

УДК 551.79:551.352(268)

СТРАТИГРАФИЯ ДОННЫХ ОСАДКОВ ПОДНЯТИЯ МЕНДЕЛЕЕВА (СЕВЕРНЫЙ ЛЕДОВИТЫЙ ОКЕАН)

© 2013 г. Е. А. Гусев, Ф. Е. Максимов, В. Ю. Кузнецов, В. А. Басов, Е. С. Новихина,
Н. В. Куприянова, С. Б. Левченко, И. Е. Жеребцов

Представлено академиком Ю.М. Пушаровским 01.08.2012 г.

Поступило 03.07.2012 г.

DOI: 10.7868/S0869565213170180

Существуют две возрастные модели стратиграфической привязки комплексов донных осадков, поднятых грунтовыми трубками в Северном Ледовитом океане: “древняя” [1–5] и “молодая” [6–9]. Первая предполагает очень низкие скорости осадконакопления и основана на интерпретации вектора намагниченности осадков и нахождении определенных групп микрофауны, имеющих стратиграфическое значение (индекс-виды и комплексы). Главным репером “древней” модели при ее разработке являлось нахождение в кернах колонок смены положительной остаточной намагниченности осадков на отрицательную, что сопоставлялось с границей палеомагнитных эпох Брюнес и Матуяма [3]. Вторая модель подразумевает более высокие скорости седиментации и обоснована аминокислотными датировками раковин планктонных фораминифер, датировками оптико-стимулированной люминесценции зерен кварца и полевых шпатов, климато-стратиграфическими интерпретациями кривых изотопии кислорода, содержания в осадках материала ледового разноса и минералов Fe, Mn. При этом древние фораминиферы и диатомовые считаются переотложенными, а интервалы обратной намагниченности осадков соотносятся не с эпохой Матуяма, а с эпизодами эпохи Брюнес. Результаты детальных исследований кернов колонок, проведенных в последние годы по всей Арктике, привели большинство ученых к признанию “молодой” модели.

Задача данной работы — получение новых данных о возрасте донных отложений поднятия Менделеева и сопоставление с другими колонками этого района. Обсуждаются геохронологические данные радиохимического и микропалеонтологического

анализов осадочных колонок АF-00-02, АF-00-07, АF-0731 поднятия Менделеева.

Материалы и методы. Колонка осадков АF-0731 поднята в южной части поднятия Менделеева (78°48.81' с.ш., 171°56.86' з.д., глубина моря 2280 м) в ходе 26-го рейса НЭС “Академик Федоров” в 2007 г. [10]. Колонки АF-00-02 (81°56.86' с.ш., 171°40.61' з.д., глубина моря 3228 м) и АF-00-07 (82°03.25' с.ш., 179°56.18' з.д., глубина моря 1555 м) были отобраны в 2000 г. [1] севернее, в районе сочленения поднятия Менделеева с хребтом Альфа (рис. 1).

Для датирования донных отложений был применен метод избыточного ^{230}Th , относящийся к одному из распространенных методов неравновесной радиоизотопной геохронологии океанических донных осадков. Теоретические положения метода и особенности его практического применения детально описаны в [11, 12].

Для изучения бентосных и планктонных фораминифер по всей длине керна колонок с интервалом 10–20 см отобраны образцы толщиной 4 см. Замороженные пробы обрабатывали методом высушивания в критической точке, взвешивали, после чего промывали на двух ситах с ячейками 63 и 125 мкм; полученные фракции просушивали и подвергали анализу. В пробах определялась видовая принадлежность фораминифер и подсчитывалось количество каждого вида.

Результаты радиохимического анализа. Активности избыточного ^{230}Th в колонке АF-00-07 рассчитаны, исходя из общей массы образцов ($^{230}\text{Th}_{\text{изб}}$) и с учетом нормализации на относительное содержание в образцах Fe, Mn ($^{230}\text{Th}_{\text{изб}}^*$), являющихся основными концентраторами этого изотопа в осадках. Характер распределения активностей $^{230}\text{Th}_{\text{изб}}$, $^{230}\text{Th}_{\text{изб}}^*$ по колонке примерно одинаков (табл. 1). Уменьшение содержания тория с глубиной фиксируется для верхних пяти образцов (5–57 см). В интервале 86–89 см отмечено повышение ак-

*Всероссийский научно-исследовательский институт геологии и минеральных ресурсов Мирового океана им. И.С. Грамберга, Санкт-Петербург
Санкт-Петербургский государственный университет*

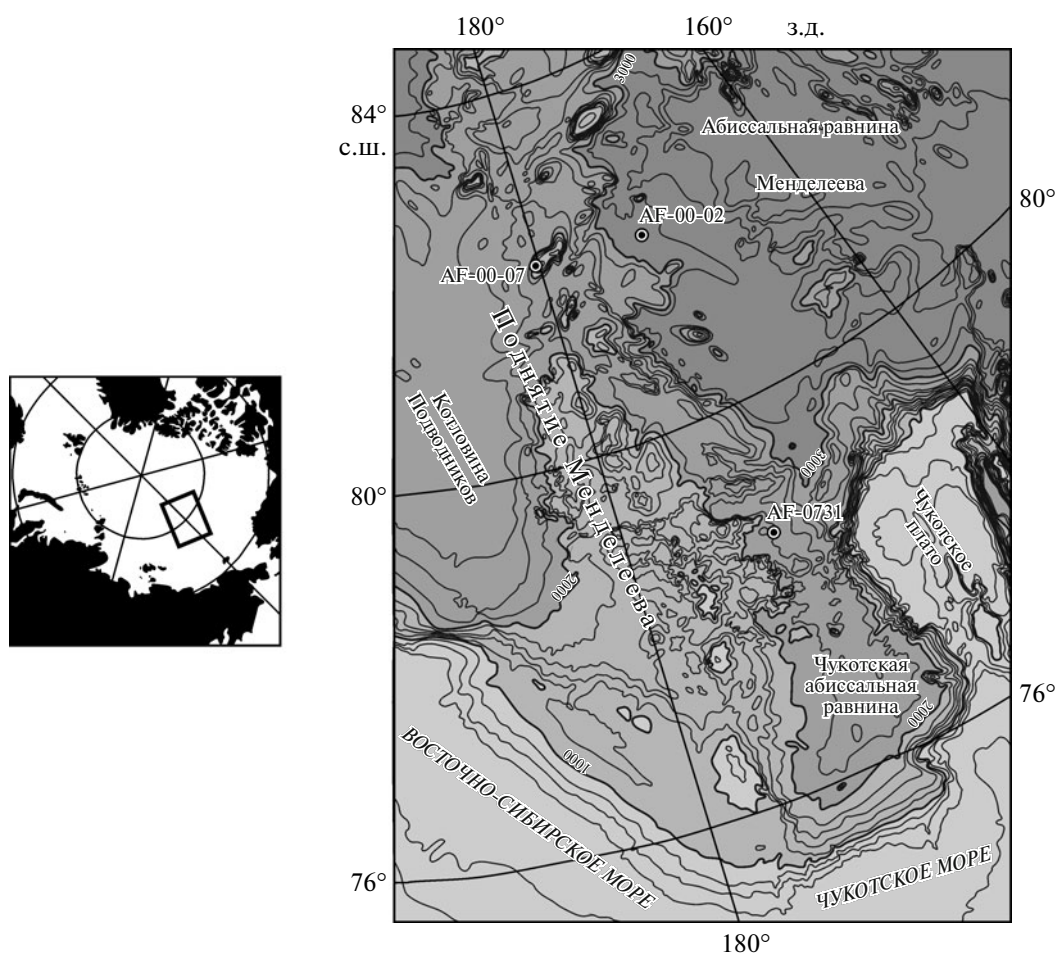


Рис. 1. Положение изученных колонок на батиметрической карте; район работ – прямоугольник на обзорной схеме.

тивности $^{230}\text{Th}_{\text{изб}}$, затем она опять понижается и, наконец, опять увеличивается в нижней части колонки (160–245 см). Такая нерегулярность в вертикальном распределении $^{230}\text{Th}_{\text{изб}}$ в той или иной степени характерна для донных осадков поднятия Менделеева [13, 14]. Средние скорости осадконакопления, рассчитанные по $^{230}\text{Th}_{\text{изб}}$, $^{230}\text{Th}_{\text{изб}}^*$, обнаруженных в образцах 5–8 и 48–57 см, близки между собой и соответственно равны 0.158 ± 0.005 и 0.153 ± 0.004 см/тыс. лет. На основании этих средних скоростей вычислен возраст отдельных горизонтов (табл. 1). Средние скорости осадконакопления по колонке AF-00-07 сопоставимы с темпами седиментации порядка 0.15 см/тыс. лет, полученными по $^{230}\text{Th}_{\text{изб}}$ для других районов поднятия Менделеева [13].

Для колонки AF-00-02 активность $^{230}\text{Th}_{\text{изб}}$ постепенно уменьшается от 3–10 до 53–63 см (табл. 2). Зачастую для расчетов возраста исключается самый верхний горизонт, нарушенный при пробоотборе, в данном случае слой 0–3 см. Два нижних горизонта 53–63 и 85–95 см

не брались в расчет, ввиду того что удельные активности $^{230}\text{Th}_{\text{изб}}$ близки к нулю, свидетельствуя о достижении фактического радиоактивного равновесия между ^{230}Th и ^{234}U . Средняя скорость осадконакопления определена из значений $^{230}\text{Th}_{\text{изб}}$ в слоях 3–10, 34–44 см и равна 0.108 ± 0.003 см/тыс. лет. Возраст слоев вычислен из этой средней скорости (табл. 2). Радиоуглеродным методом дополнительно датированы интервалы 0–3.5 и 3.5–7.0 см. Радиоуглеродные даты 16.0 ± 0.9 (ЛУ-4639, слой 0–3.5 см) и ≥ 34.5 тыс. лет (ЛУ-4638, слой 3.5–7.0 см) подтверждают возрастные данные, полученные по $^{230}\text{Th}_{\text{изб}}$.

Распределения $^{230}\text{Th}_{\text{изб}}$, $^{230}\text{Th}_{\text{изб}}^*$ по колонке AF-0731 близки между собой, их концентрации имеют тенденцию к понижению с ростом глубины (табл. 3), однако, как и для колонки AF-00-07, характеризуются некоторой неравномерностью распределения по вертикальному профилю (табл. 1). Концентрация Fe по колонке AF-0731 меняется в гораздо большей степени, чем в колонке AF-00-07,

Таблица 1. Результаты радиохимического анализа колонки АФ-00-07

Интервал, см	^{238}U , р/мин на г	^{234}U , р/мин на г	$^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$	^{230}Th , р/мин на г	^{232}Th , р/мин на г
5–8	1.54 ± 0.06	1.44 ± 0.06	0.93 ± 0.05	11.73 ± 0.35	2.00 ± 0.14
8–14	1.03 ± 0.06	1.00 ± 0.06	0.97 ± 0.08	10.83 ± 0.20	2.15 ± 0.09
14–21	1.53 ± 0.04	1.30 ± 0.03	0.85 ± 0.03	3.03 ± 0.10	1.60 ± 0.07
30–38	1.19 ± 0.05	1.01 ± 0.04	0.85 ± 0.05	2.09 ± 0.07	1.85 ± 0.09
48–57	1.14 ± 0.04	0.98 ± 0.04	0.86 ± 0.05	1.68 ± 0.03	2.01 ± 0.03
86–89	0.98 ± 0.05	0.87 ± 0.05	0.88 ± 0.07	4.74 ± 0.09	1.83 ± 0.06
106–117	1.20 ± 0.05	1.03 ± 0.04	0.86 ± 0.05	1.80 ± 0.05	1.94 ± 0.05
160–165	1.03 ± 0.03	0.93 ± 0.03	0.90 ± 0.04	1.81 ± 0.07	1.79 ± 0.07
202–205	0.69 ± 0.03	0.66 ± 0.02	0.95 ± 0.05	1.93 ± 0.08	1.57 ± 0.07
235–245	0.99 ± 0.04	0.86 ± 0.04	0.87 ± 0.05	3.00 ± 0.13	2.32 ± 0.11

Интервал, см	$^{230}\text{Th}_{\text{изб}}$	Возраст T , тыс. лет	Fe + Mn, %	$^{230}\text{Th}_{\text{изб}}^*$	Возраст* T , тыс. лет
5–8	10.29 ± 0.36	41.1 ± 1.3	4.4	233.86 ± 8.18	42.5 ± 1.1
8–14	9.83 ± 0.21	69.6 ± 2.2	4.67	210.49 ± 4.50	71.9 ± 1.9
14–21	1.73 ± 0.10	110.8 ± 3.5	4.53	38.19 ± 2.21	114.4 ± 3.0
30–38	1.08 ± 0.08	215.2 ± 6.8	4.62	23.38 ± 1.73	222.2 ± 5.8
48–57	0.70 ± 0.05	332.3 ± 10.52	4.76	14.71 ± 1.05	343.1 ± 9.0
86–89	3.87 ± 0.10		3.86	100.26 ± 2.59	
106–117	0.77 ± 0.06		3.83	20.10 ± 1.57	
160–165	0.88 ± 0.08		4.79	18.37 ± 1.67	
202–205	1.27 ± 0.08		4.69	27.08 ± 1.71	
235–245	2.14 ± 0.14		4.99	42.89 ± 2.81	

Примечание. $^{230}\text{Th}_{\text{изб}}^*$ – нормализованный на Fe + Mn; возраст* – рассчитан из $^{230}\text{Th}_{\text{изб}}^*$; p – распад.

Таблица 2. Результаты радиохимического анализа колонки АФ-00-02

Интервал, см	^{238}U , р/мин на г	^{234}U , р/мин на г	$^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$	^{230}Th , р/мин на г	^{232}Th , р/мин на г	$^{230}\text{Th}_{\text{изб}}$	Возраст T , тыс. лет
0–3	0.86 ± 0.03	0.62 ± 0.03	0.72 ± 0.02	18.42 ± 0.18	1.85 ± 0.05	17.80 ± 0.18	13.9 ± 0.4
3–10	2.03 ± 0.06	1.20 ± 0.05	0.59 ± 0.02	23.57 ± 0.29	2.25 ± 0.08	22.37 ± 0.29	60.2 ± 1.7
12–17	1.16 ± 0.05	0.61 ± 0.03	0.53 ± 0.02	10.30 ± 0.17	2.35 ± 0.07	9.69 ± 0.17	134.3 ± 3.7
27–34	1.20 ± 0.05	0.96 ± 0.05	0.80 ± 0.03	4.03 ± 0.09	2.23 ± 0.07	3.07 ± 0.10	282.4 ± 7.8
34–44	1.61 ± 0.07	1.40 ± 0.06	0.87 ± 0.03	2.81 ± 0.10	2.22 ± 0.09	1.41 ± 0.12	361.1 ± 10.0
53–63	1.44 ± 0.06	1.18 ± 0.04	0.82 ± 0.02	1.23 ± 0.04	2.27 ± 0.06	0.05 ± 0.06	
85–95	1.01 ± 0.05	0.86 ± 0.04	0.85 ± 0.03	1.18 ± 0.04	2.48 ± 0.06	0.32 ± 0.06	

Примечание. Для возрастных расчетов использовались только прямые (ненормализованные) значения $^{230}\text{Th}_{\text{изб}}$, так как не во всех проанализированных слоях был определен химический состав.

и соответственно в большей степени влияет на распределение $^{230}\text{Th}_{\text{изб}}$. Поэтому представляется разумным использовать нормализованные данные, т.е.

$^{230}\text{Th}_{\text{изб}}^*$ (табл. 3). Интервал 0–2 см, как поверхностный слой, исключен из рассмотрения по причинам, указанным выше. Пятый образец (310 см) слиш-

ком удален от остальных. Поэтому в той или иной степени использование этого слоя может давать совершенно случайные числа. Скорость осадконакопления, рассчитанная по содержанию $^{230}\text{Th}_{\text{изб}}^*$ в обр. 15 и 80 см, будет равна 0.437 ± 0.061 см/тыс. лет. Она и использовалась для расчета возраста слоев.

Таблица 3. Результаты радиохимического анализа колонки AF 07-31

Интервал, см	^{238}U , р/мин на г	^{234}U , р/мин на г	$^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$	^{230}Th , р/мин на г	^{232}Th , р/мин на г	$^{230}\text{Th}_{\text{изб}}$	Fe, %	$^{230}\text{Th}_{\text{изб}}^*$	Возраст* T, тыс. лет
0–2	1.512 ± 0.062	1.507 ± 0.061	0.997 ± 0.047	18.989 ± 0.159	2.957 ± 0.063	17.482 ± 0.159	2.62	667.25 ± 6.07	2.3 ± 0.3
15	1.465 ± 0.077	1.362 ± 0.074	0.930 ± 0.058	5.366 ± 0.141	2.988 ± 0.091	4.004 ± 0.159	5.36	74.7 ± 2.97	34.3 ± 4.8
47	1.846 ± 0.056	1.805 ± 0.055	0.978 ± 0.036	6.517 ± 0.113	2.578 ± 0.071	4.712 ± 0.126	5.44	86.62 ± 2.32	107.6 ± 15.0
80	1.313 ± 0.070	1.213 ± 0.067	0.924 ± 0.060	1.685 ± 0.057	2.877 ± 0.062	0.471 ± 0.088	2.48	18.99 ± 3.55	183.1 ± 25.6
310	1.350 ± 0.043	1.318 ± 0.042	0.977 ± 0.037	2.096 ± 0.052	2.933 ± 0.061	0.778 ± 0.067	3.66	21.26 ± 1.83	—

Примечание. $^{230}\text{Th}_{\text{изб}}^*$ — нормализованный на Fe; возраст* — рассчитан из $^{230}\text{Th}_{\text{изб}}^*$.

Результаты микрофаунистического анализа. По разрезам колонок на поднятии Менделеева четко выделяются три ассоциации фораминифер: верхняя, со значительной ролью видов атлантического происхождения, среди которых наиболее распространены *Fontbotia wuellerstorffi*, *Oridorsalis tener*, некоторые милиолиды (*Miliolinella* spp.), *Parafissurina groenlandica*, *Bulimina aculeata*. Обогащение поверхностных осадков известковой микрофауной характерно и для других частей Северного Ледовитого океана, в том числе для Евразийского суббассейна. Кроме того, например в районе Северного полюса, в донных осадках наблюдается большое биоразнообразие наннопланктона и диатомей [15]. Ниже по разрезам колонок с поднятия Менделеева выделяется вторая, смешанная ассоциация фораминифер: помимо известковых атлантических видов, численность которых здесь резко снижается (в теплые стадии сохраняется обилие *Fontbotia wuellerstorffi*), появляются агглютинирующие (песчаные) — прежде всего, космополитный вид *Cyclammina pusilla*, неизвестный в современных осадках Северного Ледовитого океана. Отмечаются отдельные виды, вероятно тихоокеанские по происхождению: *Glandulina nipponica*, *Pseudoparella minuta*. Численность планктонных фораминифер в пределах распространения этой ассоциации заметно снижена, хотя в ряде колонок выделяется один пик *Globigerina bulloides*. Наконец, самая древняя ассоциация, вскрытая в основании колонок, представлена практически одними агглютинирующими фораминиферами с преобладанием раковин цикламмин *Cyclammina pusilla* и *C. rutundidorsata*; встречены также *Pseudosiphonella* sp., *Naplophragmoides subglobosum* и некоторые другие виды. Ассоциацию агглютинирующих фораминифер впервые описал в колонках хребта Альфа О'Нейл [5], и по старым палеомагнитным данным [3] она была отнесена к плиоцену.

Полученные кривые распределения бентосных фораминифер по колонкам можно сопоставить с данными радиоизотопного датирования (рис. 2). В разрезе колонки AF-0731 отсутствуют остатки цикламмин, обильно представленных в нижних частях разрезов северных колонок. Представляется логичным объяснение отсутствия этих агглютинирующих фораминифер тем, что колонка AF-0731 не вскрыла более древние отложения.

Обсуждение результатов и заключение. Применение метода избыточного ^{230}Th для датирования колонок AF-00-07, AF-00-02, AF-0731 свидетельствует о низких скоростях осадконакопления на поднятии Менделеева в течение последних 300 тыс. лет. Значения в диапазоне 0.11–0.437 см/тыс. лет близки скоростям осадконакопления, полученным по другим колонкам поднятия Менделеева: ~0.15 см/тыс. лет по методу избыточного ^{230}Th [13] и ~0.27 см/тыс. лет по ^{10}Be [14]. Такие оценки скоростей седиментации в несколько раз меньше определенных с помощью аминокислотного метода для осадков поднятия Менделеева [7], а также датировок методом оптико-стимулированной люминесценции (ОСЛ) для хребта Ломоносова [8]. Стратиграфическая модель расчленения колонки 96/24-1sel по хребту Ломоносова считается реперной для Арктики. Она была сопоставлена с данными, полученными по поднятию Менделеева [7], где в колонке HLY0503-8JPC МИС 5 выделяется в интервале 105–220 см. Обращает на себя внимание то, что радиоуглеродные даты 25–40 тыс. лет в этой колонке приходятся на интервал 20–35 см, и, скорее всего, они не являются конечными, а близки к запредельным для данного метода. По нашему мнению, в колонке HLY0503-8JPC пик содержания планктонных фораминифер на глубине 30 см соответствует МИС 5, а не МИС 3, как это предполагается [7]. “Теплые” пики, соответствующие МИС 3, отсутствуют в разрезах колонок других районов Арктики, в том числе полученных с хребта Ломоносова, плато Моррис Джесуп, а также Северной Атлантики.

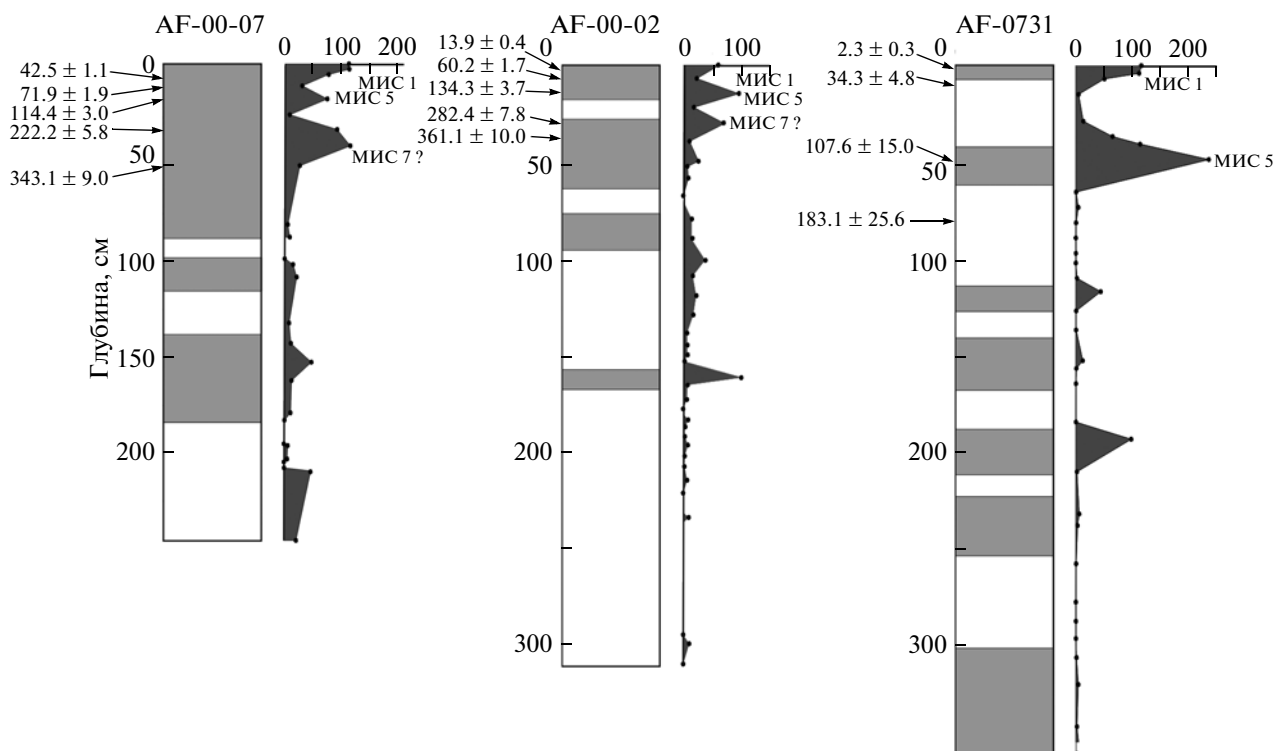


Рис. 2. Схема корреляции колонок, отобранных на поднятии Менделеева. Серое — интервалы осадков коричневого цвета; слева от колонок — значения возраста по $^{230}\text{Th}_{\text{изб}}$, тыс. лет; справа от колонок — графики содержания бентосных фораминифер, экз./г. Точки — места взятия проб для микрофаунистического анализа.

Результаты микрофаунистического анализа свидетельствуют о накоплении верхних 20–50 см в колонках поднятия Менделеева в течение позднего неоплейстоцена—голоцена. В верхней части разрезов колонок пики повышенного содержания бентосных и планктонных фораминифер в осадках совпадают (верхние 5 пиков). Ниже по разрезам колонок такое совпадение проявлено слабее или отсутствует. Колонки по северной части поднятия Менделеева (AF-00-02, AF-00-07) вскрыли, по-видимому, эоплейстоценовые и даже плиоценовые отложения, что следует из массового присутствия раковин агглютинирующих фораминифер, в том числе цикламмин. Колонка AF-0731, находящаяся в 400 км южнее северных колонок, плиоценовых отложений не вскрыла, так как цикламмины в образцах не обнаружены. Это соответствует результатам радиохимического анализа, согласно которым скорости седиментации в южной части поднятия Менделеева в 2–3 раза больше рассчитанных для северных колонок. Закономерное несоответствие скоростей осадконакопления определяется различной удаленностью от континентальной окраины, т.е. от источников сноса.

Таким образом, полученные нами данные укладываются в “древнюю” стратиграфическую модель. В соответствии с ней, в разрезах донных осад-

ков поднятия Менделеева пики продуктивности бентосных фораминифер приходятся на стадии МИС 1, 5, 7, 9, 11 и т.д. Отсутствие “теплого” интервала на уровне МИС 3 сопоставляется с кривыми содержания бентосных фораминифер в других районах Арктики и в Северной Атлантике. Представляется перспективным дальнейшее комплексное изучение донных осадков Северного Ледовитого океана, в том числе и с помощью метода избыточного ^{230}Th .

Работы по изучению отложений были частично профинансированы по Гранту Правительства РФ № 11.G34.31.0025.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Андреева И.А., Басов В.А., Куприянова Н.В., Шилов В.В. // Тр. ВНИИОкеангеология. 2007. Т. 211. С. 131–152.
2. Данилов И.Д., Теленев Е.В., Чугунов А.Б. и др. // Океанология. 1991. Т. 31. В. 1. С. 108–116.
3. Clark D.L., Whitman R.R., Morgan K.A., Mackey S.D. // Geol. Soc. Amer. Spec. Pap. № 181. 1980. 57 p.
4. Herman Y. Marine Geology and Oceanography of the Arctic Seas. В.; Heidelberg; N.Y.: Springer, 1974. 397 p.
5. O'Neil B. // J. Paleontol. 1981. V. 55. № 6. P. 1141–1170.

6. Крылов А.А., Шилов В.В., Андреева И.А., Миролубова Е.С. // Пробл. Арктики и Антарктики. 2011. № 2(88). С. 7–22.
7. Adler R.E., Polyak L., Ortiz J.D., et al. // Global and Planet. Change. 2009. V. 68. P. 18–29.
8. Jakobsson M., Backman J., Murray A., Løvlie R. // Geochem., Geophys., Geosyst. 2003. V. 4. P. 1016.
9. Polyak L., Curry W.B., Darby D.A., et al. // Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol. 2004. V. 203. P. 73–93.
10. Ашик И.М., Соколов В.Т. // Проблемы Арктики и Антарктики. 2008. № 3(80). С. 72–85.
11. Кузнецов Ю.В. Радиохронология океана. М.: Атомиздат, 1976. 279 с.
12. Кузнецов В.Ю. Радиохронология четвертичных отложений. СПб.: Комильфо, 2008. 312 с.
13. Not C., Hillaire-Marcel C. // Quatern. Sci. Rev. 2010. V. 29. P. 3665–3675.
14. Sellun E., Jakobsson M., Frank M., Kubik P.W. // Global and Planet. Change. 2009. V. 68. P. 38–47.
15. Гусев Е.А., Сколотнев С.Г., Александрова Г.Н. и др. // ДАН. 2008. Т. 421. № 6. С. 790–794.