

ХРОНОСТРАТИГРАФИЯ ВЕРХНЕЧЕТВЕРТИЧНЫХ ОСАДКОВ СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ ПАЦИФИКИ И БЕРИНГОВА МОРЯ, ИЗМЕНЕНИЕ СРЕДЫ И БИОПРОДУКТИВНОСТИ

С.А. Горбаренко, А.В. Артемова

Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН, г. Владивосток

Для двух колонок из северо-западной Пацифики и двух из Берингова моря установлена изотопная хроностратиграфия верхнечетвертичных осадков по данным изотопного состава кислорода планктонных и бентосных фораминифер. На основе изотопно-геохимических и литофизических результатов изучения колонок и скважин глубоководного бурения 882 и 883 выявлены основные закономерности изменения во времени магнитной восприимчивости и концентраций карбоната кальция, органического углерода, аморфного кремнезема в осадках изученного региона в связи с изменениями климата и биопродуктивности. Проведена корреляция прослоев вулканического материала в осадках региона и предварительно установлены их стратиграфическое положение и возраст. На основе сопоставления экологических изменений в комплексах диатомей верхнечетвертичных осадков северо-восточной Пацифики, Берингова и Охотского морей изученных колонок с изотопно-кислородной стратиграфией проведена корреляция диатомовых горизонтов (по А.П. Жузе) со стандартными изотопно-кислородными стадиями. Критерием основных экологических изменений диатомовых комплексов в изученном регионе может служить отношение процентного содержания суммы неритических видов к сумме неритических и океанических видов, коэффициент Лд, который зависит от климатических условий и, в первую очередь, от влияния морских льдов.

Построены схемы средних скоростей седиментации северо-западной Пацифики и Берингова моря за периоды 1-ой и 2-ой изотопных стадий (1–12,5 и 12,5–24 т. л. н. соответственно). Закрытие Берингова пролива и осушение северо-восточного шельфа Берингова моря во время последнего оледенения (стадия 2) способствовали увеличению скоростей седиментации в котловинах Берингова моря по сравнению ранним периодом, выносу взвешенного материала через Камчатский пролив в юго-восточном направлении и аккумуляции его в северо-западной Пацифике.

Ключевые слова: изотопно-кислородная стратиграфия, верхнечетвертичные осадки, диатомей, северо-западная Пацифика, Берингово море.

ВВЕДЕНИЕ

В 50–60-е годы прошлого века было проведено широкомасштабное изучение осадков северо-западной Пацифики, Берингова и Охотского морей. Были изучены литология, геохимия, минералогия осадков и проведены микропалеонтологические исследования ископаемых диатомей, фораминифер и пыльцы нескольких сотен проб поверхностных осадков и нескольких десятков колонок длиной 4–6 и более метров [2, 7, 8, 14, 15]. В результате были выяснены основы черты седиментации и биостратиграфии верхнечетвертичных отложений северо-западной Пацифики и окраинных морей. По результатам диатомового анализа, литологии осадков и содержанию в них

биогенных компонент (CaCO_3 , органического углерода и аморфного кремнезема) были выделены стратиграфические горизонты и слои, формирование которых связывалось с изменениями климата позднего плейстоцена и голоцена [2, 7, 8, 14]. Низкое содержание CaCO_3 в осадках изучаемого региона сдерживало развитие изотопно-кислородной стратиграфии и датирование осадков физическими методами. По Охотскому морю проведены работы по хроностратиграфии верхнечетвертичных осадков, основанные на выделенных стандартных изотопно-кислородных стадиях (ИКС) и радиоуглеродных датировках [4, 27]. Стратиграфия четвертичных и более древних осадков северо-западной Пацифики и Берингова

моря основывалась преимущественно на данных исследований по диатомеям [7, 13, 35, 43], радиоляриям [37, 38], бентосным фораминиферам [16], литологии осадков [2, 8, 15] и палеомагнетизму осадков [40].

В настоящей работе сделано обобщение литературных данных и приведены оригинальные результаты по стратиграфии верхнечетвертичных осадков северо-западной Пацифики и Берингова моря, в том числе по колонкам с изотопно-кислородной стратиграфией и радиоуглеродными датами. Целями настоящей работы явились разработка хроностратиграфических шкал верхнечетвертичных осадков северо-западной Пацифики и Берингова моря на основе стандартной изотопно-кислородной хроностратиграфии и анализ взаимосвязей их вариаций с глобальными и региональными изменениями климата. Поскольку изученный регион прилегает к областям активного

вулканизма Камчатки и Алеутских островов, нами проведен анализ наличия продуктов вулканической деятельности в осадках изучаемого региона и их стратиграфического положения.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Нами изучены колонки GC-36 и GC-32 из северо-западной Пацифики и колонки GC-11 и 2594 из Берингова моря (рис. 1, табл.), отобранные в 19 рейсе НИС "Академик А. Виноградов" (последняя колонка любезно предоставлена М.А. Левитаном, ИО РАН). В работе приведены оригинальные данные по изотопному составу кислорода планктонных и бентосных фораминифер (*Neogloboquadrina pachyderma* n., *Uvigerina parvocostata* и *Uv. auberiana*) по изученным колонкам. Изотопные анализы по колонкам GC-36, GC-32 и GC-11 проводились по стандартной методике на модифицированном масс-спектрометре

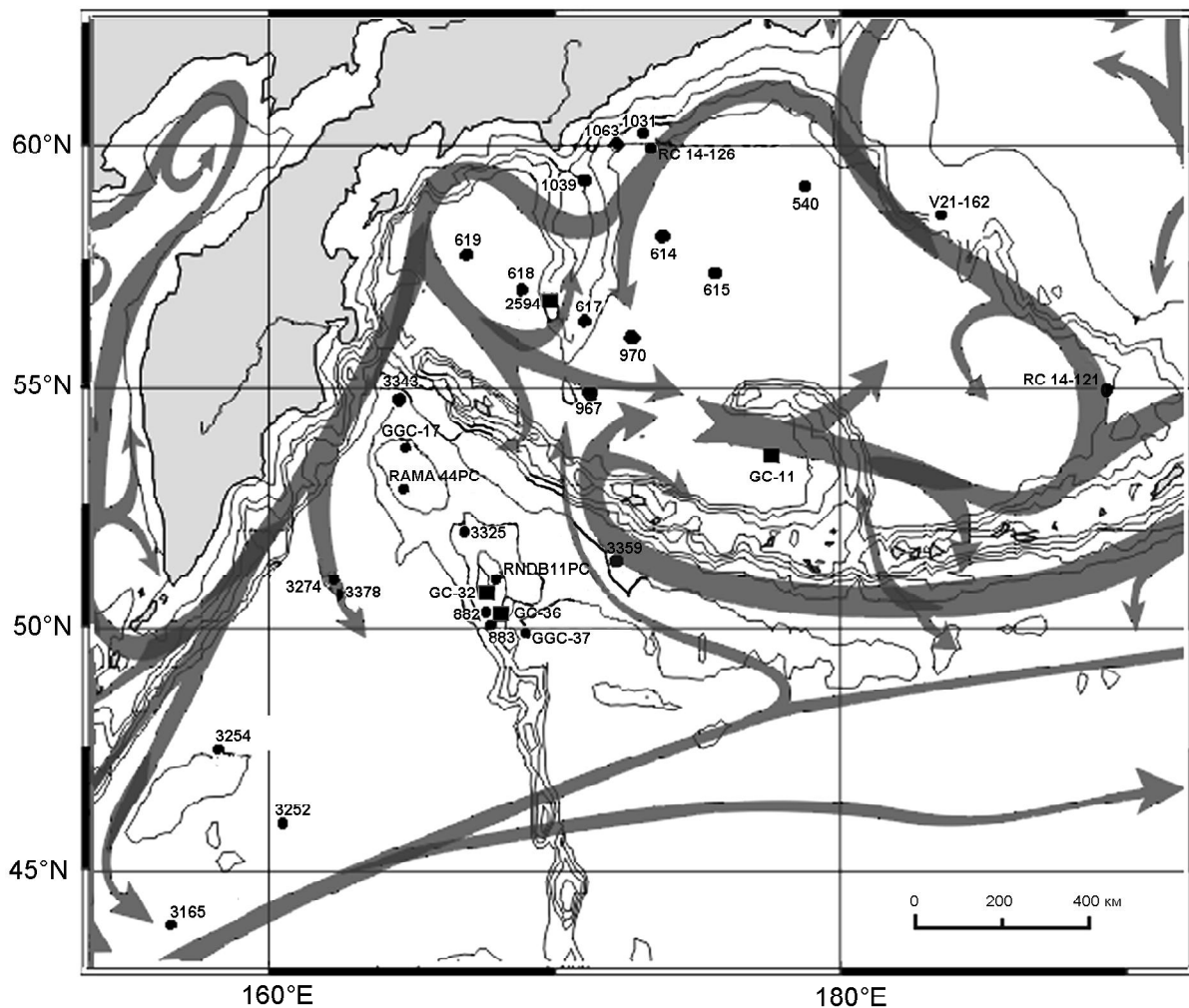


Рис. 1. Положение станций отбора колонок, рельеф дна (изобаты: 100, 1000, 2000, 3000, 4000 и 5000 м) и схема поверхностных течений северо-западной Пацифики и Берингова моря по [47]. Изученные нами колонки показаны квадратами.

Таблица. Усредненные скорости седиментации осадков Берингова моря и северо-западной Пацифики за периоды изотопно-кислородных стадий 1 и 2 (0–12,5 и 12,5–24 тыс. лет назад).

регион	№ станции	координаты		глубина моря (м)	скорость седиментации		Источник
		широта, с.ш.	долгота, в.д.		ИКС 1	ИКС 2	
Берингово море	540	59°08,1'	178° 37,0'	3638	14,4	40,8	[7]
	1031	60°11,0'	173° 10,1'	2805	13,0	23,3	[7]
	1063	60°03,2'	172° 13,4'	2634	18,4	23,7	[7]
	1039	59°13,4'	171° 01,1'	910	9,6	7,8	[7]
	614	58°14,0'	173° 45,0'	3612	13,2	22,8	[7]
	615	57°25,0'	175° 43,0'	3785	25,6	32,6	[7]
	617	56°21,0'	170° 46,0'	2419	6,8	21,1	[7]
	618	57°03,5'	168° 30,5'	3875	14,4		[7]
	619	57°44,0'	166° 10,5'	3655	23,2		[7]
	970	56°04,3'	172° 41,5'	3801	12	21,5	[7]
	967	55° 00,2'	171° 00,6'	3854	9,6	34,8	[7]
	GC-11	53° 31'	178° 51'	3060	12,6	12,6	
	2594	56° 56,4'	169° 53,0'	1780	11,2	12,4	
	RC 14-121	54° 51'	170° 41'з.д.	2530	16,9	16,5	[40]
	V21-162	58° 33'	177° 13'з.д.	2317	24,8	51,3	[39]
RC 14-126	60° 00'	173° 21'	3085	17,6	47,8	[39]	
Северо-западная Пацифика	883	50° 11,9'	167° 46,1'	2385	6,24	11,3	[27, 29]
	882	50° 21,8'	167° 36'	3244	6,56	10,1	[36]
	GC-36	50° 25'	167° 44'	3330	6,8	13,2	
	GC-32	51° 03,4'	167° 52,8'	2860	2,9	6,9	
	3165	43° 45,7'	156° 34,9'	5430	6,4		[7, 12]
	3378	50° 53,2'	162° 25,5'	5460	15,2		[7, 12]
	3325	52° 02,5'	166° 44,0'	4016	6,2		[7, 12]
	3342	54° 44,0'	164° 30,0'	4588	13,6		[7, 12]
	3359	51° 30,0'	172° 04,5'	4880	11,2		[7, 12]
	RAMA 44PC	53° 00,0'	164° 39'	2980	6,8		[26]
	RNDB 11PC	51° 03,0'	167° 58'		6,4		[28]
	GGC-17	53° 42,4'	165° 00,8'	3820	8,8		[28]
	3254	47° 13'	158° 45'		8,8		[2]
	3252	45° 46'	160° 27'		6,4		[2]
	3274	51° 04'	162° 13'	5417	11,2		[7]
GGC-37	50° 25'	167° 44'	3330	5,2		[28]	

VG-150 [31] в лаборатории Л.Д. Кейгвина (Океанографический институт Вудсхоул, США); колонка 2594 была проанализирована на МИ 1201В также по стандартной методике [3]. Содержания CaCO_3 и органического углерода в осадках определялось на анализаторе АН-7529 по методике С.В. Люцарева [11].

Количественный и качественный состав диатомей определялся с помощью микроскопа Полам Р-211 при иммерсионном объективе с увеличением $\times 900$ или $\times 1300$. Препараты готовились по стандартной методике [6]. Количественный подсчет диатомей проводился на 1 грамм сухого осадка. Содержание диатомей в колонках GC-32, GC-11 и 2594 определялось полуколичественно под биноклем по 12-ти бальной шкале при компонентном анализе осадков.

Значения магнитной восприимчивости (МВ) осадков измерялись при помощи датчика полевого измерителя магнитной восприимчивости ИМВ-1 и сверхвысокочастотного резонансного влагомера СВР-8 [4].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Помимо результатов по изученным нами двум колонкам северо-западной Пацифики (GC-32 и GC-36) и двум из Берингова моря (GC-11 и 2594) в работе рассмотрены также литературные данные по другим колонкам региона. Система поверхностных течений субарктики [45], положение и геоморфология станций отбора всех используемых нами колонок показаны на рис. 1; координаты, глубины моря станций и литературные источники – в таблице.

Стратиграфия осадков северо-западной Пацифики (возвышенность Детройт)

Колонки GC-32 и GC-36 и скважины глубоководного бурения 882 и 883 (рис. 1) имеют радиоуглеродные датировки и изотопно-кислородную стратиграфию и использованы как опорные для стратиграфических исследований осадков северо-западной Пацифики. На рис. 2 для данных колонок

показаны изменения параметров, наиболее важных для стратиграфического деления и построения временной шкалы верхнечетвертичных осадков изучаемого региона. Кривая $\delta^{18}\text{O}$ бентосных фораминифер *Uvigerina* [32] взята нами за основу изотопно-кислородной стратиграфии скважины 883, с возрастом границ ИКС по Д. Мартинсону и др. [36]. Для уточнения хроностратиграфии скважины 883 использованы радиоуглеродные датировки методом ускорительной масс-спектрометрии и датированная кривая изменения интенсивности магнитного поля Земли (ИМПЗ) [34]. Для колонок 882 и 883 показаны результаты МВ, гамма-лучевого измерителя пористости осадков (GRAPE), интерпретируемые как плотность осадка, и положение прослоев вулканического пепла согласно данным глубоководного бурения [41]. При выделении изотопно-кислородных стадий в колонке 882, помимо корреляции по магнитной восприимчивости и плотности осадков, мы использовали также величины $\delta^{18}\text{O}$ бентосных фораминифер [28]. Содержания CaCO_3 и биогенного опала в скважине 882 даны по Г. Хаугу и др. [28].

Изотопно-кислородные стадии колонок GC-32 и GC-36 показаны на основании изменений $\delta^{18}\text{O}$ бентосных и планктонных фораминифер (рис. 2). Для этих колонок приведены также данные МВ осадка, содержания карбоната кальция и обилия диатомей, как основных продуцентов аморфного кремнезема. Положение пепловых прослоев дано согласно визуальному описанию колонок и результатам анализа компонентного состава осадка. Изотопно-кислородные кривые, хроностратиграфическое деление и радиоуглеродные даты расположенных рядом колонок GGC-37 [33] и GC-36 хорошо коррелируются между собой, что подтверждает правильность изотопной стратиграфии и ненарушенное осадконакопление обеих колонок.

Осадки ИКС 5.5 ясно выделяются по минимуму изотопно-кислородной кривой, уменьшению МВ, плотности (GRAPE) осадков и обилию диатомей и фораминифер, характерному для последнего межледниковья [7, 28]. Положение границы ИКС 4/5 в колонке 883 (360 см) изменено нами по сравнению со стратиграфией Т. Кифера и др. [34], согласно новой интерпретации кривой ИМПЗ [29] и данным по $\delta^{18}\text{O}$ раковин бентосных фораминифер [32]. В итоге в колонке 883 границы ИКС 1/2, 2/3, 3/4, 4/5.1-5.2, 5.1-5.2/5.3, 5.3/5.4, 5.4/5.5 и 5.5/6 расположены на горизонтах 75, 205, 360, 415, 515, 615, 680 и 750 см соответственно, что близко к разделению А. Котилайна и Н. Шеклтона [35]. При корреляции относительно теплой подстадии 5.3 мы исходили из обогащения отложений этой стадии диатомеями, приведшего к

увеличению содержания аморфного кремнезема и уменьшению значений МВ и плотности осадков (GRAPE) в колонках 882 и 883. Стратиграфическое положение ИКС 4 хорошо коррелируется по высоким значениям МВ и плотности осадков.

В колонке GC-36 записи $\delta^{18}\text{O}$ фораминифер позволяют помимо границ ИКС 1-3 выделить в нижней части ИКС 1 терминацию последнего оледенения 1Б [22] и предшествующее похолодание поздний дриас (рис. 2 и 3). Результаты анализа суммы неритических видов, наиболее представительных видов и численности диатомей показывают характерные экологические изменения комплекса диатомей и их обилия на границах и внутри ИКС (рис. 3). Численность диатомей минимальна во время последнего оледенения (ИКС 2, 12,5–24 т. л. н., здесь и далее возраст дан в радиоуглеродных годах) и несколько возрастала во время ИКС 3. Пик обилия диатомей наблюдался во время терминации последнего оледенения 1А (12,5 т. л. н.), во время последующего похолодания позднего дриаса (10–11 т. л. н.) содержание створок резко падало и изменялось в голоцене, оставаясь значительно выше, чем в периоды ИКС 2 и 3.

Стратиграфия осадков Берингова моря

Детальная хроностратиграфия осадков Берингова моря рассмотрена на примере колонок GC-11 и 2594, расположенных в южной и западной частях моря (рис. 1). Изменения $\delta^{18}\text{O}$ фораминифер, содержания карбонатного и органического углерода и обилия диатомей в осадках этих колонок по длине данных колонок показаны на рисунке 4. Кривые $\delta^{18}\text{O}$ планктонных и бентосных фораминифер позволяют выделить ИКС 1, 2 и 3, возрастные границы которых известны [36]. Изотопно-кислородные данные также показывают в основании ИКС 1 две фазы терминации последнего оледенения 1А и 1Б, синхронные глобальным событиям ускоренного таяния покровных ледников [22].

Тепрохронология осадков

Северо-западная Пацифика (возвышенность Детройт). Установленная хроностратиграфия осадков четырех колонок (882, 883, GC-32 и GC-36) позволяет провести предварительную корреляцию обнаруженных вулканических прослоев региона и дать их стратиграфическое положение по изотопно-кислородным стадиям и ориентировочный возраст (рис. 2).

В осадках ИКС 1: коррелируемые вулканические прослои 1V.1 (первая цифра названия вулканического прослоя указывает на номер ИКС, где расположен прослой, последняя – на порядковый номер его в данной ИКС) найдены в колонках GC-32 и GC-

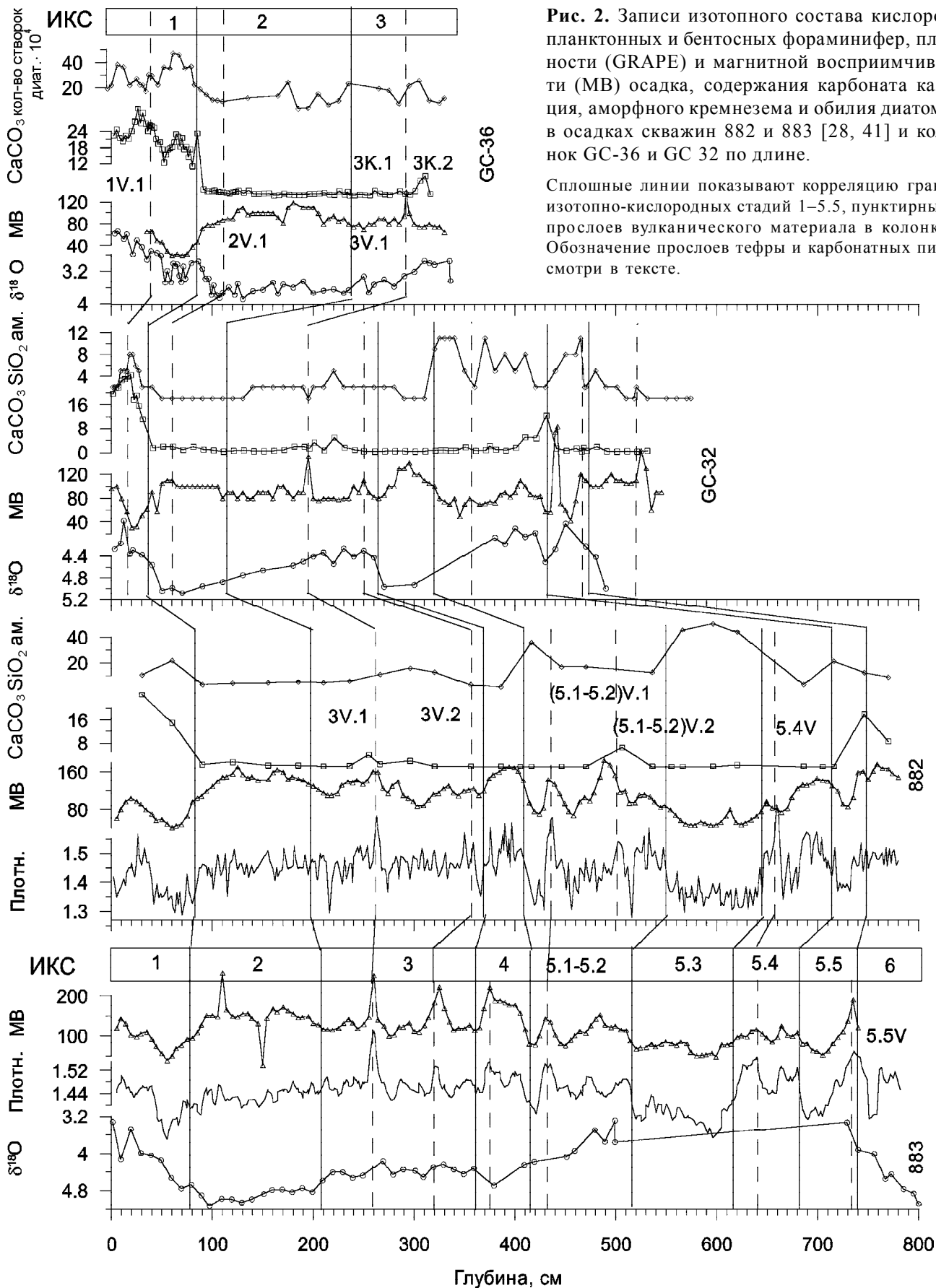


Рис. 2. Записи изотопного состава кислорода планктонных и бентосных фораминифер, плотности (GRAPE) и магнитной восприимчивости (МВ) осадка, содержания карбоната кальция, аморфного кремнезема и обилия диатомей в осадках скважин 882 и 883 [28, 41] и колонок GC-36 и GC 32 по длине.

Сплошные линии показывают корреляцию границ изотопно-кислородных стадий 1–5.5, пунктирные – прослоев вулканического материала в колонках. Обозначение прослоев тефры и карбонатных пиков смотри в тексте.

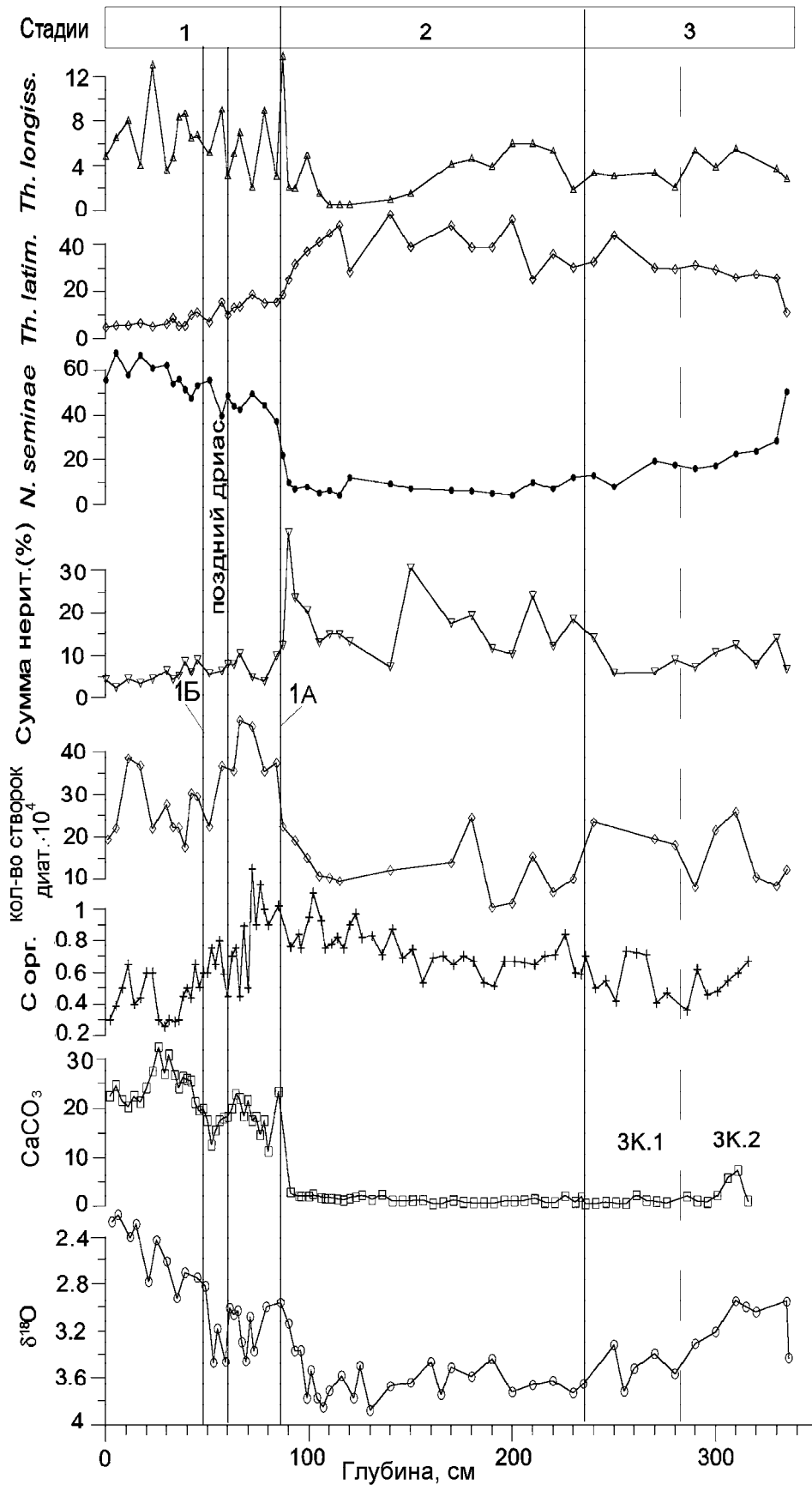


Рис. 3. Изменения $\delta^{18}\text{O}$ фораминифер *N. pachyderma* s. (‰ к PDB), концентраций карбонатного и органического углерода (весовой ‰), а также обилия диатомей в осадке и отдельных их видов по длине колонки GC-36 (северо-западная Пацифика). Сумма неритических видов диатомей и океанических: умеренно-холодноводного *N. seminae*, бореального *Th. latimarginata* и продуктивного *Th. longissima* даны в ‰ . Границы ИКС 1-3 показаны аналогично рисунку 2; в стадии 1 указаны также терминации последнего оледенения 1А и 1Б по [22] и похолодание поздний дриас. Изменение коэффициента Лд (отношение процентного содержания всех неритических видов к сумме неритических и океанических в комплексе диатомей) практически совпадает с ходом кривой суммы неритических видов.

36 и расположены в нижней части стадии. Тефра 2V.1 залегает в верхней части ИКС 2 колонок GC-32 и GC-36. Прослой 3V.1, расположенный в верхней части стадии 3, имеет возраст около 36 тыс. лет согласно возрастным шкалам колонок 883 [34] и GC-36. Прослой 3V.2 из нижней части стадии 3 имеет возраст около 50 тыс. лет. Прослой 4V.1 найден в верхней части стадии 4 скважины 883 (60–65 тыс. лет). Прослой (5.1–5.2)V.1 найден в верхней части объединенных подстадий 5.1-5.2 скважин 882 и 883 и прослой (5.1–5.2)V.2 в их нижней части (скважина 882). Прослой 5.4V.1 обнаружен в верхней части подстадии 5.4 (882 и 883). Прослой 5.5V.1 отложился вблизи основания подстадии 5.5. (882, 883 и GC-32).

Берингово море. На рисунке 4 показано положение выявленных прослоев тефры в осадках колонок GC-11 и 2594 и предварительная их корреляция. Общий прослой тефры стадии 1 колонок Берингова моря по стратиграфическому положению может коррелироваться с прослоем 1V.1 в осадках северо-западной Пацифики (колонок GC-36 и GC-32). Исходя из стратиграфического положения тефры относительно изотопных стадий и карбонатных пиков, найденные вулканические прослои из осадков Берингова моря (колонок GC-11 и 2594) изотопных стадий 2 и 3, вероятно, не коррелируются с прослоями тефры изученных колонок возвышенности Детройт и, следовательно, образованы разными извержениями.

Выявленная тефрохронология осадков характеризует вулканическую активность Камчатки и Алеутских островов в позднем плейстоцене и голоцене и может быть использована в качестве временных маркеров осадков региона.

Причины и хронология изменения содержания карбонатного и органического углерода и аморфного кремнезема в верхнечетвертичных отложениях региона

Содержания компонент биогенной триады в осадках определяются первичной продукцией, продуктивностью организмов с карбонатным и кремниевым скелетами, разбавлением их терригенным материалом на дне и растворением их в толще воды и осадках. Поэтому вариации этих компонент в осадках также в значительной степени зависят от изменений климата и имеют ярко выраженные региональные отличительные особенности.

В осадках ИКС 5.5 региона отмечаются пики содержания карбонатного и органического углерода и аморфного кремнезема [27, 28]. Вероятно, при наиболее теплых климатических условиях последнего межледниковья продуктивность региона и сохранность карбонатного материала в осадках были высокими.

Согласно данным скважин 882 и 883 [28, 41] и состава колонки GC-32, содержание биогенного аморфного кремнезема, представленного преимущественно створками диатомей, значительно возрастало в осадках северо-западной Пацифики во время относительно теплой подстадии 5.3.

Содержания карбоната кальция и органического углерода в осадках северо-западной Пацифики и окраинных морей во время стадий 2–4 и 5.1–5.4 в целом низкое, за исключением нескольких незначительно выраженных пиков CaCO_3 [27]. Менее детальные данные по колонкам 882 и GC-32 показывают повышение карбонатности осадков во время изотопных подстадий 5.1–5.2. В осадках стадии 3 северо-западной Пацифики и Берингова моря выделенные нами карбонатные пики коррелируются в рассматриваемых колонках (рис. 2 и 4) и, видимо, имеют региональный характер. Здесь можно предварительно выделить карбонатный пик 3К.1, сформированный позднее вулканического слоя 3V.1, и более интенсивные пики 3К.2 и 3К.3, образованные ранее пепла 3V.1 (рис. 2 и 4, колонки GC-36, 2594 и GC-11). Возраст карбонатного пика 3К.2, согласно данным колонок GC-36 и 883 [34], составляет около 40 тыс. лет.

Синхронные карбонатные пики 3К.1, 3К.2 и 3К.3 в осадках северо-западной Пацифики и Берингова моря отражают общие для северо-западной субарктики изменения в продуктивности и/или глубине уровня карбонатной компенсации, вероятно, в связи с потеплениями климата северного полушария, отразившимися в теплых событиях Европы – Денекампа, Хенгело и Глинде [49] – и повышениях уровня моря 30–35, 40–43, и 50–60 тыс. лет назад, соответственно [18].

В осадках изотопной стадии 1 детальные геохимические данные колонок северо-западной Пацифики, Берингова и Охотского морей показывают два синхронных максимума содержания карбоната кальция и органического углерода в ее нижней части (рис. 2, 3 и 4) [27]. Согласно детальной изотопнокислородной хроностратиграфии и радиоуглеродным датам, полученные данные показывают характерные для осадков северо-западной Пацифики и окраинных морей два пика содержания карбонатного и органического углерода, синхронные одноименным терминациям последнего оледенения 1А и 1Б [25, 27, 31]. Терминации последнего оледенения 1А и 1Б хорошо выражены в резком уменьшении $\delta^{18}\text{O}$ планктонных фораминифер в основании стадии 1 в колонках северо-западной Пацифики и ее краевых морей (рис. 3 и 4) [24, 25, 27, 31]. Исходя из корреляции полученных кривых $\delta^{18}\text{O}$ планктонных фораминифер с аналогичными кривыми северной Атлантики и северной Па-

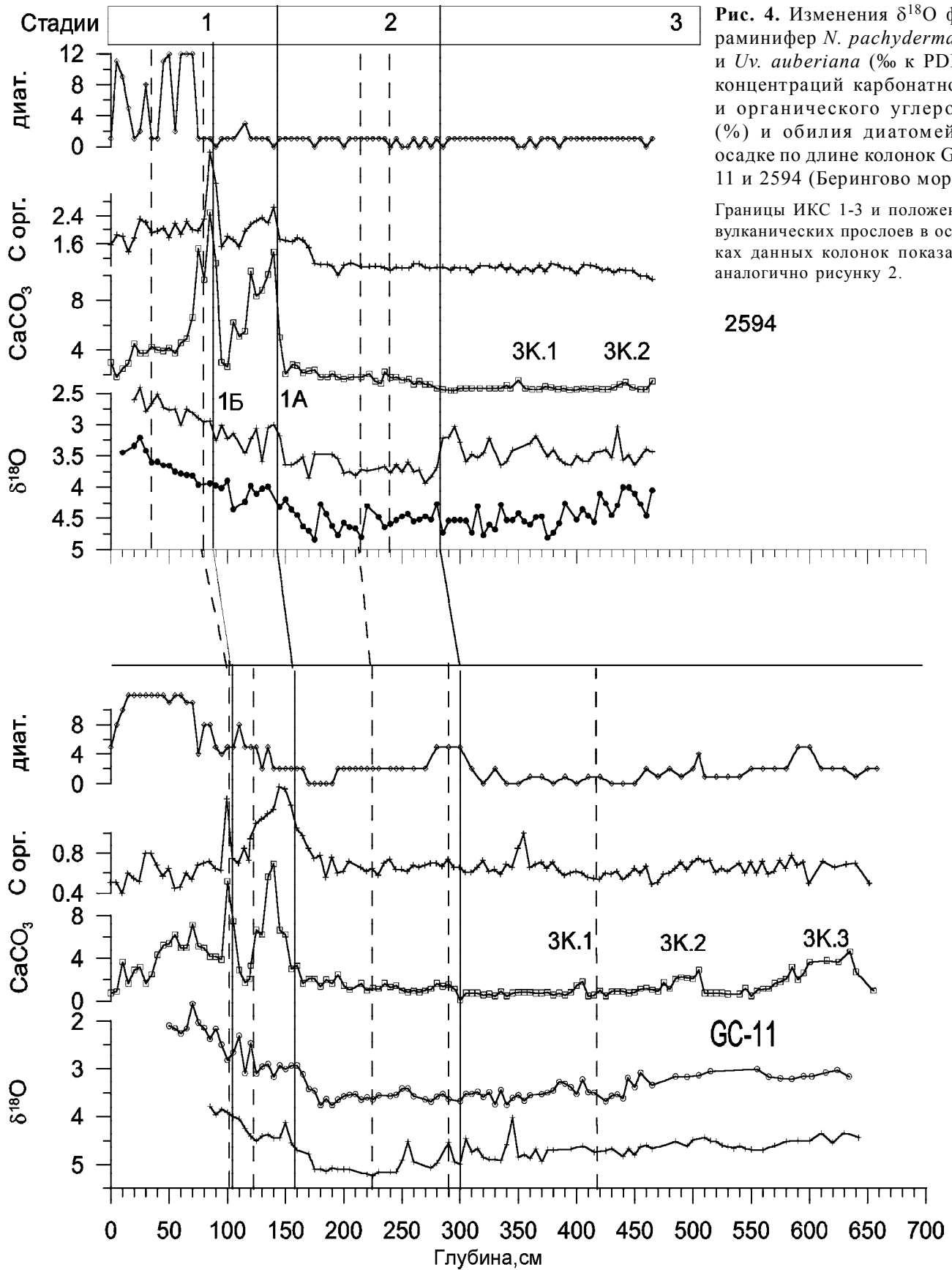


Рис. 4. Изменения $\delta^{18}\text{O}$ фораминифер *N. pachyderma* s. и *Uv. auberiana* (‰ к PDB), концентраций карбонатного и органического углерода (%) и обилия диатомей в осадке по длине колонок GC-11 и 2594 (Берингово море).

Границы ИКС 1-3 и положения вулканических прослоев в осадках данных колонок показаны аналогично рисунку 2.

цифики, региональные терминации 1А и 1Б происходили одновременно с одноименными пульсациями талых вод при ускоренном таянии покровных ледников северного полушария 12,5 и 9,5–10 тыс. лет назад, в связи с потеплениями климата Беллинг-Аллерод и начала голоцена соответственно, разделяемыми похолоданием поздний дриас [22]. Похолодание климата поздний дриас (11–10 тыс. лет назад) заметно выделяется и в полученных изотопно-геохимических и литологических результатах по осадкам северо-западной Пацифики и ее окраинных морей (рис. 2 и 4) [25, 27, 31]. В детальных кривых содержания карбоната кальция в колонках Охотского моря отмечается также карбонатный пик 1С в осадках среднего голоцена с возрастом 6–4 тыс. лет [27]. Вероятно, максимальные значения CaCO_3 в колонке GC-36 на интервале 20–30 см коррелируются с пиком 1С, а пик 1Б, инициируемый терминацией 1Б, соответствует интервалу 35–45 см (рис. 3). Увеличение содержания CaCO_3 в средней части стадии 1 (пик 1С) выражено и в осадках колонки GC-11 из южной части Берингова моря, но практически не заметно в его северо-западной части (колонка 2594). Значительное увеличение содержания CaCO_3 и органического углерода в осадках северо-западной Пацифики было найдено ранее Е.А. Романкевичем и выделено им в слой 3 [14].

В осадках основания ИКС 1 рассматриваемых колонок хорошо выражен максимум содержания аморфного кремнезема и обилия диатомей (рис. 2 и 3), синхронный с терминацией 1А. Пик содержания аморфного кремнезема отмечался ранее в других колонках северо-западной Пацифики [25, 31] и хорошо выделен в стратиграфическом слое 3 Е.А. Романкевича [2, 14]. Одновременный рост CaCO_3 , органического углерода и биогенного опала в осадках региона при терминациях 1А и 1Б позволяет заключить о значительных увеличениях продуктивности поверхностных вод в то время в связи с потеплениями климата и изменениями среды региона. Улучшение условий среды и увеличение продуктивности при терминациях последнего оледенения было установлено также в Охотском море и других частях северной Пацифики [2, 14, 25, 27, 31] и, вероятно, происходило во всей субарктике Тихого океана, включая окраинные моря. Увеличение биогенного кремнезема в осадках Берингова моря во время пика продуктивности при терминации 1А менее выражено по сравнению с районом западной субарктической ячейки, а в Охотском море почти незаметно [4, 27], вероятно, вследствие сильного влияния ледового покрова окраинных морей на продукцию диатомовых водорослей. Увеличение содержания органического вещества в осадках Берингова моря происходило несколько раньше термина-

ции 1А и позднее содержание органики резко уменьшалось параллельно с кривой содержания CaCO_3 во время позднего дриаса (11–10 тыс. лет назад) в связи с похолоданием климата.

В колонке GC-11 из южной части Берингова моря среднее содержание органического углерода в отложениях холодной стадии 2 больше, чем в отложениях поздней части ИКС 1. Аналогичные изменения в концентрациях органики наблюдались и в верхнечетвертичных осадках северо-западной Пацифики [25, 28, 31] и были обусловлены, вероятно, более высокой продуктивностью вод северной Пацифики в холодные эпохи [46]. Холодный и аридный климат во время последнего оледенения, сокращение растительного покрова на континентах [17] и более интенсивная атмосферная циркуляция [19] приводили к увеличению поставки в океан эолового терригенного материала, в том числе железа, лимитирующего содержание нитратов в воде [23], и, соответственно, к росту продуктивности. В северо-западной части Берингова моря (колонка 2594, рис. 4) и в Охотском море [27] в голоcene продуктивность была выше, чем в ледниковую эпоху, вероятно, в связи с менее интенсивным и менее продолжительным сезонным ледовым покровом. Ярко выраженные максимумы продуктивности западной субарктики и ее окраинных морей (пики CaCO_3 и $\text{C}_{\text{орг}}$) во время терминаций последнего оледенения 1А и 1Б были, вероятно, вызваны интенсивными поступлениями в прибрежную зону терригенного материала, включая железо и другие питательные вещества, при глобальных потеплениях климата и ускоренных подъемах уровня моря.

Изменения магнитной восприимчивости осадков региона

Значения магнитной восприимчивости (МВ) донных отложений характеризуют концентрацию магнитных минералов в осадке и зависят от минералогического состава пород питающих провинций на прилегающем континенте, степени разбавления терригенной компоненты осадка немагнитными биогенными компонентами – карбонатом кальция и аморфным кремнеземом – и поступления вулканогенного материала. Последний фактор оказывает значительное воздействие на величину МВ осадков северо-западной Пацифики вследствие привноса продуктов вулканизма Камчатки и Алеутских островов и высоких значений их МВ. Поступление терригенного материала в бассейн посредством речного стока и абразии берегов в значительной степени зависит от вариаций климата, и поэтому изменения МВ осадков используют как дополнительный критерий для

выявления изменений климата прилегающего региона и стратиграфии осадков [4, 43].

Кривые МВ осадков четырех колонок и синхронно им изменяющиеся значения плотности осадков (GRAPE) (882 и 883) демонстрируют закономерные изменения обоих параметров в осадках ИКС 1-6, связанные с вариациями климата и эпизодическими поступлениями вулканогенного материала (рис. 2). Аналогичная ситуация наблюдается и в Охотском море [4, 27]; максимальные значения МВ и плотности осадков в изучаемом регионе характерны для холодных климатических эпох (ИКС 2, 4, 5.2, 5.4 и 6), что объясняется поступлением с прилегающего континента более грубого терригенного материала и низкой концентрацией биогенных компонент. Величины МВ и плотности осадков значительно уменьшаются в теплые эпохи вследствие увеличения продуцирования и поставки на дно кремнистого и карбонатного планктона (диатомей и фораминифер) и более тонкого гранулометрического состава терригенного материала. Минимумы МВ и плотности такой природы происходили, как это обсуждалось выше, во время последнего межледниковья 5.5, относительно теплой подстадии 5.3 и терминации последнего оледенения 1А. Сопоставление записей МВ с присутствием вулканического материала в изученных осадках демонстрирует резкие максимумы МВ и плотности осадков в прослоях тефры (рис. 2) из-за высоких значений МВ магнетита и Ti- магнетита в продуктах вулканизма.

Реконструкция экологических и количественных изменений диатомовых комплексов в верхнечетвертичных осадках региона

Диатомовые водоросли являются наиболее представительной группой фитопланктона изучаемого региона и составляют в его осадках основную часть биогенных компонент. А.П. Жузе [7] провела основополагающие работы по стратиграфическому разделению четвертичных отложений северо-западной Пацифики, Охотского и Берингова морей на горизонты по диатомеям и рассмотрела влияние климата на экологические, количественные и филогенетические изменения их комплексов. Хотя позднее многие исследователи использовали диатомеи для стратиграфии четвертичных отложений и реконструкции палеоокеанологии региона [12, 13, 44, 45], практически нет работ, в которых результаты диатомового анализа в колонке непосредственно сопоставлялись с изотопно-кислородными стадиями. Для выявления хронологии экологических изменений диатомовых комплексов, обусловленных вариациями климата и среды, и основанного на них стратиграфического деления осадков региона [7] нами изучен видовой состав диатомей в отложе-

ниях колонки GC-36, обеспеченной изотопно-кислородной хроностратиграфией (рис. 3).

Результаты анализа встречаемости наиболее представительных видов диатомей, суммы неритических видов и численности диатомей показывают характерные экологические изменения комплекса диатомей и их обилия во время накопления осадков изотопных стадий 1–3 (рис. 3). Численность диатомей минимальна во время последнего оледенения (ИКС 2, 12,5–24 тыс. лет назад) и несколько возросла во время ИКС 3. Пик обилия диатомей наблюдался во время терминации последнего оледенения 1А (12,5 т. л. н.), во время последующего похолодания поздний дриас (10–11 т. л. н.) содержание створок резко падало и изменялось в голоцене, оставаясь значительно выше, чем в периоды стадий 2 и 3.

Процентное содержание суммы неритических видов (*Actinoptychus senaris*, *Bacterosira fragilis*, *Odontella aurita*, *Thalassiosira gravida*, *Th. hyalina*, *Th. antarctica*, *Th. kryophila*, *Th. nordenskioldii*) в комплексе диатомей максимально во время последнего оледенения ИКС 2 (среднее значение около 20 %), минимально в осадках первой стадии и несколько повышено во время стадии 3. При низкой численности диатомей комплекс ИКС 2 содержит также перетолженные виды. Во время ИКС 3 содержание умеренно холодноводного вида *Neodenticula seminae* низкое. Во время оледенения ИКС 2 содержание этого вида в осадках минимально и резко увеличивается вверх по колонке до 40 % при терминации оледенения 1А (основание стадии 1) и до 60 % с терминацией 1Б. Содержание океанического бореального вида *Th. latimarginata* максимально во время ИКС 2 и менялось зеркально по отношению к виду *N. seminae*.

Установленная хроностратиграфия осадков изучаемого региона по изученным нами колонкам (рис. 2, 3 и 4) [27] выявила определенные закономерности в изменениях во времени экологии и численности диатомовых комплексов, содержания карбонатного и органического углерода, аморфного кремнезема, магнитной восприимчивости и литологии позднечетвертичных осадков. Это позволяет провести корреляцию проведенной ранее стратиграфии осадков северо-западной Пацифики и окраинных морей по результатам диатомового анализа, литологии осадков и их геохимических характеристик [2, 7, 14, 15] с изотопно-кислородными стадиями и, следовательно, с глобальными климатическими событиями.

Хроностратиграфическая корреляция верхнечетвертичных осадков региона

Осадки северо-западной Пацифики. Для диатомового горизонта IV А.П. Жузе характерно одновременное присутствие арктических холодноводных

океанических, неритических и сублиторальных видов с примесью переотложенных видов при низкой общей численности диатомей и значительной долей неритических видов [7]. Одновозрастный ему литологический слой 4 имеет преимущественно терригенный состав осадков с низким содержанием биогенных компонент [14]. Сопоставление экологических и численных изменений диатомей, литологии и геохимии осадков северо-западной Пацифики [7, 14] с аналогичными данными колонки GC-36 позволяет коррелировать диатомовый горизонт IV и литологический слой 4 с ИКС 2.

Резкое увеличение доли умеренно холодолюбивых видов диатомей, спад участия неритических видов и максимум в концентрациях биогенного карбоната, органики и аморфного кремнезёма (численности диатомей) позволяют сопоставить горизонт III А.П. Жузе (слой 3 Е.А. Романкевича) с терминацией последнего оледенения 1А и глобальным потеплением Беллинг-Аллеред начала стадии 1. Характерный для горизонта III исключительный расцвет океанических видов и максимум встречаемости *Thalassiothrix longissima*, характеризующего высокую продуктивность [7], отмечен в основании ИКС 1 колонки GC-36 (рис. 3), что подтверждает нашу хроностратиграфическую шкалу и согласуется с пиками содержания карбонатного и органического углерода терминации 1А.

Холодолюбивый облик комплекса диатомей горизонта II [7], спад численности диатомей и концентраций биогенных компонент во время его накопления, синхронного литологическому слою 2 [14], отражают похолодание климата и уменьшение продуктивности во время похолодания поздний дриас. Современный облик диатомовой флоры и литологии осадков горизонта I свидетельствуют о накоплении его в голоцене при климатических условиях, близких к современным. Судя по изменению состава диатомей (рис. 3) и кривой $\delta^{18}\text{O}$ планктонных фораминифер, близкие к современным параметры среды и экологии диатомей (горизонт I по А.П. Жузе) установились в регионе около 6–7 тыс. лет назад.

Осадки Берингова и Охотского морей. Хотя осадки Берингова моря (колонки GC-11 и 2594) не были изучены нами детально на видовой состав диатомей, данные о содержании CaCO_3 и органического углерода, обилии диатомей в этих колонках и результаты изотопно-геохимического и диатомового анализов колонок Охотского моря [1, 5, 27] позволяют провести корреляцию берингоморских и охотоморских диатомовых стратиграфических горизонтов А.П. Жузе [7] с изотопно-кислородными стадиями. А.П. Жузе отмечала общность экологических

изменений диатомовых комплексов в выделяемых ею стратиграфических горизонтах осадков Охотского и Берингова морей, определяемых в основном изменениями климата [7].

Исходя из новых данных, полученных по Берингову и Охотскому морям, следует, что диатомовый горизонт III преимущественно глинистых отложений с невысокими содержаниями CaCO_3 и аморфного кремнезема, который представлен в основном океаническими видами с незначительной долей неритических диатомей [7], соответствует ИКС 3. Вышележащий диатомовый горизонт II, представленный терригенными грубозернистыми осадками с низким содержанием аморфного кремнезема и карбоната кальция и высокой долей неритических и сублиторальных видов в комплексе диатомей [7], отлагался во время последнего оледенения, соответствующего ИКС 2. Верхний диатомовый горизонт I алевритово-глинистых диатомовых илов с повышенным содержанием CaCO_3 , северобореальным комплексом преимущественно океанических видов и максимально низкой встречаемостью неритических диатомей накапливался в теплый период ИКС 1. К сожалению, крайне редкий отбор проб колонки GC-11 (через 30–80 см) затрудняет интерпретацию результатов диатомового анализа И.Б. Цой и др. [48]. Тем не менее, данные этих авторов показывают на значительное увеличение содержания неритического вида *Th. gravida* (до 10–20 %) в осадках, относящихся к холодной стадии 2 (пробы со 170 и 240 см), относительно интервала 0–140 см (ИКС 1). Таким образом, хроностратиграфические шкалы одноименных диатомовых горизонтов А.П. Жузе в северо-западной Пацифике и ее окраинных морях [7] различны.

Неритические виды диатомей как стратиграфический критерий и индикатор среды высокоширотных морей

По заключению А.П. Жузе [7], характерными экологическими особенностями горизонта II Берингова и Охотского морей, который она относит к последнему оледенению, являются присутствие преимущественно неритических холодолюбивых видов, наличие сублиторальных видов диатомей и незначительное количество переотложенных видов. Принципиальной особенностью комплекса диатомей горизонта II окраинных морей, синхронного ИКС 2, вслед за А.П. Жузе [7], мы считаем высокое процентное содержание суммы неритических видов в комплексе, что определялось глобальным похолоданием климата и усилением ледового покрова. Изучение ледового разноса [5, 26] показало усиление формирования морских льдов и распространение их в централь-

ную и южную части Охотского моря во время последнего оледенения, что должно было приводить к расцвету там неритической флоры. Результаты диатомового анализа колоннок центральной и южной частей Охотского моря с изотопно-кислородной хроностратиграфией [1] показали увеличение содержания суммы неритического планктона в комплексе во время ИКС 2 (до 30–45 %) при низкой общей численности диатомей. Таким образом, отношение процентного содержания суммы неритических видов диатомей к сумме неритических и океанических видов (коэффициент Лд) является критерием стратиграфии осадков и показателем изменений климата и среды высокоширотных бассейнов. Вероятно, правильнее называть "неритические" виды, которые активно развиваются во льдах и вблизи кромки льда при его таянии [7], как "приледные", поскольку их экология непосредственно связана с присутствием льдов и их влиянием на гидрологию и гидрохимию поверхностных вод. Новые результаты по Охотскому морю [1, 5] подтверждают связь неритических видов со льдами и показывают, что они могут активно продуцироваться в глубоководных частях региона при суровых климатических условиях. В колонке GC-36 из северо-западной Пацифики доля неритических диатомей в комплексе также увеличивалась до 15–25 % во время последнего похолодания, превышая величины ИКС 1 и 3 (рис. 3). Изменение коэффициента Лд для этой колонки практически совпадает с кривой содержания суммы неритических видов (рис. 3), так как доля бентических и переотложенных видов очень незначительна. Вероятно, коэффициент Лд является также индикатором изменений климата и ледовой обстановки северо-западной Пацифики и краевых морей в прошлом и может быть использован и при изучении быстрых изменений палеосреды на шкале тысячелетий и столетий при анализе событий Дансгор-Ошгер [21].

Использование температурного коэффициента T_d , предложенного Канаи и Коидзуми [30] для подсчета температур вод в низких широтах, затруднительно в изучаемом регионе из-за низких температур поверхностных вод при весеннем пике продуцирования диатомей.

Скорости седиментации в северо-западной Пацифике и Беринговом море во время последнего оледенения – голоцена (ИКС 1 и 2)

Исходя из результатов, полученных с использованием изотопно-кислородной хроностратиграфии (колонки 883, GC-36, GC-32, GC-11 и 2594), данных диатомового анализа, литологии и содержания биогенных компонент в ранее изученных колонках [2, 7, 8, 14, 15, 44, 45] и вышеприведенной хронострати-

графической интерпретации диатомовых и литологических горизонтов, можно оценить средние скорости седиментации в Беринговом море и северо-западной Пацифике за периоды ИКС 1 и 2 (таблица, рис. 5). Согласно климатической интерпретации А.П. Жузе экологических изменений диатомей при выделении ею стратиграфических горизонтов в Охотском и Беринговом морях [7] и принятой нами корреляции их с изотопно-кислородной хроностратиграфией, мы внесли незначительную коррекцию в хронологическую интерпретацию результатов диатомового анализа осадков колоннок RC14-126 и V21-162 [39] (табл.).

Схема скоростей седиментации для последних 12, 5 тыс. лет (рис. 5а) показывает довольно высокие темпы накопления осадков в изучаемом регионе (56–6 см/т. л.) [9]. Наибольшие скорости седиментации характерны для глубоководных котловин Берингова моря. Этому способствовали как активный снос и аккумуляция терригенного материала с прилегающей суши, так и высокие значения первичной биопродукции в этом бассейне и, соответственно, скоростей биогенного кремненакопления [8]. В северо-западной Пацифике распределение скоростей седиментации соответствует закономерному уменьшению потока терригенного материала от континента в сторону открытого океана и переносу взвешенного материала из Берингова моря через Камчатский пролив.

Во время последнего оледенения (ИКС 2) образование покровных ледников и падение уровня моря на 120 м привели к коренным изменениям физико-географических условий Берингова моря. Берингов пролив и большая часть северо-восточного шельфа были осушены, горы окружающей суши были покрыты ледниками, а низменные области были заняты тундрами [29]. Водообмен Берингова моря с Тихим океаном в мелководных проливах восточной части Алеутских островов во время оледенения, видимо, уменьшался; однако глубоководные проливы западной и средней части Алеутской гряды обеспечивали возможность интенсивного обмена вод. Река Юкон, несущая в настоящее время взвешенный материал преимущественно в Чукотское море, при глобальной регрессии моря последнего оледенения сбрасывала его в Берингово море. Все эти факторы способствовали увеличению темпов накопления терригенного материала в глубоководных котловинах в период оледенения и, особенно, у оснований северных склонов котловин, что и показывают реконструированные скорости седиментации ИКС 2 (рис. 5б). Вероятно, основной тип циклонического круговора поверхностных вод во время оледенения в Беринговом море, как и в субарктике, был аналогичен современному [42], что обеспечивало интенсивный вынос из

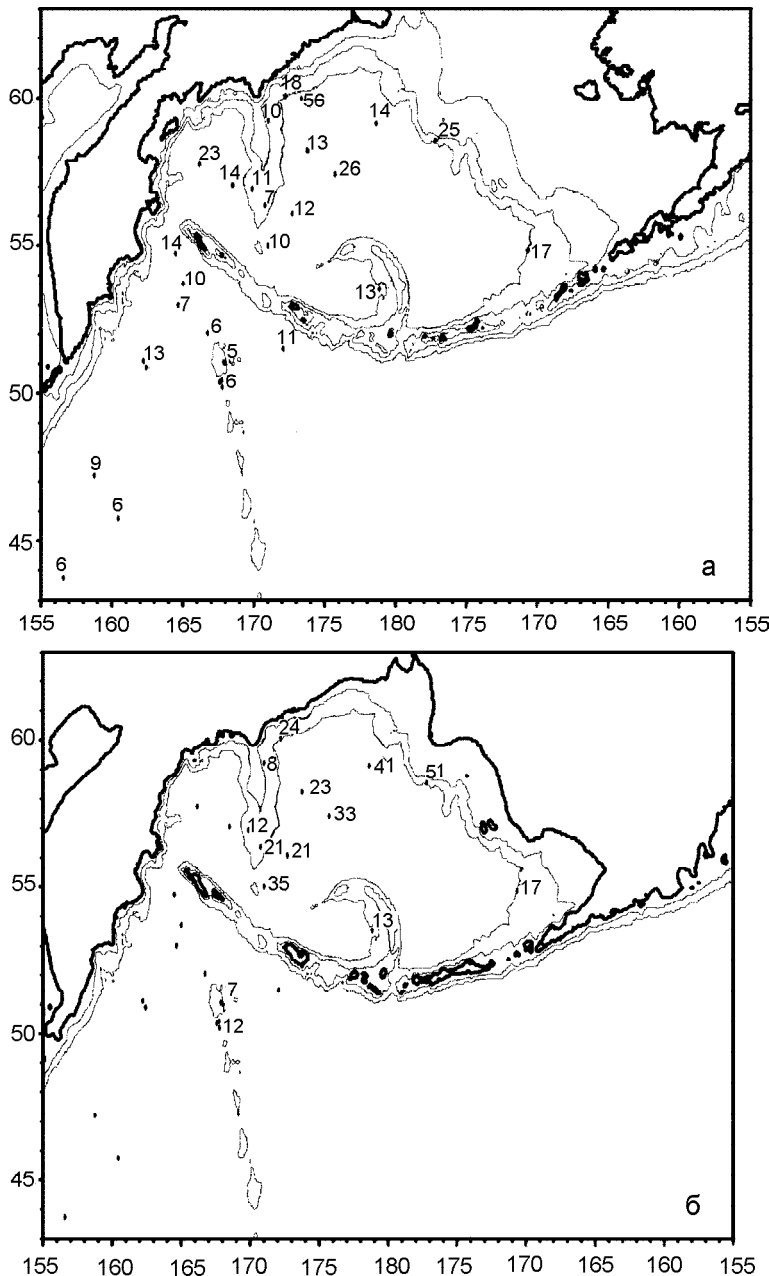


Рис. 5. Схемы средних скоростей (см/т.л.) седиментации северо-западной Пацифики и Берингова моря за периоды ИКС 1 (а) и НКС 2 (б) (0–12,5 т.л. и 12,5–24 т. л. н. соответственно).

Согласно изотопной стратиграфии представленных в работе колонок и установленной корреляции диатомовых и литологических горизонтов ранее изученных колонок [2, 7, 14, 44, 45] с изотопно-кислородными стадиями (таблица). Вследствие близкого расположения некоторых станций на схемах показаны осредненные скорости седиментации для колонок 882, 883, GC-36 и GCC-37; GC-32 и RNDB 11PC; 1031 и RC 14-126; 3274 и 3378 (см. табл.). Граница береговой линии региона для периода последнего оледенения (б) проведена по изобате 100 м согласно гляциоэвстатическому падению уровня моря.

бассейна терригенного вещества в северо-западную Пацифику через Камчатский пролив. К сожалению, известные нам колонки из Северо Западной котловины Тихого океана не достигли третьей изотопной стадии, но полученные результаты по колонкам возвышенности Детройт демонстрируют значительное увеличение скоростей седиментации во время ИКС 2. Реконструкции распределения крупных терригенных частиц ледового разноса ($>0,5$ мм) в ледовых отложениях северо-западной Пацифики [10, 20] показывают хорошо выраженный шлейф выноса ледового материала из Берингова моря через Камчатский пролив в юго-восточном направлении с максимальными значениями у Камчатки.

Изучение состава тяжелых минералов из фракции 0,05–0,1 мм осадков северо-западной Пацифики, Берингова моря и прилегающей суши [39] показало, что во время оледенения терригенный материал, накопленный в осадочном теле возвышенности Обручева (Мейджи) и соседних районах Пацифики, поступал преимущественно с восточного шельфа Берингова моря посредством морских льдов, дрейфующих согласно циркуляции поверхностных вод. Активная роль морских льдов в седиментации в этой части северо-западной Пацифики, восстановленная по изменениям состава тяжелых минералов осадка, соответствует присутствию "неритического" планктона в ископаемом комплексе диатомей (колонка GC-36).

ВЫВОДЫ

1. На основании результатов изотопного состава кислорода планктонных и бентосных фораминифер и радиоуглеродных датировок нескольких опорных колонок из северо-западной Пацифики и Берингова моря установлена стандартная изотопно-кислородная хроностратиграфическая шкала верхнечетвертичных осадков этих бассейнов.

2. На основании изменений содержания карбоната кальция, органического углерода, биогенного кремнезема и магнитной восприимчивости осадков в опорных колонках выявлены основные закономерности региональных изменений этих параметров во времени в связи с вариациями климата. Во время последнего межледникового (ИКС 5.5) в осадках северо-западной Пацифики, Берингова и Охотского морей отмечаются повышенные содержания карбонатного и органического углерода и аморфного кремнезема вследствие потепления климата и повышения биопродуктивности вод. Содержания биогенных компонент в осадках региона во время стадий 2–4 и 5.1–5.4 в целом низкое за исключением нескольких незначительно выраженных пиков CaCO_3 . В осадках стадии 3 северо-западной Пацифики и Берингова моря выделены три незначительных карбонатных пика, которые, вероятно, имеют региональный характер и связаны с потеплениями климата. Повышения содержания карбонатного и органического углерода в осадках региона происходили во время терминаций 1А и 1Б последнего оледенения (12,5 и 9,5–10 тыс. лет назад соответственно) и были вызваны глобальными потеплениями климата Беллинг-Аллеред и начала голоцена и усилением биологической продуктивности.

Высокие значения магнитной восприимчивости осадков изучаемого региона характерны для холодных климатических эпох (ИКС 2, 4), что объясняется поступлением с прилегающего континента более грубого терригенного материала и низкой концентрацией биогенных компонент.

3. В опорных колонках изученного региона выявлены прослои вулканического материала, проведена их корреляция, показано их хроностратиграфическое положение.

4. На основе анализа данных А.П. Жузе [7] по экологическим изменениям комплекса диатомей в изученных ею колонках северо-западной Пацифики, Берингова и Охотского морей и полученных нами результатов диатомового анализа колонок из изученного региона проведена корреляция стратиграфических горизонтов, выделенных А.П. Жузе по диатомеям, с изотопно-кислородными стадиями. Принципиальной

особенностью экологических изменений диатомового комплекса стратиграфического горизонта, синхронного холодной стадии 2, вслед за А.П. Жузе, мы считаем уменьшение участия океанических видов и значительное увеличение в комплексе диатомей доли неритических видов, развивающихся во льдах и вблизи во время их таяния. Поэтому отношение процентного содержания всех неритических (или приледных) видов к сумме неритических и океанических в комплексе диатомей (коэффициент Лд) может служить важным стратиграфическим критерием и индикатором изменений среды высокоширотных бассейнов.

5. На основе синтеза выполненной хроностратиграфической корреляции литературных данных диатомового и геохимического анализов и литологии осадков и оригинальных результатов определены мощности горизонтов и построены схемы средних скоростей седиментации в северо-западной Пацифике и Беринговом море во время изотопно-кислородных стадий 1 и 2 (0–12,5 и 12,5–24 тыс. лет назад соответственно). Во время ИКС 1 высокие скорости седиментации (56–10 см /тыс. лет) отмечены в глубоководных котловинах Берингова моря. Кроме активной аккумуляции терригенного материала этому способствовала высокая биологическая продуктивность и, соответственно, темпы биогенного кремнезема накопления. Закрытие Берингова пролива, осушение большей части северо-восточного шельфа и перераспределение выноса взвеси р. Юкон во время регрессии моря последнего оледенения (ИКС 2) способствовали увеличению темпов накопления терригенного материала в котловинах Берингова моря, выносу взвешенного материала через Камчатский пролив и разнесу его в юго-восточном направлении в северо-западной Пацифике.

Авторы выражают глубокую благодарность д.г-м. н. И. О. Мурдмаа и к. г-м н. И. Б. Цой за ряд критических замечаний, способствовавших значительному улучшению статьи. Работа выполнена при поддержке РФФИ, № 03-05-65192.

ЛИТЕРАТУРА

1. Артемова А.В., Горбаренко С.А., Лесков В.Ю. Палеоокеанологические изменения в Охотском море в течение позднего плейстоцена-голоцена по данным диатомового и геохимического анализов (на примере колонок GE 99-10 и LV28-41) // Сб. ТОИ ДВО РАН. 2002. (В печати).
2. Безруков П.Л., Романкевич Е.А. К стратиграфии и литологии донных отложений северо-западной части Тихого океана // Докл. АН СССР. 1960. Т. 130, № 2. С. 417–420.
3. Горбаренко С.А. Стратиграфия верхнечетвертичных осадков центральной части Охотского моря и их палеоокеанология по $\delta^{18}\text{O}$ и другим методам // Океанология. 1991. Т. 31. Вып. 6. С. 1036–1042.

4. Горбаренко С.А., Деркачев А.Н., Астахов А.С., Саутон Д.Р., Шаповалов-Чупрынин В.В., Нюрнберг Д. Литостратиграфия и тефрохронология верхнечетвертичных осадков Охотского моря // Тихоокеан. геология. 2000. Т. 19. № 2. С. 58–72.
5. Горбаренко С.А., Лесков В.Ю., Артемова А.В., Тидеман Р., Бибоу Н., Нюрнберг Д. Ледовый покров Охотского моря в последнем оледенении и голоцене. Докл. АН. 2003. Т. 388, № 5. С. 678–682.
6. Диатомовые водоросли СССР (ископаемые и современные). Т. 1. Л.: Наука. 1974. (Отв. ред. Прошкина-Лавренко А.И.). 403 с.
7. Жузе А.П. Стратиграфические и палеогеографические исследования в северо-западной части Тихого океана. М.: Изд-во Академии наук СССР. 1962. 259 с.
8. Лисицин А.П. Распределение кремнезема в четвертичных осадках в связи климатической зональностью геологического прошлого // Геохимия кремнезема. М.: Наука, 1966. С. 321–370.
9. Лисицин А.П. Процессы океанской седиментации. М.: Наука, 1978. 392 с.
10. Лисицин А.П. Ледовая седиментация в Мировом океане. М.: Наука 1994. 448 с.
11. Люцарев С.В. Определение органического углерода в морских донных отложениях методом сухого сжигания // Океанология. 1986. Т. 25, Вып. 4. С. 704–708.
12. Пушкарь В.С., Черепанова М.В., Горбаренко С.А. Биостратиграфический и палеогеографический анализ диатомовых тафоценозов Северо-Западной Пацифики // Палеогеографические исследования на Дальнем Востоке. Владивосток: ДВО АН СССР 1987. С. 58–74.
13. Пушкарь В.С., Черепанова М.В. Диатомеи плиоцена и антропогена северной Пацифики (Стратиграфия и палеоэкология). Владивосток: Дальнаука. 2001. 222 с.
14. Романкевич Е.А. Четвертичные глубоководные отложения северо-западной части Тихого океана и их значение для палеогеографии // Изв. АН СССР. 1963. № 6. С. 35–49.
15. Романкевич Е.А., Безруков П.Л., Баранов В.И., Христианова Л.А. Стратиграфия и абсолютный возраст глубоководных осадков западной части Тихого океана М.: Наука, 1966. 167 с.
16. Саидова Х.М., Лисицин А.П. Стратиграфия осадков и палеогеография Берингова моря в четвертичный период // Докл. АН СССР. 1961. Т. 139. № 5. С. 1221–1224.
17. Atlas of paleoclimates and paleoenvironments of the Northern Hemisphere, Late Pleistocene Holocene, (1992), In: Frenzel, B., Pecshi M., and Velichko, V.V.) Published by Geographical Research Institute, Hungarian Academy of Science, Budapest, Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, Jena, New Work, Budapest, Stuttgart.
18. Chappell J., Omura A., Esat T., McCulloch M., Pandolfi J., Ota Y., Pillans B., 1996, Reconciliation of late Quaternary sea level derived from coral terraces at Huon Peninsula with deep sea oxygen isotope records // Earth and Planet Science letters. 141. P. 227–236.
19. COHMAP Members. Climatic changes of the last 18,000 years: Observations and model simulations // Science. 1988. 241. P. 1043–1052.
20. Conolly J., Ewing M. Ice-rafted detritus in Northwest Pacific deep-sea sediments, Geological Society of American Bulletin. 1970. 126. P. 219–231.
21. Dansgaard W., Johnson S. J., Claussen H. B., Dahl-Jensen D., Gundestrup N. S., Hammer C. U., Hvidberg C. S., Steffensen D., Sveinbjornsdottir A. E., Jouzel J., Bond G. Evidence of general instability of past climate from a 250 kyr ice-core record // Nature. 1993. 364. P. 218–220.
22. Fairbanks, R.G. A 17,000 years glacio-eustatic sea level record: influence of glacial melting rates on the Younger Dryas event and deep-ocean circulation // Nature. 1989. 342. P. 637M642.
23. Falkovskii P.G., Barber R.T., Smetace, V. Biogeochemical controls and feedbacks on ocean primary productivity // Science. 1998. 281. P. 200–206.
24. Gorbarenko S.A., Pliss S.G. Late Pleistocene and Holocene accumulation of calcium carbonate, opal and terrigenous detritus: Detroit Seamount (northwestern Pacific) and Bowers Ridge (southern Bering Sea) / Data and results from R.V. Aleksandr Vinogradov cruises 91-AV-19/1, North Pacific Hydrochemistry Transect; 91-AV-19/2, North equatorial Pacific Karin Ridge Fe-Mn crust studies; and 91-AV-19/4, Northwest Pacific and Bering Sea sediment geochemistry and paleoceanography studies. (Ed. by J.R. Hein et al.). 1994. Open File Report 94-230. P. 268–280.
25. Gorbarenko S. A. Stable isotope and lithologic evidence of late-glacial and Holocene oceanography of the Northwestern Pacific and its marginal Seas // Quatern. Res. 1996. 46. P. 230–250.
26. Gorbarenko S.A., Leskov V.Yu., Tiedemann R., Biebow N. Climate, sea ice and productivity in the Okhotsk Sea during last 75 thousand years In.: Proceeding of the 16-th international symposium on the Okhotsk Sea and sea ice. 2001. Mombetsu. Japan. P. 425–432.
27. Gorbarenko S.A., Nürnberg D., Derkachev A.N., Astakhov A.S., Southon J.R. Kaiser A., Magnetostratigraphy and teprochronology of the upper Quaternary sediments in the Okhotsk sea: implication of terrigenous, volcanogenic and biogenic matter supply // Marine Geology. 2002. 183. P. 107–129.
28. Haug G.H., Maslin M.A., Sarnthein M., Stax R., Tiedemann R. Evolution of northwestern Pacific sedimentation patterns since 6 MA (site 882) / Proceeding of the Ocean Drilling Program, Scientific Results V. 145, (Rea, D.K., Basov I.A., Scholl D.W. and Allan J. F. Eds). 1995. P. 293–314.
29. Hopkins D. M. The paleogeography and climatic history of Beringia during the late Cenozoic time // Internord. 1972. 12. P. 121–150.
30. Kanaya T., Koizumi I. Interpretation of the diatom thanatocenoses from the North Pacific applied to a study of core V 20-130. Sci. Repts., Tohoku univ. 2nd Ser. (Geol), 1966. 37. 2. 89–130.
31. Keigwin L.D., Jones G. A., Floerich P.N. A 15,000 years paleoenvironmental records from Meiji Seamount, far northwestern Pacific //Earth Planet. Sci. Lett. 1992. 111. P. 425–440.
32. Keigwin L.D. Stable isotope stratigraphy and chronology of the Upper Quaternary section at Site 883, Detroit Seamount In.: Proc. Ocean Drill. Program, Sci. Results. 1995. 145. P. 257–264.
33. Keigwin, L.D. Glacial-age hydrology of the far northwest Pacific ocean, Paleoceanography. 1998. 13. P. 323–339.

34. Kiefer T., Sarnthein M., Erlenkeuser H., Grootes P.M. and Robert A.P. North Pacific response to millennial-scale changes in ocean circulation over the last 60 kyr, *Paleoceanography*. 2001. 16. 2. P. 179–189.
35. Kotilainen A.T. Shackleton N.J. Rapid climate variability in the North Pacific ocean during the past 95,000 years // *Nature*. 1995. 377. P. 323–326.
36. Martinson D.G., Pisias N.G., Hays J.D., Imbrie J., Moore T.C., Shackleton N. J. Age dating and the orbital theory of the ice ages: development of a high-resolution 0 to 300,000-year chronostratigraphy // *Quatern. Res.* 1987. 27 1. P. 1–29.
37. Morley J.J., Hays J.D., Robinson S. W. Stratigraphic framework for the late Pleistocene in the northwest Pacific Ocean // *Deep-Sea Research*. 1982. 29. 12A. P. 1485–1499.
38. Morley J.J., Robinson S. W. Improved method for correlating late Pleistocene/Holocene records from the Bering Sea: application of a biosolocous/geochemical stratigraphy // *Deep-Sea Research* 1986. V. 33. 9. P. 1203–1211.
39. Nechaev V.P., Sorochinskaya A.V., Tsoy I.B., Gorbarenko S.A. Clastic components in Quaternary sediments of the northwest Pacific and their paleo-oceanic significance // *Marine Geology*. 1994. 118. P. 119–137.
40. Opdyke N.D., Foster J.H. Paleomagnetism of cores from the North Pacific // *Geol. Soc. of Amer. Mem.* 1970. V. 126. P. 83–119.
41. Proceeding of the Ocean Drilling Program. 1993. V. 145. Initial Reports. (Ed. S. Stewart), 1040 p.
42. Robinson S.G., Maslin M.A., Mccave I.N. Magnetic susceptibility variations in Upper Pleistocene deep-sea sediments of the NE Atlantic: Implications for ice rafting and paleocirculation at the last glacial maximum // *Paleoceanography*. 1995. V. 10, 3. P. 221–250.
43. Sancetta C. Oceanography of the North Pacific during the last 18,000 years: evidence from fossil diatoms // *Marine Micropaleontology*. 1979. 4. P. 103–123.
44. Sancetta C., Robinson S.W. Diatom evidence on Wisconsin and Holocene Events in the Bering Sea // *Quaternary Research*. 1983. 20. P. 232–245.
45. Sancetta C., Heusser L., Labeyrie L., Naidu A.S., and Robinson S. W. Wisconsin-Holocene paleoenvironment of the Bering Sea: evidence from diatoms, pollen, oxygen isotopes and clay minerals // *Marine Geology*. 1985. 62. P. 55–68.
46. Sancetta C. Primary production in the glacial North Atlantic and North Pacific // *Nature*. 1992. 360. P. 249–251.
47. Schlitzer R., Ocean-Data-View, <http://www.avi-bremen-haven.de / GEO/ODV>, 2002.
48. Tsoy I.B., Ryaben'kaya I.O., Plentev S.P., Quaternary biostratigraphy of the northwest Pacific: R/V Vinogradov cruise 91-AV-19 Leg 4. In.: Data and results from R.V. Aleksandr Vinogradov cruises 91-AV-19/1, North Pacific Hydrochemistry transect; 91-AV-19/2, North equatorial Pacific Karin Ridge Fe-Mn crust studies; and 91-AV-19/4, Northwest Pacific and Bering Sea sediment geochemistry and paleoceanography studies, (Ed. by J.R. Hein, A.S.
49. Woillard G.M. and Mook W.G., carbon-14 dates at Grande Pile: Correlations of land and sea chronologies, *Science*, 1982. 215, P.159–161.

Поступила в редакцию 22 ноября 2002 г.

Рекомендована к печати Г.Л. Кирилловой

S.A. Gorbarenko, A.V. Artyomova

Chronostratigraphy of the Upper Quaternary sediments of the Northwestern Pacific and the Bering Sea, change of the environment and productivity of the region

The isotope chronostratigraphy of the Upper Quaternary sediments of two cores from the NW Pacific and two cores from the Bering Sea is established by the oxygen isotope records in planktonic and benthic foraminifera. The main regularities of temporal changes in the calcium carbonate, organic carbon and opal content and magnetic susceptibility in sediments of the study region with regard to the climatic changes and productivity are established by means of isotopic-geochemical and lithophysical analysis of these cores and the ODP sites 882 and 883. The correlation of the volcanogenic interbeds in the sediments of the studied cores is carried out, and their stratigraphy and age are preliminarily ascertained. Correlation has been accomplished of A.P. Jouse diatom horizons determined by the analysis of the main ecological changes in the diatom assemblages in the Upper Quaternary sediments of the far NW Pacific, Bering and Okhotsk Seas [Jouse, 1962], and their comparison with similar changes in our columns with the standard oxygen-isotope stages. Also, changes in the lithology and content of biogenic components in the sediments of the region [Romankevich, 1963] and in the cores studied by us have been taken into account. A criterion of the ecological changes of diatom assemblages in the studied region it may be a ratio of frequency of the “neritic” species sum to the sum of the “neritic” and oceanic species (coefficient Id) which is determined by climate variability and mostly by the sea ice influence.

The schemes of the average sedimentation rate in the NW Pacific and Bering Sea for the periods of MIS 1 and MIS 2 (1–12.5 and 12.5–24 kyr BP, respectively) are plotted on the basis of the obtained results and correlation of the diatom horizons and lithological units in the early studied cores with the oxygen isotope stages. Closure of the Bering Strait and the aeration of the north-eastern shelf of the Bering Sea during the MIS 2 induced the growth of sedimentation rate in the Bering Sea, as compared with MIS 1 and the suspended material transfer from the Bering Sea through the Kamchatka Strait into NW Pacific and its accumulation in the south-eastern direction.