживаются швы и апертура. Но в этой же ассоциации некоторые раковины забиты черным пиритовым материалом, многие обломаны, иногда сохраняется только хитиновая основа. Многие раковины в осадках колонки ниже уровня ~1300 л.н. имеют плохую сохранность; часто встречаются лишь их

фрагменты. Агглютинирующие фораминиферы изредка найдены в верхнем слое с возрастом менее ~500 лет. Планктонные фораминиферы не обнаружены.

Колонка 18. Фораминиферы исследованы в 8 пробах. Интервал отбора проб – каждые 20–40 см. В поверхностном комплексе встречено 13 видов БФ, а в остальной части колонки обнаружено 2–4 вида. Преобладает в ассоциациях БФ, как и в других исследованных колонках, *R. clavatum*. Агглютинирующие виды в колонке отсутствуют. Большая часть известковых раковин в колонке, начиная с поверхностного слоя вплоть до уровня ~5100 л.н., характеризуется плохой сохранностью; некоторые раковины сильно корродированы, много фрагментов. Комплекс БФ из интервала ~5100–6200 л. н. отличается от вышележащего горизонта большей численностью и хорошей сохранностью почти всех раковин, но видовой состав и высокое содержание *R. clavatum* остаются аналогичными.

“Экзотические” фораминиферы в голоценовых осадках колонки 18. Парадоксальной чертой микрофауны в интервале ~5100–6200 л.н. колонки 18 является массовое скопление раковин планктонных фораминифер (ПФ), хотя существенных отклонений в литологии и магнитной восприимчивости осадков не отмечено [20]. Этот интервал по возрасту входит в климатический оптимум голоцена на северо-западе России [9]. В интервале ~5100–5200 л.н. количество ПФ достигает 134 экз/г, что почти на два порядка превышает число бентосных форм. Комплекс ПФ состоит преимущественно из тепловодных видов. Основу комплекса (60%) составляет вид *Globigerinoides ruber*, представленный, в том числе, розовыми формами. Около 5% каждый составляют виды *Globigerina humilis*, *G. rubescens*, *Globoturborotalia tenella*, *Globigerinoides conglobatus*, *Globoquadrina hexagona*, *Globigerinita glutinata*, а около 1% каждый – *Globorotalia inflata*, *G. truncatulinoides*, *G. bulloides*. Также обнаружены единичные экземпляры *Globorotalia hirsuta*, *Globigerinella aequilateralis*, мелкие *Globorotalia menardii*, *G. tumida*. В интервале ~6100–6200 л.н. встречен подобный, но сильно обедненный по численности (6 экз/г) комплекс ПФ, в котором *Globigerinoides ruber* составляет 69%, *G. conglobatus*, *Globigerina humilis* и *Globoturborotalia tenella* – 7% каждый, *Globigerinita glutinata*, *G. truncatulinoides* – 2–3% каждый, а также найдены единичные экземпляры *Globorotalia inflata*, *Globigerinoides rubescens*, *Globoquadrina hexagona*, *Globigerinella aequilateralis*. В облике планктонного комплекса нужно отметить одну существенную черту: размеры раковин меньше, чем в районах типичного обитания перечисленных видов.

Баух [10] также отметил заметные, а иногда и доминирующие концентрации тепловодных ПФ в

позднеголоценовых осадках колонки К9373–10, расположенной чуть южнее нашей колонки 18. В колонке К9373–10 Баух [10] обнаружил тропическо-умеренный вид *Turborotalia clarkii* (с необычно маленькими раковинами) – до 100% в ряде проб, субтропическо-умеренный *Neogloboquadrina pachyderma* (dex.) – до 20–50% в отдельных пробах, тропическо-субполярный *Globigerinita glutinata* – до 2–6% в отдельных пробах, тропическо-умеренный *Globoturborotalia tenella* – до 2% в отдельных пробах, субтропическо-субполярный *Globigerina bulloides* – 1.5% в одной пробе. В материале Бауха [10] выше-названные тепловодные виды ПФ обычно обнаруживаются только вместе, в том числе на уровнях 874–925, 1640 и 1790 л.н., хотя вид *T. clarkii* встречается и обособленно. По данным изучения планктона [29], современный комплекс ПФ водной толщи моря Лаптевых состоит из *Neogloboquadrina pachyderma* (sin.) в концентрации >70%, а также *Turborotalita quinqueloba*, *Neogloboquadrina pachyderma* (dex.). Но на некоторых станциях отмечено присутствие в воде на глубине от 300 до 500 м в небольшом количестве – 0.5–2% пустых раковин ПФ (“мертвые” экземпляры) хорошей сохранности – представителей тепловодной фауны: *Globigerina falconensis*, *G. rubescens*, *Globigerinoides ruber*, *Globigerinella aequilateralis*, *Globoturborotalia tenella*.

Обнаружение тепловодных ПФ в шельфовых голоценовых осадках восточной части моря Лаптевых вряд ли можно объяснить их обитанием в данном районе, т.к. минимальные температуры, при которых когда-либо обнаруживались эти виды в планктоне [30], превышают температуры подповерхностных вод бассейна. Остается предполагать либо переотложение из древних осадков, либо принос водными массами из других бассейнов. Переотложение вероятно, но пока не подтверждено публикациями. В самой колонке 18 однозначных признаков переотложения нет: комплекс БФ по разрезу колонки почти не меняется, сохраняя список и соотношения видов; в то же время в интервале ~5100–6200 л.н. увеличивается численность и сохранность БФ, отражая, вероятно, улучшение условий обитания. Баух [10] и Фолькманн [29] объяснили находки “экзотических” форм ПФ в море Лаптевых возможной транспортировкой их атлантическими водами. И в нашем случае одним из объяснений, в отсутствие других доказательств, многочисленного комплекса тепловодных ПФ в отложениях интервала ~5100–6200 л.н. колонки 18 может быть значительное влияние палеопотока атлантических вод в оптимуме голоцена.

В настоящее время основной поток атлантической воды в Арктику идет через пролив Фрама вдоль Шпицбергена, Земли Франца-Иосифа и Северной Земли и, достигая северо-западной части моря Лаптевых, имеет максимальную температуру 1–1.5°C на глубине 200–300 м [6]. При прибли-

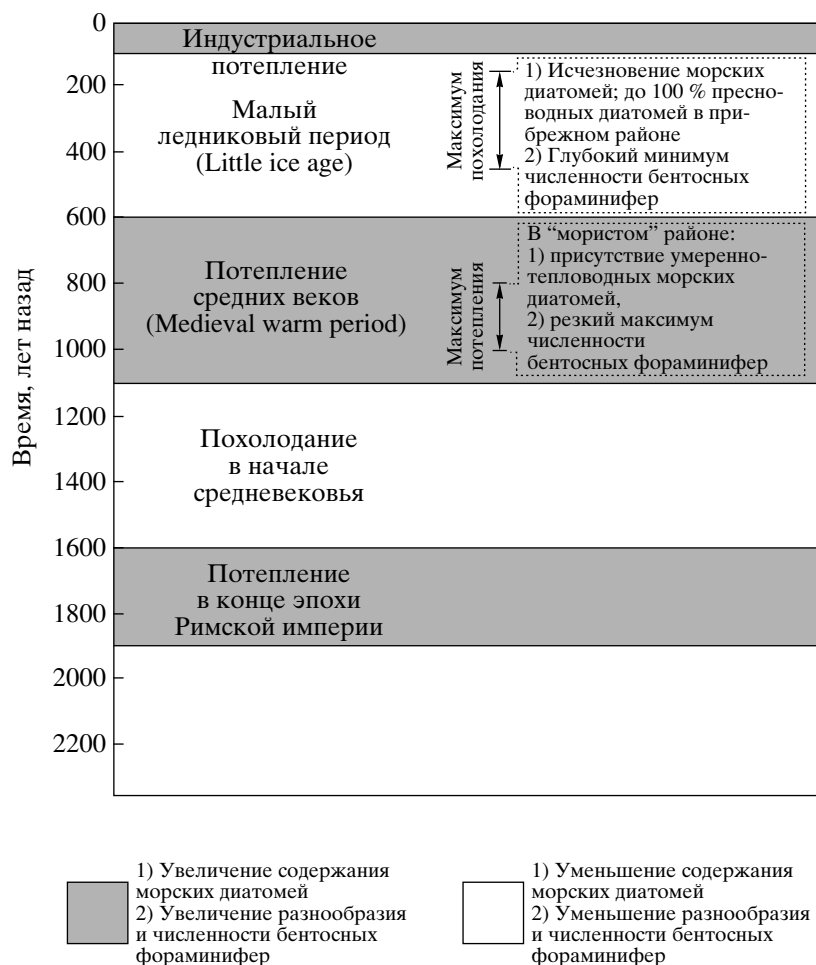


Рис. 4. Изменение природных условий на шельфе юго-восточной части моря Лаптевых в позднем голоцене.

жении атлантического потока к материковому склону моря Лаптевых, мощность его слоя уменьшается, а верхняя граница повышается на ~100 м [8]. Наблюдаются сильные (по меньшей мере, трехкратной амплитуды) межгодовые колебания объема, температуры и теплозапаса атлантического потока в Арктику [7]. Атлантическая вода по подводным долинам проникает и во внутренние шельфовые участки моря Лаптевых [1]. В оптимуме голоцена, который включает в себя рассматриваемый нами интервал ~5100–6200 л.н., поступление атлантической воды в море Лаптевых превышало современный уровень [26]. Температура придонной воды на шельфе бассейна в первой половине голоцена могла повышаться на ~6°C от нынешних значений, как отмечают, хотя и не принимают в качестве надежного доказательства, Мюллер-Лупп и др. [24] при изучении изотопов кислорода в голоценовых бивальвиях.

ВЫВОДЫ

Современная обстановка. Микрофоссилии отчетливо отражают влияние пресноводного стока р. Лены на южную часть моря Лаптевых. Определяющий отпечаток такого влияния несут на себе комплексы диатомей и бентосных фораминифер в зоне до ~100 км от края дельты. В составе диатомей преобладают виды пресноводного и солоноватоводного происхождения, а морские виды заметной роли не играют. Микрофлора (диатомей) разнообразна и многочисленна, отражая взаимодействие различных поверхностных водных масс. Фауна бентосных фораминифер на самых близких к дельте участках дна угнетена из-за подавляющего влияния пресной воды, разгрузки на дно больших масс терригенного материала, поступления растительного детрита с суши, который мобилизует для своего разложения много кислорода из воды, но не поставляет питательные вещества, пригодные для бентосных фораминифер [27]. Бентосные фораминиферы наиболее обильны и разнообразны по периферии

придельтового района, где у дна распространяется бассейновая вода, а питание поддерживается потоками органики, включая фитодетрит, с поверхности. Зона придельтовых современных комплексов микрофоссилий находится в пределах основной части депоцентра (\approx области лавинной седиментации) моря Лаптевых [5].

Поздний голоцен – последние ~2300 лет. Облик комплексов микрофоссилий из изученных колонок осадков дает возможность судить о вероятных условиях палеосреды позднего голоцена (рис. 4). Основными индикаторами общего потепления и соответствующего усиления влияния собственно морских водных масс, в том числе, атлантического происхождения, служат в нашем случае (а) увеличение присутствия морских (как холодноводных, так и умеренно-холодноводных и умеренно-тепловодных) видов диатомей, (б) увеличение разнообразия, численности и сохранности фораминифер, (в) увеличение содержания пыльцы древесных и кустарниковых растений. В колонках 4 и 7 выделен ряд интервалов, которые коррелируют с известными палеоклиматическими уровнями позднего голоцена [18, 21]: а) потепление в начале нашей эры (в конце эпохи Римской империи) ~1600–1900 л.н.; б) неоднократные, но не экстремальные похолодания в начале средневековья ~1100–1600 л.н.; в) потепление средних веков (Medieval Warm Period) ~600–1100 л.н. с оптимумом ~800–1000 л.н.; г) малый ледниковый период (Little Ice Age) ~100–600 л.н. с максимумом похолодания ~150–450 л.н.; д) “индустриальное” потепление в последние ~100 лет. Судя по увеличению разнообразия и численности бентосных фораминифер, по появлению умеренно-тепловодных диатомей, а также по возрастанию присутствия элементов лесотундровой (вместо тундровой) растительности, потепление средних веков превосходило современное “индустриальное” и затрагивало придельтовый участок. Если считать находки разнообразной тепловодной микрофауны планктонных фораминифер в колонке 18 предположительным признаком проникновения атлантической воды, то в интервале ~5100–6200 л. н., относящемся к климатическому оптимуму голоцена, в море Лаптевых могло быть и еще более значительное потепление.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке по программам Минпромнауки РФ ФЦП “Мировой океан”, Президиума РАН “Мировой океан: геология” и РФФИ (проект № 04-05-64567).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Дмитренко И.А., Хьюлеманн Й.А., Кириллов С.А. и др.* Роль баротропных изменений уровня моря в формировании режима течений на шельфе восточной части моря Лаптевых // Докл. РАН. 2001. Т. 377. № 1. С. 101–107.
2. *Добровольский А.Д., Залогин Б.С.* Моря СССР. Изд-во МГУ, 1982. 192 с.
3. *Лисицын А.П.* Маргинальный фильтр океана // Океанология. 1994. Т. 34. № 5. С. 735–747.
4. *Каревская И.А.* Спорово-пыльцевой анализ при палеогеографических и геоморфологических исследованиях. М.: Изд-во МГУ, 1999. 113 с.
5. *Купцов В.М., Лисицын А.П.* Влажность, объемный вес и потоки осадочного вещества в донных отложениях моря Лаптевых // Океанология. 2003. Т. 43. № 1. С. 127–133.
6. *Тимофеев Т.А.* Атлантические воды в Арктическом бассейне // Проблемы Арктики. 1957. № 2. С. 41–51.
7. *Тимофеев Т.А.* Поступление атлантической воды и тепла в Арктический бассейн // Океанология. 1961. Т. 1. № 3. С. 407–411.
8. *Тимофеев Т.А.* Влияние глубинных атлантических вод на гидрологический режим моря Лаптевых // Проблемы Арктики и Антарктики. 1962. № 10. С. 27–32.
9. *Arslanov Kh.A., Saveljeva L.A., Gey N.A. et al.* Chronology of vegetation and paleoclimatic stages of Northwestern Russia during the late glacial and Holocene // Radiocarbon. 1999. V. 41. № 1. P. 25–45.
10. *Bauch H.A.* Planktic foraminifera in Holocene sediments from the Laptev Sea and the central Arctic Ocean: species distribution and paleobiogeographical implication // Land-ocean systems in the Siberian Arctic: dynamics and history / Eds. Kassens H. et al. Berlin: Springer-Verlag, 1999. P. 601–613.
11. *Cauwet G., Sidorov I.* The biogeochemistry of Lena River: organic carbon and nutrients distribution // Marine Chemistry. 1996. V. 53. P. 211–227.
12. *Conkright M.E., Locarnini R.A., Garcia H.E. et al.* World Ocean Atlas 2001: Objective Analyses, Data Statistics, and Figures, CD-ROM Documentation. National Oceanographic Data Center, Silver Spring, MD. 2002. 17 p.
13. *Cremer H.* Spatial distribution of diatom surface sediment assemblages on the Laptev Sea shelf (Russian Arctic) // Land-ocean systems in the Siberian Arctic: dynamics and history / Eds. Kassens H. et al. Berlin: Springer-Verlag, 1999. P. 533–551.
14. *Dmitrenko I., Golovin P., Gribanov V., Kassens H.* Oceanographic causes for transarctic ice transport of river discharge // Land-ocean systems in the Siberian Arctic: dynamics and history / Eds. Kassens H. et al. Berlin: Springer-Verlag, 1999. P. 73–92.
15. *Duplessy J.C., Cortijo E., Ivanova E. et al.* Paleooceanography of the Barents Sea during the Holocene // Paleooceanography. 2005. V. 20. PA4004, doi:10.1029/2004PA001116.
16. *Gordeev V.V.* River input of water, sediment, major ions, nutrients and trace metals from Russian territory to the Arctic Ocean // The Freshwater Budget of the Arctic Ocean / Eds. Lewis E.L. et al. Kluwer Acad. Publ., Netherlands, 2000. P. 297–322.
17. *Gordeev V.V., Sidorov I.S.* Concentrations of major elements and their outflow into the Laptev Sea by the Lena River // Marine Chemistry. 1993. V. 43. P. 33–45.

18. *Hu F.S., Ito E., Brown T.A. et al.* Pronounced climatic variations in Alaska during the last two millennia // *PNAS*. 2001. V. 98. P. 10552–10556.
19. *Kassens H., Dmitrenko I.A., Rachold V. et al.* Russian and German scientists explore the Arctic's Laptev Sea and its climate system // *EOS Transaction American Geophysical Union*. 1998. V. 79. P. 317–323.
20. *Kuptsov V.M., Lisitsin A.P.* Radiocarbon of Quaternary along shore and bottom deposits of the Lena and the Laptev Sea sediments // *Marine Chemistry*. 1996. V. 53. P. 301–311.
21. *Lamb H.H.* Climate, history and the modern world. London and New York: Routledge Publ., 1995. 433 p.
22. *Martin J.M., Gordeev V.V., Emelyanov E.M.* Introduction (Biogeochemical Sub-project of the SPASIBA Program) // *Marine Chemistry*. 1996. V. 53. P. 209.
23. *Morison J., Aagard K., Steele M.* Recent environmental changes in the Arctic: a review // *Arctic*. 2000. V. 53. № 4. P. 359–371.
24. *Mueller-Lupp T., Bauch H.A., Erlenkeuser H.* Holocene hydrographical changes of the eastern Laptev Sea (Siberian Arctic) recorded in $\delta^{18}\text{O}$ profiles of bivalve shells // *Quaternary Research*. 2004. V. 61. P. 32–41.
25. *Polyakova Ye.I., Stein R.* Holocene paleoenvironmental implications of diatom and organic carbon records from the southeastern Kara Sea (Siberian Margin) // *Quaternary Research*. 2004. V. 62. P. 256–266.
26. *Polyakova Ye.I., Bauch H.A., Klyuvitkina T.S.* Early to middle Holocene changes in Laptev Sea water masses deduced from diatom and aquatic palynomorph assemblages // *Global and Planetary Change*. 2005. V. 48. P. 208–222.
27. *Taldenkova E., Bauch H.A., Stepanova A. et al.* Last postglacial environmental evolution of the Laptev Sea shelf as reflected in molluscan, ostracodal, and foraminiferal faunas // *Global and Planetary Change*. 2005. V. 48. P. 223–251.
28. *Timokhov L.A.* Regional characteristics of the Laptev and the East Siberian Seas: climate, topography, ice phases, thermohaline regime, circulation // *Berichte zur Polarforschung*. 1994. V. 144. P. 15–31.
29. *Volkman R.* Planktic foraminifers in the outer Laptev Sea and the Fram Strait – Modern distribution and ecology // *Journal of Foraminiferal Research*. 2000. V. 30. P. 157–176.
30. *Zaric S., Donner B., Fischer G. et al.* Sensitivity of planktic foraminifera to sea surface temperature and export production as derived from sediment trap data // *Marine Micropaleontology*. 2005. V. 55. P. 75–105.

The Modern and Late Holocene Environments on the Shelf of the Southeastern Laptev Sea as Reflected in the Microfossil Record

A. G. Matul, T. A. Khusid, V. V. Mukhina, M. P. Chekhovskaya, S. A. Safarova

The study of diatoms and benthic foraminifers from the shelf of the southeastern Laptev Sea revealed the most diverse and abundant microfossil assemblages near to the Lena River fan, within the marginal filter of the Laptev Sea. A strong interaction of the fresh water from the Siberian Rivers, and basin water, including the Atlantic one, is typical for the area. Local environments during the Late Holocene (the last ~2300 years) reflected the major regional and global paleoclimatic changes such as Medieval Warm Period ~600–1100 years before present, and Little Ice Age ~100–600 years before present. In addition, planktic foraminifers may support a possibility of the strong influence of the Atlantic water during the Holocene climatic optimum ~5100–6200 years before present.