

УДК 551.89

ЛИТОЛОГИЯ И СТРАТИГРАФИЯ ЧЕТВЕРТИЧНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ СЕКТОРА АМЕГИНО АТЛАНТИЧЕСКОЙ КОНТИНЕНТАЛЬНОЙ ОКРАИНЫ ПАТАГОНИИ

© 2023 г. Е. В. Иванова^{1, *}, Д. Г. Борисов¹, И. О. Мурдмаа¹, Г. Х. Казарина¹,
Н. В. Симагин¹, Т. Ф. Зингер^{1,2}

¹Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, Россия

²Институт геологии и геохронологии докембрия РАН, Москва, Россия

*e-mail: e_v_ivanova@ocean.ru

Поступила в редакцию 09.09.2022 г.

После доработки 10.10.2022 г.

Принята к публикации 05.12.2022 г.

В статье приводятся первые данные о литологии и возрасте отложений сектора Амегино контуритовой системы Аргентинской Патагонии. На основе изучения литологии осадков и состава содержащихся в них микрофоссилий, измерений магнитной восприимчивости и цветовых характеристик (спектрофотометрия), а также масс-спектрометрических радиоуглеродных датировок проведено лито- и хроностратиграфическое расчленение шести коротких (до 1 м) колонок донных осадков континентальной окраины, с глубин 2–2.3 км. Выделены горизонты, соответствующие морским изотопно-кислородным стадиям (ИКС) 1–3. Проведена их удаленная корреляция с разновозрастными горизонтами датированной опорной колонки АИ-3327 с террасы Пьедра Буэна. Сделаны оценки мощностей горизонтов и скоростей осадконакопления. В пределах сектора Амегино в грубозернистых осадках позднего стадиала последнего оледенения подтверждено наличие глауконита, встреченного ранее в разновозрастных осадках террасы Пьедра Буэна. Приведены доказательства наличия контуритов в колонках донных осадков, однозначно указывающие на участие придонных течений в осадконакоплении на континентальной окраине.

Ключевые слова: контуритовые террасы, каньоны, Нижняя циркумполярная вода, терригенные и биогенные осадки, латеральная седиментация, глауконит, микрофоссилии, масс-спектрометрическое радиоуглеродное датирование, магнитная восприимчивость, спектрофотометрия

DOI: 10.31857/S0030157423020065, EDN: NTUPFW

ВВЕДЕНИЕ

Континентальный склон Аргентинской Патагонии известен как уникальный район широкого развития контуритовых террас и подводных каньонов [13, 16, 19, 20, 23, 26, 27]. Именно поэтому он назван Аргентинской контуритовой системой (АКС, [19, 20]). Четыре разломные зоны разделяют АКС на несколько сегментов или секторов (рис. 1; [17]). Два южных сектора характеризуются четырьмя простирающимися вдоль склона подводными террасами. Для более северного из них, сектора Альмиранте Браун между зонами разломов Фолклендско-Мальвинской и Колорадо, характерны каньоны, пересекающие террасы и прослеженные вниз по склону в интервале глубин от 500 до 4000 м [19, 20]). Литология и стратиграфия отложений террас и каньонов, а также источники осадочного материала пока еще слабо изучены, хотя имеется несколько публикаций по частным вопросам [2, 4, 5, 7, 21]. Еще меньше из-

вестно о рельефе и отложениях сектора Амегино, расположенного севернее, между зонами разломов Колорадо и Бахия-Бланка (рис. 1).

На 4-м этапе 79-ого рейса (2020 г.) НИС “Академик Мстислав Келдыш” были сделаны два коротких батиметрических профиля в секторе Амегино с отбором коротких колонок донных осадков. Четыре из них получены на сейсмоакустическом профиле, выполненном параметрическим профилографом *SES-2000 deep* в 53-ем рейсе (2017 г.) НИС “Академик Иоффе” (рис. 1–2; [3, 4]). Изучение и датирование полученных осадков, а также удаленная корреляция с колонкой АИ-3327 с террасы Пьедра Буэна [5]) позволили получить обсуждаемые в данной статье первые представления о составе, возрасте и литостратиграфическом расчленении отложений, а также о распространении глауконита в северной части континентального склона, в пределах сектора Амегино.

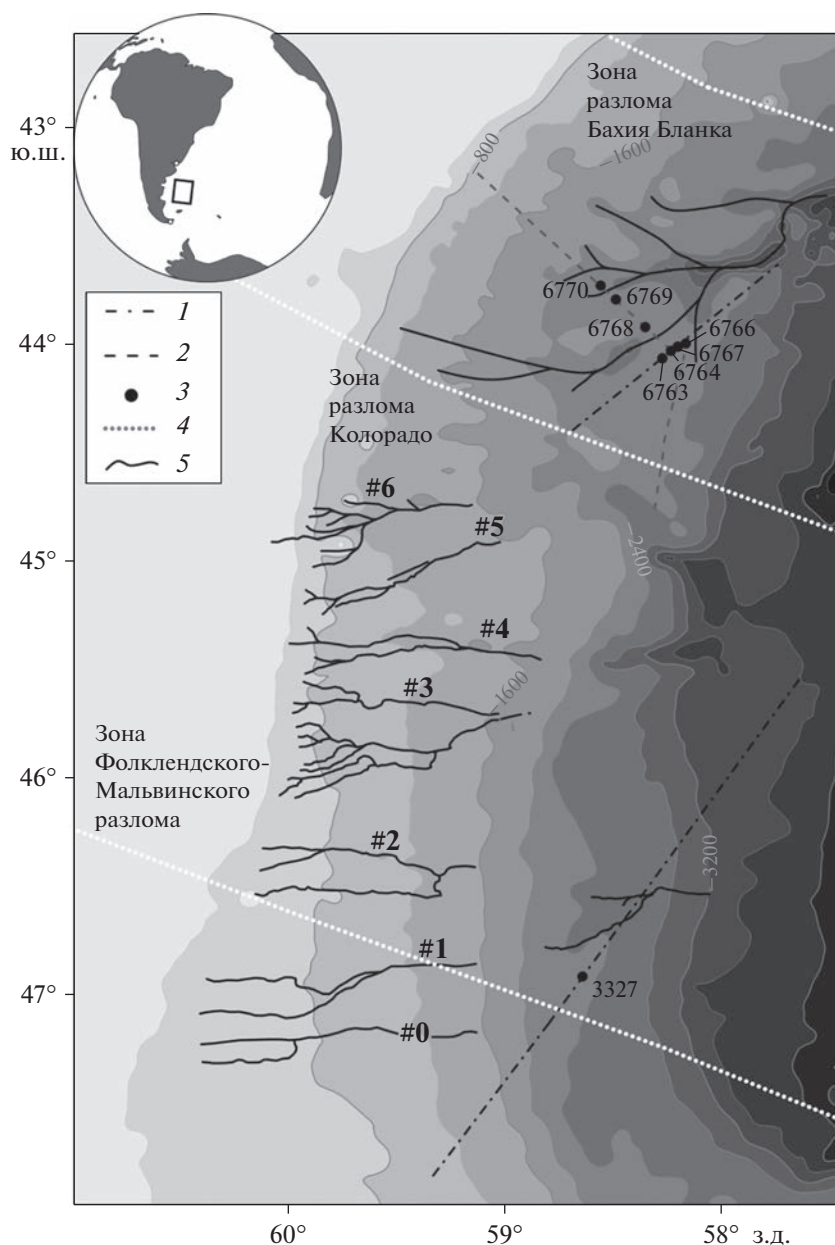


Рис. 1. Батиметрическая карта-схема района исследования, показано положение станций отбора колонок. На врезке — положение района исследования в ЮЗ Атлантике. Профили: 1 — сейсмоакустические, 2 — эхолотные; 3 — станции отбора проб, 4 — зоны разломов, 5 — подводные каньоны.

ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНА ИССЛЕДОВАНИЯ

Сектор Амегино (или сегмент II по [19, 20]) относится к северной части континентального склона Патагонии, с расчлененным каньонами рельефом ниже бровки шельфа (рис. 1). В пределах сектора Амегино верхняя часть склона (между изобатами 150–750 м) в целом более крутая, а ниже склон выполаживается. Изученная ранее опорная колонка АИ-3327 получена из более южного сегмента I или Альмиранте Браун (по [20]),

с полого-наклоненной на восток террасы Пьедра Буэна, ниже зоны разгрузки каньона #1.

В прилегающей к континентальному склону низменной части Южной Америки (Патагонии) нет крупных рек и конусов выноса. Этим, наряду с засушливым климатом, объясняется дефицит терригенного осадочного материала на склоне. Биогенный (планктоногенный) материал поступает из вод идущего на север холодного Мальвинского/Фолклендского течения в результате преимущественно вертикальной седиментации и

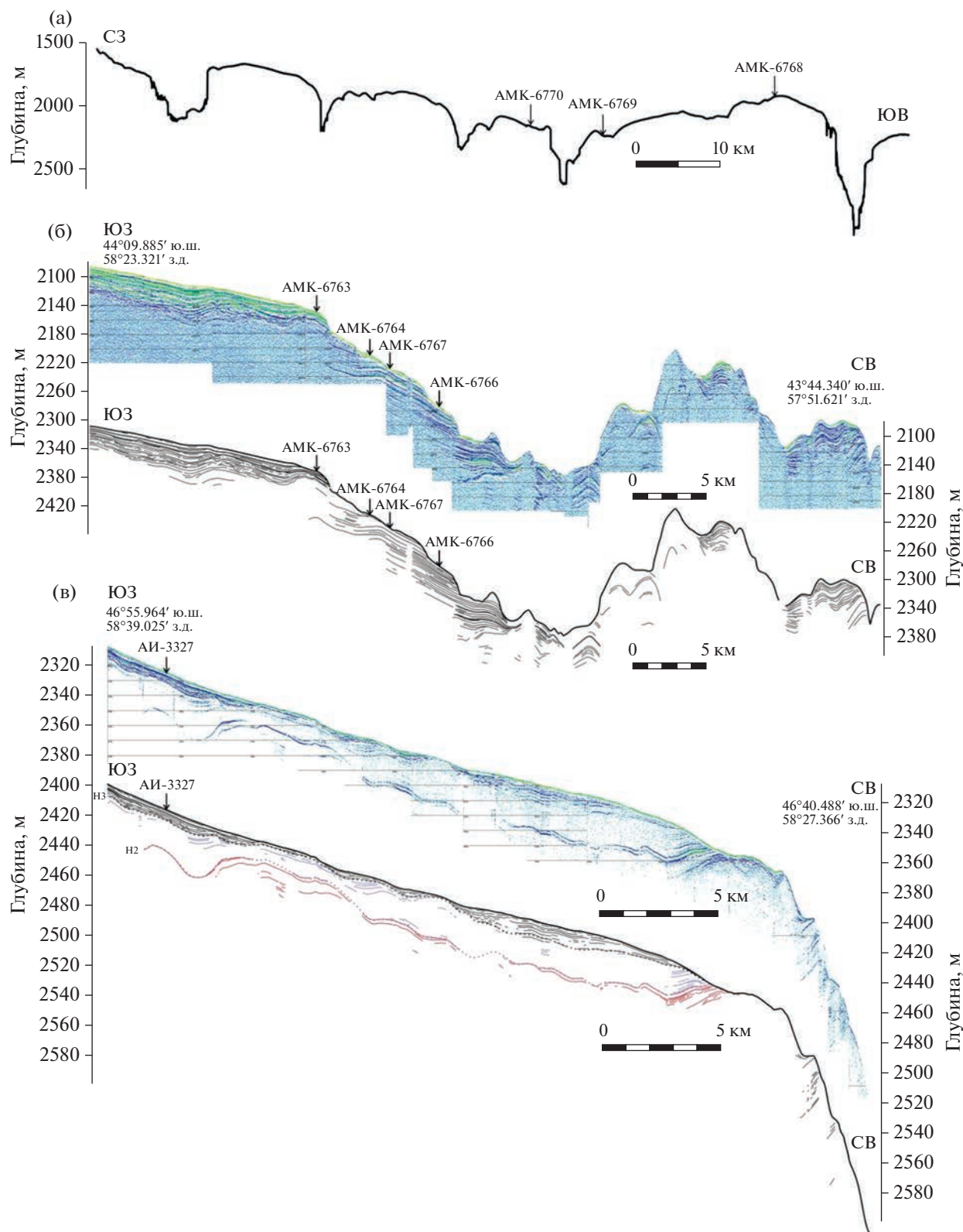


Рис. 2. (а–б). Сектор Амегино: а – Батиметрический профиль АМК-79 через станции АМК-6770-6768; б – Сейсмо-акустический профиль АИ-53 и батиметрический профиль АМК-79, положение 4 станций на борту каньона; в – Сейсмоакустический и батиметрический профили, полученные в экспедиции АИ-53 на террасе Пьедра Буэна.

Таблица 1. Координаты и глубины станций отбора колонок (Т — трубка, дч — дночерпатель)

Номер станции	Широта, ю.ш.	Долгота, з.д.	Глубина, м	Длина, см
АМК-6763 дч	44°03.932	58°15.988	2150	14
АМК-6763	44°03.934	58°15.989	2150	93
АМК-6764 Т2	44°02.491	58°14.234	2208	96
АМК 6766	44°00.679	58°11.875	2286	64
АМК 6767	44°01.968	58°13.562	2232	46
АМК-6768 дч	43°55.336	58°20.747	1956.6	10
АМК-6769	43°47.610	58°28.929	2244	30
АМК-6770	43°43.904	58°33.022	2159	26
АИ-3327	46°54.8	58°38.1	2327	233

далее подхватывается, переносится и отлагается контурными течениями.

Континентальный склон Аргентинской Патагонии омывается водами Антарктического происхождения. На поверхности Мальвинское/Фолклендское течение встречается около 35°–40° ю.ш. с теплым Бразильским течением южного направления (например, [31]). Южнее, в районе 47°–48° ю.ш., находится Субантарктический фронт (СА, [28, 29]). Субантарктический фронт и Бразильско-Мальвинская зона слияния оказывают значительное влияние на субмеридиональные изменения в составе диатомовой флоры и, в меньшей степени, фауны планктонных фораминифер.

Антарктическая промежуточная вода (ААПВ) занимает глубины ~500–1000 м, Верхняя циркумполярная вода (ВЦПВ) — ~1000–2000 м и Нижняя циркумполярная вода (НЦПВ), омывающая континентальный склон в районе исследования, охватывает интервал глубин ~2000–3500 м. Глубже 4000 м распространяется Глубинная вода моря Уэдделла (УГВ) [8–10, 25, 30, 32–34]).

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

В секторе Амегино сделано два батиметрических профиля с помощью штатного судового оборудования НИС “Академик Мстислав Келдыш” — глубоководного эхолота Kongsberg EA600 (рис. 1–2). Отбор коротких (46–96 см) колонок донных осадков на батиметрических профилях проводился на 6 станциях ударной трубкой (с внутренним диаметром 96 мм), сконструированной на борту судна Н.А. Беляевым (ИО РАН). Пробы поверхностного слоя осадков (10–15 см) отобраны на станциях АМК-6763, АМК-6768, АМК-6769 дночерпателем “Океан 0.25” (табл. 1, рис. 1–2). Выход судна в намеченные точки обеспечивался спутниковой системой навигации GPS Trimble. Колонки АМК-6763, 6764Т1 и Т2, 6766, 6767 отобраны с глубин 2150–2286 м на коротком участке сейсмоакустического профиля, пере-

секающем серию эрозионных ступеней (табл. 1, рис. 2б). Колонки АМК-6769 и 6770, а также вырезка из дночерпателя АМК-6768 получены на батиметрическом профиле, идущем вверх по склону в направлении с ЮВ на СЗ с глубин 2244, 2159 и 1957 м соответственно. Профиль, по-видимому, пересекает каньон глубиной около 400 м. Колонки получены на двух противоположных бортах каньона, а дночерпательная проба — на возвышенности, предположительно разделяющей два каньона (рис. 2а).

Колонка АИ-3327 с террасы Пьедра Буэна получена в 46-ом рейсе НИС “Академик Иоффе” (2014 г.), литология и гранулометрический состав осадков изучены ранее [1, 5]). В данной работе приводится стратиграфическое расчленение колонок на основе изучения диатомовой флоры, фауны фораминифер, измерений магнитной восприимчивости и результатов масс-спектрометрического радиоуглеродного датирования. Лабораторная обработка образцов для диатомового анализа проведена по упрощенной методике [11]. Для получения количественных характеристик ископаемой флоры в каждом из изученных 23 образцов (с интервалом опробования около 10 см) по возможности подсчитывалось и определялось не менее трехсот створок диатомей.

На борту судна в обеих экспедициях производилось визуальное описание и фотографирование колонок донных осадков, водно-ситовым методом выделена песчаная фракция (>0.1 мм), которая затем изучалась под бинокулярным микроскопом для определения относительного общего содержания, видового состава и сохранности планктонных фораминифер (ПФ), а также состава минеральных и биогенных компонентов с интервалом опробования около 10 см в зависимости от изменения литологии.

Гранулометрический анализ выбранных образцов (валовые пробы) из всех шести колонок сектора Амегино выполнен на лазерном дифрак-

ционном анализаторе размеров частиц Shimadzu SALD-2300 с проточной ячейкой Shimadzu MS23. Перед проведением анализа пробы подвергались воздействию ультразвука в течение одной минуты.

Измерение цветовых характеристик донных осадков тех же шести колонок проводилось на борту судна с помощью спектрофотометра Konica Minolta CM-2300d спустя 1 час после разрезания секции вдоль (по [12]). Осадок предварительно покрывался пленкой Hostaphan RN 15/15 μm . Измерения выполнялись с шагом 1 см по длине колонки в режиме без учета зеркального компонента (SCE), при теплоте источника света 6504K (D65) и угле обзора наблюдателя 2°.

На разрезанных вдоль секциях колонок АМК-6763–6770 проводились измерения объемной магнитной восприимчивости — k (меры намагничивания вещества под действием внешнего магнитного поля). Исследование проводилось с помощью системы измерения магнитной восприимчивости Bartington MS3 с поверхностным сканирующим датчиком Bartington MS2E в составе автоматизированной системы комплексного исследования кернов Geotek MSCL-XYZ core workstation. Шаг измерений составил 0.5 см. Для колонки АИ-3327 анализ выполнялся в ручном режиме на образцах высушенного, растертого, запрессованного в кюветы осадка с помощью той же системы измерения (шаг 5–10 см).

Анализ элементного состава донных осадков колонок АМК-6763–6770 (архивные секции) выполнялся в автоматическом режиме (на Geotek MSCL-XYZ core workstation) с помощью рентгенофлуоресцентного спектрометра Geotek (15 Вт/50 кВ, Rh анод) с гелиевой ячейкой. Измерения проводились с шагом 0.5 см (размер пятна 15 × 1 мм) в двух режимах работы рентгеновской трубки: 1) 10 кВ (70 μA) без применения фильтров и 40 кВ (95 μA), с серебряным фильтром толщиной 125 μm (1 с на каждый луч).

Элементный состав осадков (высушенных, растертых и запрессованных в кюветы) колонки АИ-3327 анализировался вручную с помощью переносного рентгенофлуоресцентного спектрометра Olympus Vanta C (4 Вт/40 кВ, Ag анод) в двух режимах работы рентгеновской трубки: 1) 40 кВ (87.66 μA) и 2) 10 кВ (131 μA) (30 с на каждый луч). Измерения магнитной восприимчивости и элементного состава проводились через пленку Chemplex Prolene 416.

Для 6 образцов из колонок АМК-6763 и АМК-6764 Т2, а также для 2 образцов колонки АИ-3327 в Познаньской радиоуглеродной лаборатории выполнено масс-спектрометрическое радиоуглеродное датирование по комплексу раковин ПФ, размером >0.15 мм (табл. 2). Календарный возраст рассчитан с помощью программы Calib 7.8.2 по калибровочной кривой Marine20 [18].

РЕЗУЛЬТАТЫ

Колонки сектора Амегино. При сопоставлении разрезов шести колонок на борту судна выявлен ряд сходств и различий в литологии осадков. По визуальному описанию, результатам изучения песчаной фракции и гранулометрического анализа (рис. 3–4) сверху вниз выделяется одна и та же последовательность литологических горизонтов. Критерием выделения горизонтов служит содержание Са, по результатам рентгенофлуоресцентного анализа практически целиком связанного с биогенным кальцитом (раковинами планктонных и бентосных (БФ) фораминифер, их обломками, кокколитами, известковыми обломками макробентоса). Общей чертой всех горизонтов и подгоризонтов следует считать развитие биотурбации, проявленной в разной степени и разными формами, от редких пятен до присутствия песчаных линз и полного нарушения границ между горизонтами, подгоризонтами и слоями внутри них. В верхней части всех колонок (0–20/30 см) выделяется горизонт 1, представленный песчаными терригенно-биогенными и биогенными отложениями с высоким содержанием раковин ПФ, преимущественно хорошей сохранности, значительным (во многих пробах) содержанием радиолярий, примесью раковин БФ, спикул губок, игл морских ежей, единичных раковин остракод и птеропод. Явно подчиненная терригенная составляющая сложена полевошпатово-кварцевым песком с небольшой примесью глауконита в песчаной фракции. В дночерпательной пробе АМК-6768 осадки более крупнозернистые, терригенно-биогенные. Встречены обломки пород гравийно-галечного размера.

Ниже наблюдается постепенный переход от сильно известковых биогенных и терригенно-биогенных песков к терригенным пескам и силту горизонта 2 (20/30–60/90 см) с небольшой биогенной примесью. Переход между известковыми и терригенными осадками в двух более мелководных колонках (АМК-6763 и АМК-6764) маркируется резкой ступенчатой границей с линзами известкового биогенного материала, природу которой предстоит выяснить. В трех более глубоководных колонках (АМК-6766, АМК-6767, АМК-6769) эти два горизонта разделены постепенной границей, а первоначальное залегание слоев довольно сильно нарушено биотурбацией. В горизонте 2 условно различаются подгоризонты 2а и 2б, неоднородные по гранулометрическому составу преобладающего терригенного материала. Типичный осадок верхнего подгоризонта 2а — терригенный песок, но встречаются слои силта (АМК-6764). Содержание зерен глауконита в песчаной фракции осадка составляет 20–30%, радиолярий — около 10%, доминирует кварц (50–70%). Единично встречаются раковины ПФ и БФ, а также об-

Таблица 2. Возраст осадков по данным масс-спектрометрического радиоуглеродного датирования (Poz – Познаньская лаборатория, Польша, ПФ – планктонные фораминиферы)

Код лаборатории	Номер станции и горизонт, см	Датируемый материал	Радиоуглеродный возраст, лет назад	Калиброванный возраст ($\pm 1\sigma$), лет назад	Календарный возраст, лет назад (относит. 1950 г.)	Скорость осадконакопления, см/тыс. лет*
Poz-127806	АМК-6763 8-9	ПФ	2665 $\pm$ 30	2284–2126	2210	3.8
Poz-128103	АМК-6763 15-16	ПФ	4305 $\pm$ 35	4332–4147	4240	3.4
Poz-127807	АМК-6763 23-24	ПФ	10660 $\pm$ 50	11 937–11 699	11 818	1.0
Poz-128104	АМК-6764 5-6	ПФ	2430 $\pm$ 30	1976–1818	1897	2.9
Poz-128106	АМК-6764 15-16	ПФ	4475 $\pm$ 35	4552–4375	4464	3.9
Poz-127808	АМК-6764 25-26	ПФ	10 500 $\pm$ 50	11 694–11 431	11 563	1.4
Poz-90970	АИ-3327 10-11	ПФ	5050 $\pm$ 35	5289–5101	5195	2.0
Poz-90972	АИ-3327 50-51	ПФ	32620 $\pm$ 450	36 781–35 773	36 277	1.3

Примечание: * – скорость осадконакопления рассчитана между соседними датировками, либо между поверхностью (0 см) и ближайшей датировкой.

ломки пород. Пять из шести колонок (АМК-6763, 6766, 6767, 6769 и 6770), по-видимому, не прошли второй горизонт (рис. 3, 5).

Подгоризонт 2б хорошо выделяется в трех колонках (АМК-6763, АМК-6764, АМК-6766), где он представлен плохо сортированными, но мономодальными песчано-силтовыми отложениями с гравием, галькой и щебнем базальтового (по визуальному описанию) состава (рис. 3, 5). На верхнем контакте (2а/2б) наблюдается обратная градиционная слоистость, характерная для контуритовых отложений. В нижней части подгоризонта 2б колонки АМК-6763 хорошо видны эрозионно-аккумулятивные линзы, явно сформированные под действием придонных течений (рис. 4).

В основании колонки АМК-6764 выделяется слой, обогащенный раковинами ПФ средней и хорошей сохранности (20–50%) и скелетных остатков радиолярий (в среднем около 20%), который вероятно представляет собой верхи известково-терригенного горизонта 3. На такое предположение указывает и изменение магнитной восприимчивости (рис. 3, 5).

Четыре колонки южного профиля удалось коррелировать между собой путем сопоставления кривых магнитной восприимчивости (МВ), на которых хорошо выделяются сходные пики повышенных значений в пределах горизонта 1, на границах горизонтов 1/2аб, 2а/2б и предположительно 2б/3, соответствующие интервалам усиленного поступления терригенных магнитных минералов на континентальный склон (рис. 5).

Кроме того, на южном профиле сделана корреляция колонок по цветовому параметру L^* (уровень яркости цвета), для которого выделяются три предположительно разновозрастных пика (рис. 5). В коротких колонках АМК-6769 и АМК-6770 пики МВ и L^* выявить не удалось.

Во всех колонках сектора Амегино встречены четвертичные комплексы планктонных фораминифер преимущественно хорошей сохранности, относящиеся к стратиграфической зоне *Globorotalia truncatulinoides* [22]. Они представлены умеренными, субтропическими и субполярными видами. Наиболее многочисленны *Globorotalia inflata*, *Globigerina bulloides*, зональный индекс-вид *Globorotalia truncatulinoides*, *Globorotalia crassaformis*,

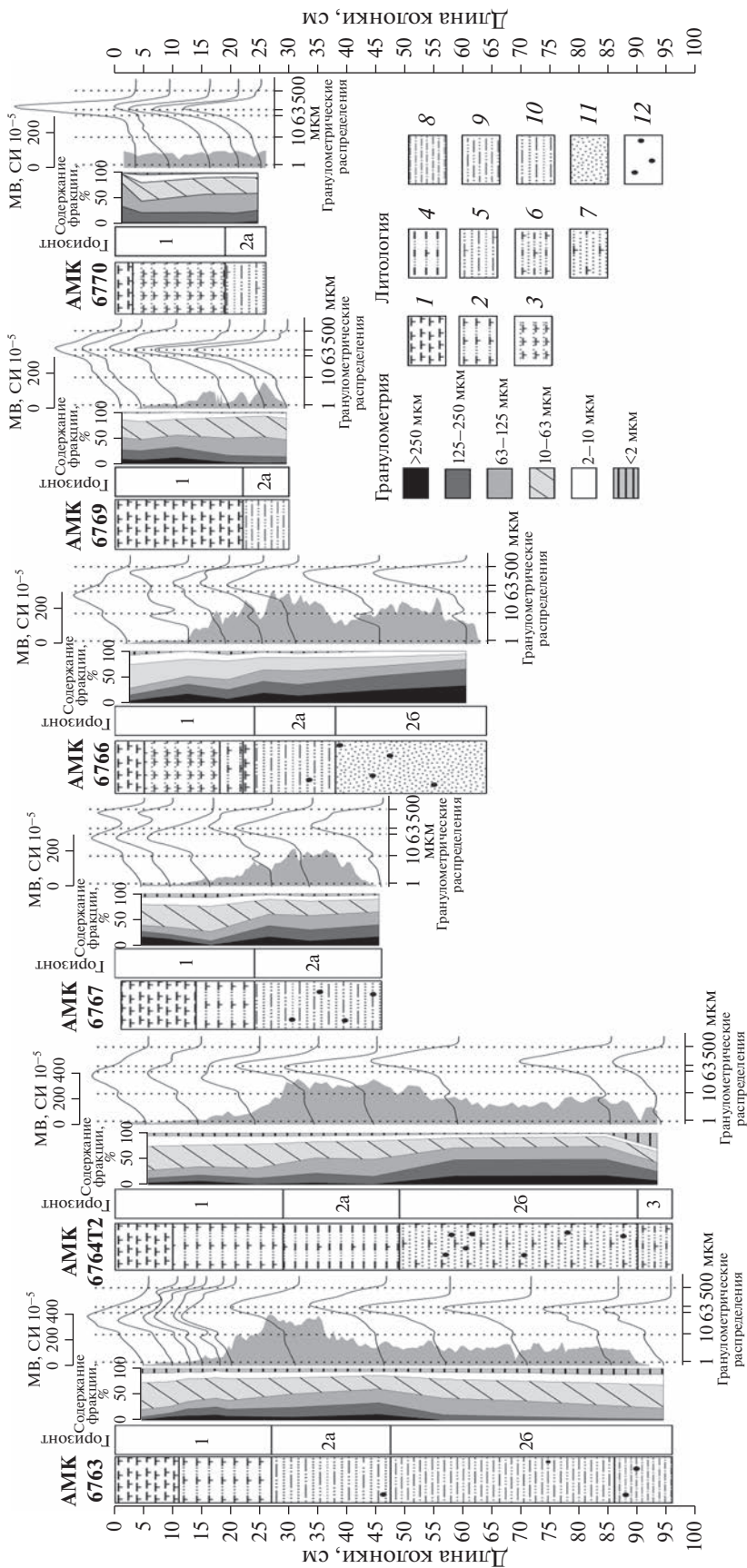


Рис. 3. Состав осадков, литостратиграфические горизонты, процентное содержание фракций и гранулометрический состав осадков 6 колонок сектора Аметино. Литология: 1 – известковый песок, сiltистый песок, песчаный сilt; 2 – песчаный сilt; 3 – сiltистый песок известково-глинистый; 4 – сiltистый песок известково-терригенный; 5 – сiltистый песок известково-терригенный; 6 – сiltистый песок известково-терригенный; 7 – песок известково-терригенный; 8 – галька и гравий; 9 – сiltистый песок известково-терригенный; 10 – сiltистый песок известково-терригенный; 11 – сiltистый песок известково-терригенный; 12 – сiltистый песок известково-терригенный.

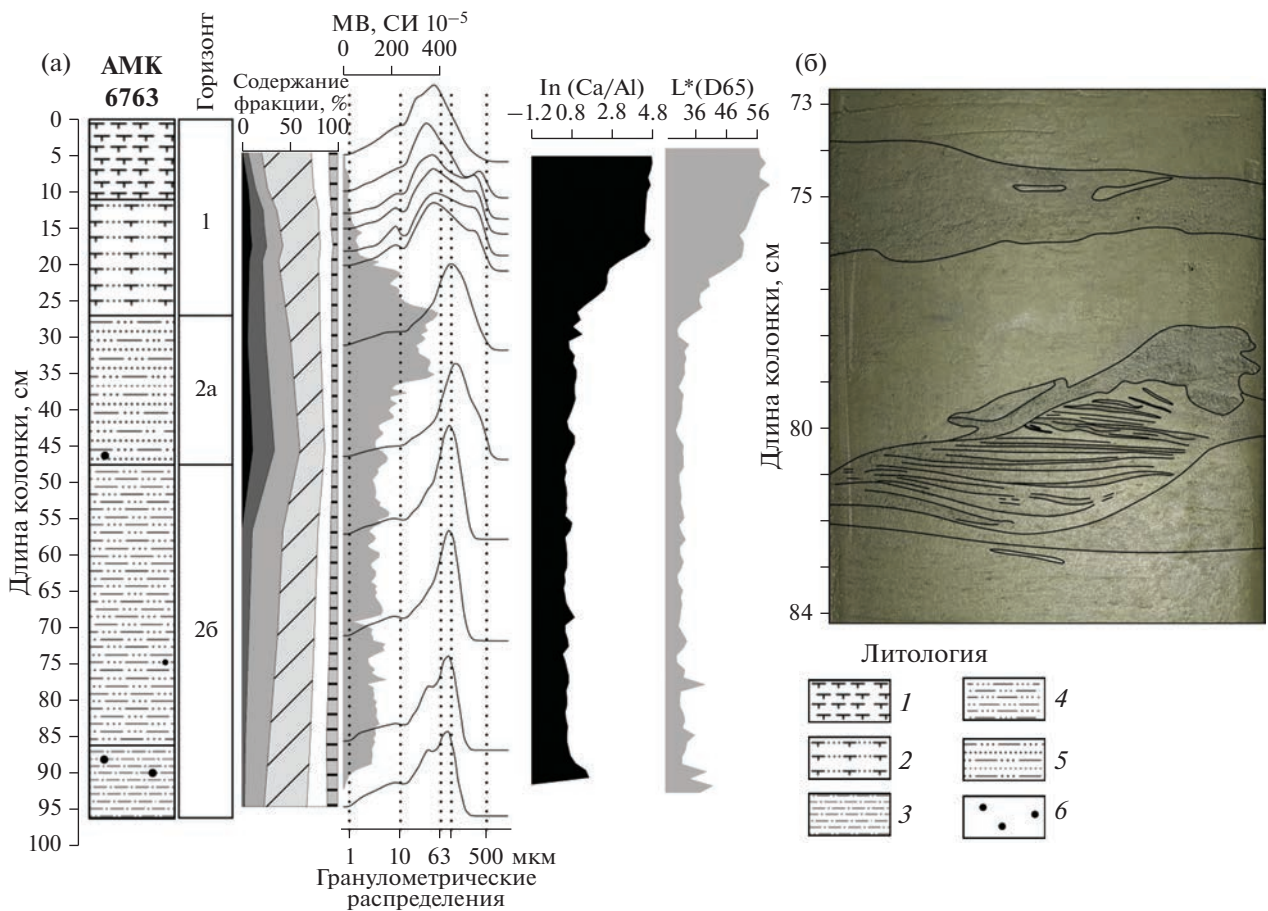


Рис. 4. Колонка АМК-6763. а – Литология, гранулометрия, магнитная восприимчивость (МВ), отношение Ca/Al, уровень яркости цвета осадков (L*). б – Фрагмент фотографии колонки с линзами, указывающими на контуритовую природу осадков. Условные знаки: Гранулометрия – см. рис. 3. Литология: 1 – известковый песок, сiltистый песок, песчаный сilt; 2 – песчаный сilt терригенно-известковый; 3 – сilt терригенный; 4 – песчаный сilt терригенный; 5 – сiltистый песок терригенный; 6 – галька и гравий.

Neoglobobadrina pachyderma sin., *Turborotalita quinqueloba*, единичны *Globigerinella calida* и *Globorotalia scitula*. В осадках горизонтов 1 и 3 (в колонке АМК-6764) раковины фораминифер составляют более половины песчаной фракции. Численность ПФ значительно ниже (как правило, 5–10% от песчаной фракции), а сохранность хуже в терригенных отложениях горизонта 2. Среди немногочисленных БФ типичны *Cibicides wuellerstorfi*, *Pyrgo* sp., *Uvigerina* sp.. В значительном количестве присутствуют скелеты радиолярий, особенно в отложениях горизонтов 2 и 3. В отдельных пробах единично встречаются известковые раковины остракод и птеропод.

Опорная колонка АИ-3327 с террасы Пьедра Буэна. В колонке АИ-3327 вскрыты четыре литостратиграфических горизонта, представленных сверху вниз биотурбированным глауконитово-известковым сiltово-песчаным осадком (0–20 см), зеленовато-черным глауконитовым песком (20–49 см), отделенным неровной эрозионной по-

верхностью от белого известкового фораминиферо-кокколитового ила (50–156 см), под которым залегает еще один горизонт зеленовато-черного глауконитового песка (156–233 см, рис. 6; [5]).

В верхнем и третьем (известковых) горизонтах встречено большое количество раковин ныне живущих видов ПФ, преимущественно хорошей сохранности. В колонке встречаются и другие биогенные остатки, включая раковины БФ, обломки кораллов, спикулы губок. Особенно многочисленны скелетные остатки радиолярий, в том числе в глауконитовом песке. Видовой состав комплексов ПФ тот же, что и в колонках сектора Амегино, но единично встречается переотложенный плиоценовый вид *Globorotalia conoidea* (как в более глубоководных колонках АИ-2609 и АИ-2610 [7]).

Ископаемая флора диатомей преимущественно сильно-окремненная, хорошей сохранности, уверенно идентифицируется и в целом современная. Вся колонка может быть отнесена к верхне-среднеплейстоценовой зоне *Thalassiosira lentiginosa*.

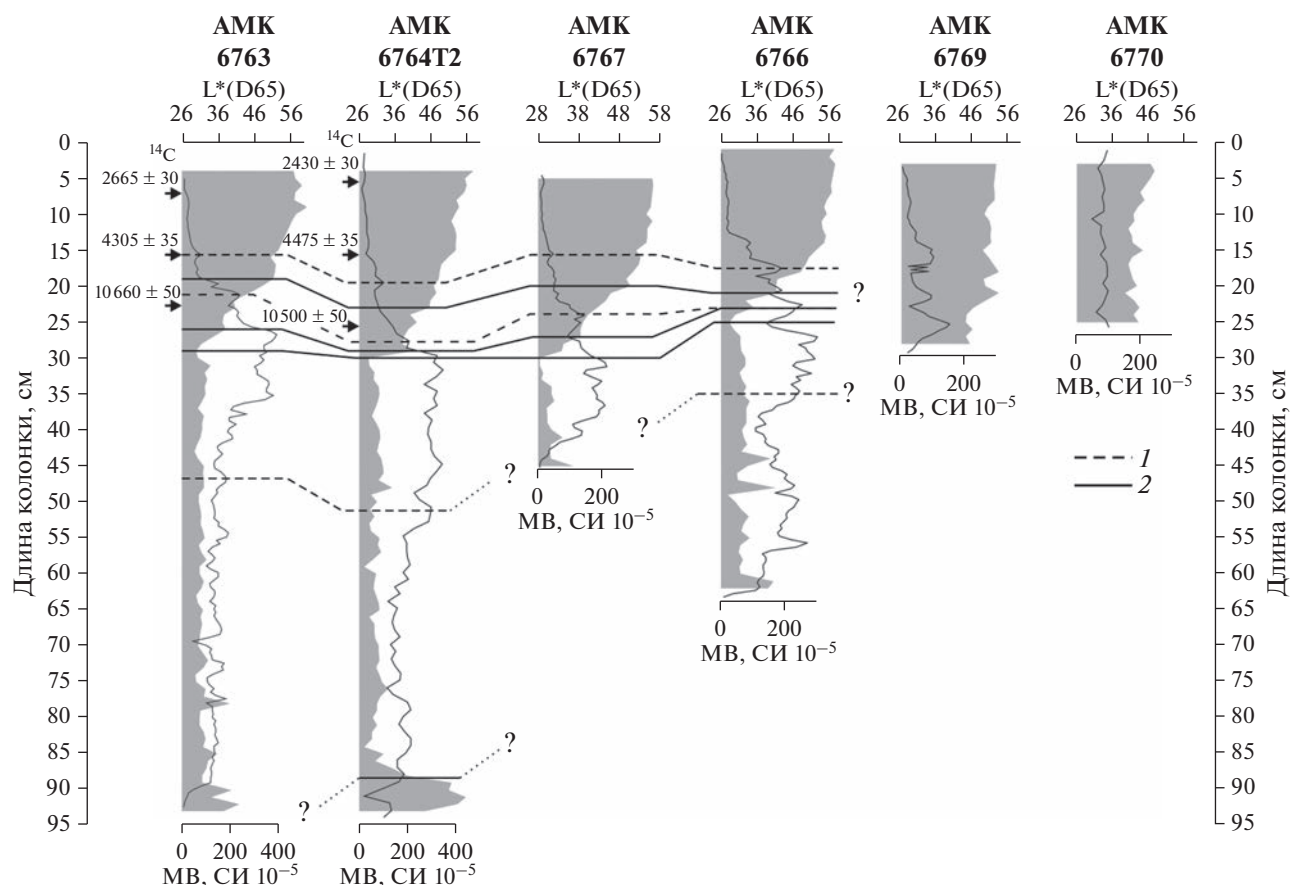


Рис. 5. Магнитная восприимчивость (МВ), уровень яркости цвета осадков (L*), масс-спектрометрические радиоуглеродные датировки и корреляция колонок сектора Амегино. 1 — корреляция пиков МВ, 2 — корреляция пиков уровня яркости (L*).

sa зональной шкалы по диатомеям для высоких южных широт [38]. В верхней части горизонта 3 (101–50 см) постоянно присутствует стратиграфически значимый вид *Hemidiscus* aff. *karstenii*, однако он имеет черты формы переходной между *H. cuneiformis* и *H. karstenii*. В горизонте 4, на 193 см единично встречены очень тонкие и хрупкие створки *Rouxia leventerae*, зонального для южного варианта стратиграфической схемы [38] вида, уровень исчезновения которого определен в 0.13 млн лет. На 233 см отмечены крупные и относительно хрупкие створки вида *Thalassiosira elliptipora*, уровень исчезновения которого датируется в широком диапазоне (0.65–0.3 млн. лет) [15]. Бедность флоры не позволяет однозначно определить, находится ли этот вид во вторичном залегании. Если предположить инситуальность нахождения указанных видов, то возраст основания колонки должен быть определен как ≥ 0.3 млн лет, возраст осадков на 193 см как ≥ 0.13 млн лет.

Количественное содержание диатомей, пересчитанное на грамм натурального сухого осадка, по разрезу колонки меняется в большом диапазо-

не — от полного отсутствия до очень высоких значений (>2 млн. экз/г). Суммарно определено более 50 видов диатомей, подавляющая часть которых относится к субантарктическим, умеренно холодноводным (*Fragillariopsis kerguelensis*, *Thalassiosira lentiginosa*, *T. oliveriana*, *Eucampia antarctica*, *T. gravis*, *Rhizosolenia simplex*, *Asteromphalus parvulus*). В подчиненной позиции находятся относительно тепловодные таксоны (*Actinocyclus curvatus*, *Azpeitia tabularis*, *Shionodiscus oestrupii*, *Roperia tessellata*, *Planktoniella sol*, *Thalassiosira lineata*, *T. es-sentrica*, *Asteromphalus heptactis*, *T. trifulta*, *Coscinodiscus radiatus*, *C. asteromphalus*) и единично представлены переотложенные виды (*Actinocyclus ingens*, *Thalassiosira* aff. *fraga*, *T. vulnifica* и др.).

В горизонте 1 диатомеи относительно немногочисленны (42 тыс. экз./г осадка на 5–6 см), хорошей сохранности, доминируют почти в равных количествах холодноводная *Thalassiosira lentiginosa* и умеренно-тепловодный вид *Azpeitia tabularis*, подчеркивая типичный для данного района смешанный характер флоры. Переотложенные формы не встречаются.

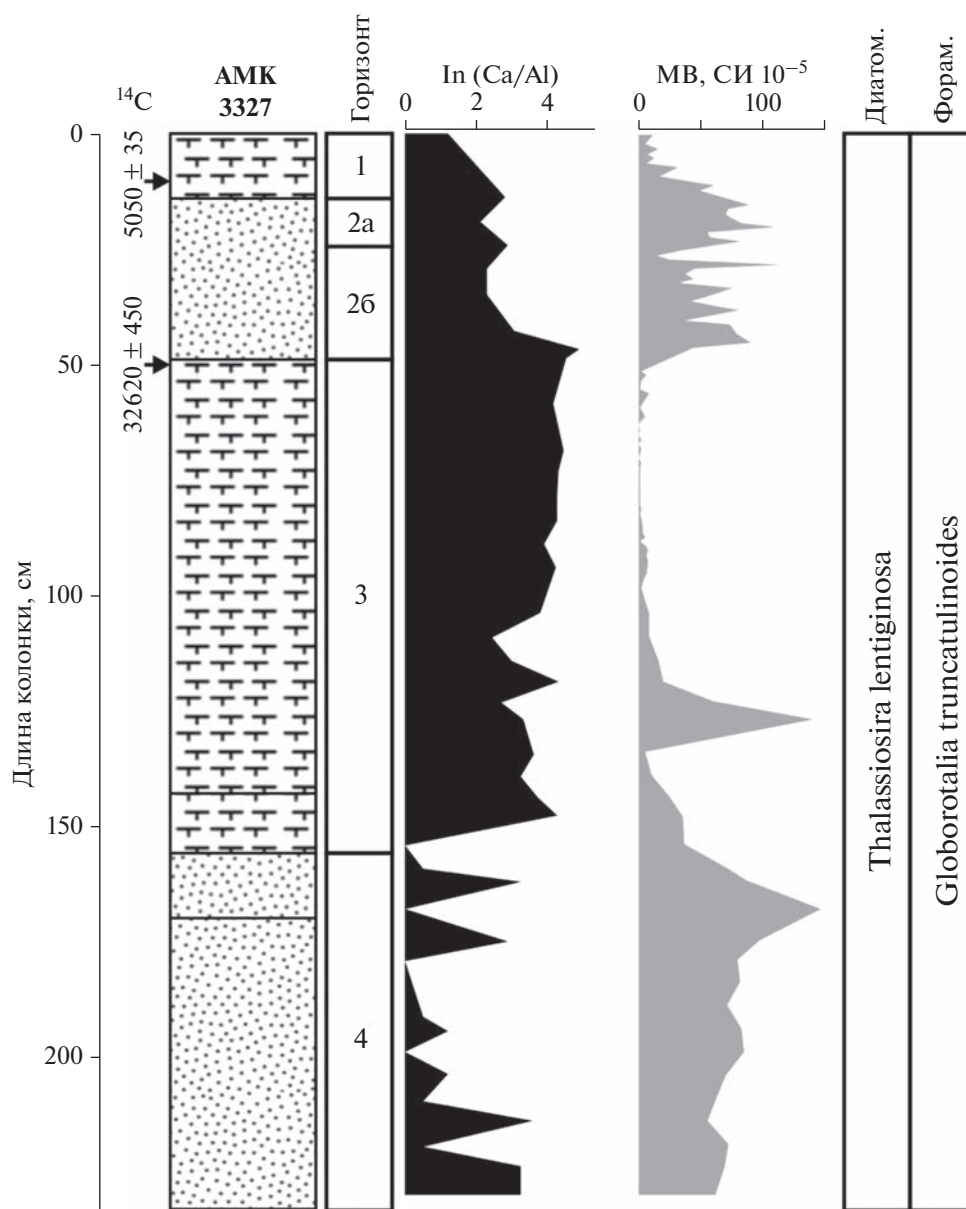


Рис. 6. Колонка АИ-3327 с террасы Пьедра Буэна. Литология, масс-спектрометрические радиоуглеродные датировки, литостратиграфические горизонты, отношение Ca/Al, магнитная восприимчивость (МВ), биостратиграфические зоны по диатомовым (диатом.) и планктонным фораминиферам (ПФ).

В кварцево-глауконитовых песках горизонтов 2 и 4, как правило, спорадически присутствуют немногочисленные, типичные для данного биогеографического района ассоциации диатомей субантарктической природы (*Thalassiosira lentiginosa*, *Chaetoceros* spp., единично *T. grandidieri*) с некоторым участием переотложенных неогеновых видов *Thalassiosira coinveza* в горизонте 2, а также *T. aff. fraga*, *T. vulnifica*, *Actinocyclus ingens* в горизонте 4. Видовое разнообразие невысокое. На 182 и 172 см на фоне немногочисленных диатомей более тепловодного комплекса, включающего *Coscinodiscus radiatus* и *Shionodiscus oestrupii*, отмечено массовое

присутствие фрагментов органического происхождения, в том числе пыльцы и остатков многоклеточных растительных (?) организмов, по-видимому, наземного или прибрежного происхождения. На 193 см характер флоры существенно меняется, осадки содержат умеренное количество типичных субантарктических открытоокеанических диатомей (*Fragillariopsis kerguelensis*, *T. lentiginosa*, *T. oliveriana*, *Eucampia antarctica*, *Rhizosolenia simplex*, *R. hebetata*, *Asteromphalus parvulus*). В базальных слоях колонки (222–233 см) флора диатомей скудная, отсутствуют типичные для Субантарктики пеннатные формы *Fragillariopsis* spp..

В карбонатных фораминиферово-кокколито-вых илах горизонта 3 диатомей особенно обильны (до 2311 тыс. экз./г осадка), их численность и видовой состав меняются часто и пульсационно. В целом флора диатомей представлена типичными для Бразильско-Мальвинской зоны смещения ассоциациями, включающими как относительно холодноводные, так и умеренно тепловодные виды. Встречается переотложенный *Actinocyclus ingens*. Максимальная численность и разнообразие (>30 видов) отмечены на 72 см. Доминируют почти в равном соотношении холодноводная *Thalassiosira lentiginosa* и умеренно-тепловодная *Azpeitia tabularis*, подчеркивая смешанный характер флоры.

ОБСУЖДЕНИЕ

Лито- и хроностратиграфия осадков сектора Амегино. Полученные для колонок АМК-6763 и АМК-6764 Т2 масс-спектрометрические радиоуглеродные датировки хорошо согласуются между собой и однозначно указывают на послеледниковый возраст верхнего литостратиграфического горизонта преимущественно биогенных осадков, который, таким образом, соответствует морской изотопно-кислородной стадии (ИКС) 1 стандартной шкалы (14–0 тыс. л.н.), [24]; табл. 2). Скорости осадконакопления в пределах этого горизонта менялись от 1–1.5 см/тыс. лет в нижней части (12–5 т.л.н.) до 2.9–3.9 см/тыс. лет за последние 4–5 тыс. лет. Терригенные отложения нижележащего горизонта 2 с глауконитом и примесью биогенных частиц (подгоризонт 2а), а также с гравием и щебнем (подгоризонт 2б), очевидно, накапливались во время позднего стадиала последнего оледенения (ИКС 2) при понижении уровня океана. Исходя из средней мощности горизонта 2 около 50 см и возраста границ ИКС 2 (14 и 29 тыс. л.н. по [24]), средняя скорость осадконакопления составляла около 3.3 см/тыс. лет. Нижележащие отложения горизонта 3 с высоким (до 50%) содержанием известковых раковин ПФ в песчаной фракции, скорее всего, относятся к межстадиалу оледенения (ИКС 3).

Результаты корреляции колонок по магнитной восприимчивости и параметру L^* в четырех колонках южного профиля достаточно хорошо соответствуют друг другу. Расхождение во взаимном расположении предположительно одновозрастных пиков МВ и L^* не превышает нескольких сантиметров. Для колонок АМК-6763 и АМК-6764 корреляция по двум параметрам подтверждается близкими значениями радиоуглеродного возраста как для голоценовых отложений, так и для переходного интервала дегляциации (табл. 2, рис. 5).

Хроностратиграфия колонки АИ-3327. Полученные для колонки АИ-3327 масс-спектрометрические радиоуглеродные датировки по ком-

плексам раковин ПФ (табл. 2, рис. 6) подтверждают предложенное [5] расчленение разреза на горизонты послеледниковья и трех интервалов последнего оледенения: двух стадиалов и разделяющего их межстадиала. Таким образом, преимущественно биогенные известковые илы соответствуют более теплым интервалам ИКС 1 и 3, а терригенные кварцево-глауконитовые пески накапливались при понижении уровня океана в холодные стадиалы ИКС 2 и 4. Учитывая имеющиеся масс-спектрометрические радиоуглеродные датировки, трудно предположить, что колонка вошла в интервал предпоследнего оледенения (ИКС 6). В соответствии с предложенным хроностратиграфическим расчленением, средние скорости осадконакопления составляли 2 см/тыс. лет в течение последних 5 тыс. лет (или выше с учетом возможного размыва поверхностных осадков при подъеме трубки) и около 1.3 см/тыс. лет в интервале 36–5 тыс. л.н., т.е. ИКС 2 – начала ИКС 1. Учитывая мощность горизонта МИС 3 – 106 см, можно оценить среднюю скорость осадконакопления в межстадиале оледенения (29–57 тыс. л.н. по [24]) в 3.8 см/тыс. лет.

Удаленная корреляция. Литологические данные, кривые магнитной восприимчивости и новые масс-спектрометрические радиоуглеродные датировки дают возможность коррелировать верхнечетвертичные отложения сектора Амегино и террасы Пьедра Буэна, в пределах сектора Альмиранте Браун (колонка АИ-3327) (рис. 7). Во всех изученных колонках сектора Амегино и колонке АИ-3327 выделены преимущественно биогенные отложения послеледниковья (ИКС 1) и терригенные песчано-силтовые отложения позднего стадиала последнего оледенения (ИКС 2) (рисунки 3, 6). Благодаря масс-спектрометрическим радиоуглеродным датировкам, для этих горизонтов сделаны оценки скоростей осадконакопления. Они составляют около 2 см/тыс. лет для позднего голоцена в обоих районах. Средние скорости значительно отличаются в пределах ИКС 2: они выше в секторе Амегино (2–4 см/тыс. лет) и ниже на террасе Пьедра Буэна (около 1 см/тыс. лет).

Колонка АМК-6764 вскрыла верхнюю часть терригенно-биогенных отложений, скорее всего, относящихся к межстадиалу ИКС 3 (рис. 3). Этот интервал, представленный биогенными известковыми илами на террасе Пьедра Буэна, очевидно, полностью пройден только опорной колонкой АИ-3327, которая вошла в нижележащий интервал кварцево-глауконитовых песков раннего стадиала последнего оледенения (ИКС 4, рис. 6). Для колонки АИ-3327 получена довольно высокая средняя скорость осадконакопления в ИКС 3–3.8 см/тыс. лет, что сопоставимо с оценками для позднего голоцена и стадиала оледенения для сектора Амегино.

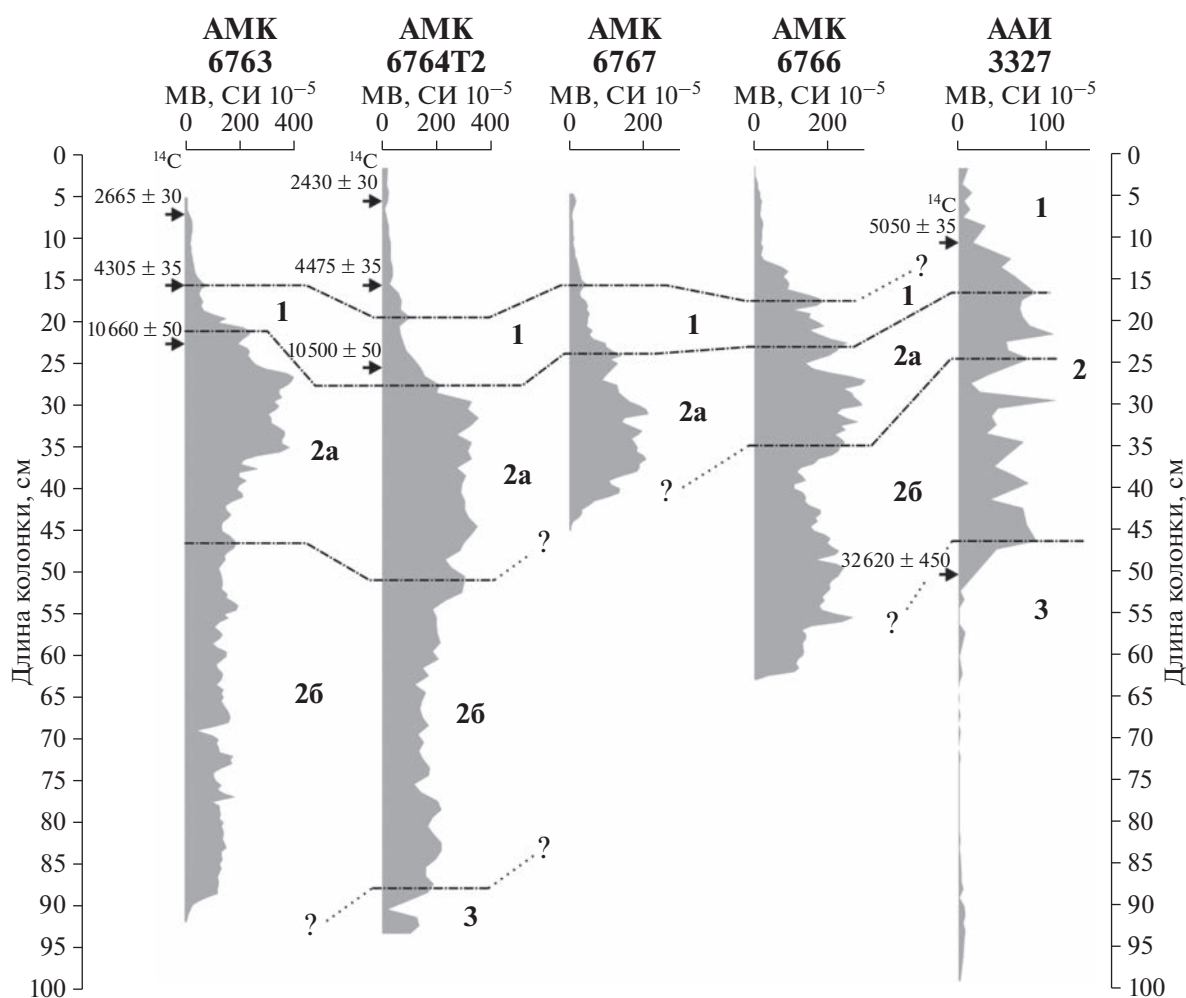


Рис. 7. Удаленная лито- хроностратиграфическая корреляция 4 колонок сектора Амегино и террасы Пьедра Буэна (АИ-3327) с учетом масс-спектрометрических радиоуглеродных датировок и изменений магнитной восприимчивости (МВ).

Такая хроностратиграфическая интерпретация не согласуется с присутствием в колонке АИ-3327 единичных экземпляров видов диатомей *Rouxia leventerae* и *Thalassiosira elliptipora* (на 193 и 233 см, уровни исчезновения 0.13 млн л.н. и 0.3 млн л.н. соответственно). Комплекс полученных данных и корреляция колонок (рис. 7) позволяют считать, что данные виды, скорее всего, переотложены. Это подтверждается и масс-спектрометрическими радиоуглеродными датировками для колонки AU_GEO02_GC21 (46°31.26' ю.ш., 58°34.5' з.д.) с глубины 2379 м [21]. Две опубликованные датировки (39.3 и 42.9 календарных т.л.н.) указывают на позднечетвертичный возраст отложений в интервале 230–335 см.

В то же время приведенные датировки колонки AU_GEO02_GC21 предполагают высокие скорости осадконакопления в верхних 230 см [21], значительно превышающие полученные нами оценки для колонки АИ-3327 (табл. 2). Посколь-

ку прямое сопоставление датировок двух колонок, полученных на разных стратиграфических уровнях (из ИКС 1 и 3 в АИ-3327 и только из ИКС 3 в AU_GEO02_GC21), не представляется возможным, вопрос о скоростях осадконакопления требует дальнейшего изучения путем датирования других колонок с террасы Пьедра Буэна. То же касается и полученных в данной работе низких скоростей осадконакопления в пределах стадиала последнего оледенения на террасе Пьедра Буэна.

Генезис донных отложений. Контуритовая природа изученных отложений (по крайней мере, горизонта 2) доказывается совокупностью таких литологических признаков как биотурбация, плохая сортировка, наличие тонкослоистых интервалов (с волнообразной формой слоев, нечеткими, нарушенными биотурбацией или линзовидными границами слоев) (рис. 46). Интервалы колонок с текстурами прямой и обратной градиционности, выявленные по данным макроописа-

ния, предположительно считаются элементами би-градиационных последовательностей (циклов) (рис. 3) [14, 35–37]. Все эти признаки характеризуют длительную в масштабах геологического времени эрозионно-аккумулятивную деятельность придонных течений, которая принципиально отличается от геологически мгновенных процессов накопления турбидитов и других гравититов. Скорости осадконакопления, рассчитанные для выделенных в колонках горизонтов, существенно ниже скоростей, характерных для валоподобных и плоских дрифтов, в особенности, представленных грубозернистыми контуритами (напр., [34]). Этот факт, вероятно, объясняется высокой энергией гидродинамических процессов у дна, что препятствует осаждению частиц.

Поскольку горизонт 3 в колонке АМК-6764, взятой в верхней части профиля ступенчатого континентального склона (рис. 2), представлен известково-терригенным плохо сортированным тонкозернистым силтистым песком с повышенным содержанием мелкого силта, можно предположить относительно слабое движение придонных вод в конце межстадиала ИКС 3.

Горизонт 26 в колонках АМК-6763, АМК-6764, АМК-6767 литологически неоднороден и возможно отражает элементы би-градиационной цикличности контуритов согласно [36].

Причины бимодальности и полимодальности гранулометрических распределений и вытекающей отсюда крайне плохой сортировки известковых и терригенно-известковых осадков горизонта 1 пока не ясны и требуют дополнительных исследований. Вероятно, это как-то связано с сочетанием вертикальной гемипелагической седиментации и деятельности придонных течений.

Колонки отобраны близко к каньонам, поэтому нельзя полностью исключить воздействие гравитационных потоков на позднечетвертичное осадконакопление. Поскольку четкие признаки турбидитов и гравититов в изученных колонках отсутствуют, можно предположить, что материал гравитационных потоков переотлагался придонными течениями, как предложено, например в [6]. Значительное содержание грубозернистого материала в некоторых слоях указывает на возможное вымывание более тонких частиц под действием интенсивной придонной гидродинамики. Наличие неокатанных зерен гравия в изученных колонках, как и установленное ранее в секторе Альмиранте Браун [5, 7, 27], свидетельствует в пользу айсбергового разноса.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По комплексу литологических, микропалеонтологических данных, измерений магнитной восприимчивости и цветовых характеристик

(спектрофотометрия), а также масс-спектрометрических радиоуглеродных датировок впервые проведено лито- и хроностратиграфическое расчленение донных осадков континентального склона в пределах сектора Амегино, Атлантической континентальной окраины Аргентинской Патагонии, с глубин 2–2.3 км. Выделены два литостратиграфических горизонта, соответствующие ИКС 1 и 2. Колонка АМК-6764 вошла в осадки ИКС 3. Сделаны оценки мощностей литостратиграфических горизонтов и скоростей осадконакопления.

Проведена удаленная корреляция преимущественно биогенных отложений ИКС 1 и терригенных отложений ИКС 2 в колонках сектора Амегино и датированной в данной работе опорной колонке АИ-3327 с террасы Пьедра Буэна.

Установлено распространение на континентальном склоне в пределах сектора Амегино глауконитово-кварцевых песков позднего стадиала последнего оледенения (ИКС 2). В горизонте 2 (ИКС 2) осадков сектора Амегино относительное содержание глауконита ниже, а примесь силта выше, чем в описанных ранее кварцево-глауконитовых песках ИКС 2 колонки АИ-3327 с террасы Пьедра Буэна.

Подтверждено наличие контуритов в осадочном разрезе сектора Амегино и, таким образом, участие придонных течений в осадконакоплении на континентальном склоне.

Источники финансирования. Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект № 22-27-00421).

Благодарности. Авторы благодарят научный состав и экипаж 4 этапа 79 рейса НИС “Академик Мстислав Келдыш” за помощь в проведении эхолотирования, отбора и визуального описания колонков донных осадков, М.М. Васильеву — за гранулометрические анализы. Авторы благодарны рецензенту Е.И. Поляковой за внимательное прочтение статьи и ценные критические замечания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Иванова Е.В., Мурдмаа И.О., Борисов Д.Г. и др. Изучение контуритовых систем Южной Атлантики в 46-м рейсе научно-исследовательского судна “Академик Иоффе” // *Океанология*. 2016. Т. 56. № 5. С. 827–829.
2. Иванова Е.В., Мурдмаа И.О., Борисов Д.Г. и др. Геолого-геофизические исследования контуритовых систем Центральной и Южной Атлантики в 52-м рейсе научно-исследовательского судна “Академик Иоффе” // *Океанология*. 2018. Т. 58. № 2. С. 337–339.
3. Иванова Е.В., Мурдмаа И.О., Борисов Д.Г. и др. Изучение латеральной седиментации в Западной Атлантике в 53-м рейсе научно-исследовательского судна “Академик Иоффе” // *Океанология*. 2018. Т. 58. № 6. С. 1001–1003.

4. Иванова Е.В., Борисов Д.Г., Мурдмаа И.О. и др. Исследование современной латеральной седиментации на континентальном склоне Аргентины в 79 рейсе научно-исследовательского судна "Академик Мстислав Келдыш" // Океанология. 2020. Т. 60. № 6. С. 987–989.
5. Мурдмаа И.О., Сейткалиева Э.А., Дара О.М. и др. Глауконитовые пески на террасах континентального склона Патагонии (Юго-Западная Атлантика) // Литология и полезные ископаемые. 2018. № 6. С. 1–6.
6. Мурдмаа И.О., Росляков А.Г., Борисов Д.Г. Эрозионно-аккумулятивные процессы в северном секторе контуритовой системы континентального склона Патагонии // Океанологические исследования. 2018. Т. 46. № 3. С. 193–213.
7. Мурдмаа И.О., Борисов Д.Г., Иванова Е.В. и др. Фации подводных каньонов континентального склона Аргентинской Патагонии (ЮЗ Атлантика) // Литология и полезные ископаемые. 2022. № 5. С. 419–437.
8. Arhan M., Carton X., Piola A., Zenk W. Deep lenses of circumpolar water in the Argentine Basin // Journal of Geophysical Research. 2002. V. 107 (C1). 3007.
9. Arhan M., Heywood K.J., King B.A. The deep waters from the Southern Ocean at the entry to the Argentine Basin // Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography. 1999. V. 46 (1–2). P. 475–499.
10. Arhan M., Naveira-Garabato A., Keywood K.J., Stevens D.P. The Antarctic Circumpolar Current between the Falkland Islands and South Georgia // Journal of Physical Oceanography. 2002. V. 32. P. 1914–1931.
11. Barron J.A., Bukry D., Dea W. et al. Paleooceanography of the Gulf of Alaska during the past 15,000 years: Results from diatoms, silicoflagellates, and geochemistry // Marine Micropaleontology. 2009. V. 72. P. 176–195.
12. Blum P. Physical properties handbook: a guide to the shipboard measurement of physical properties of deep-sea cores. College Station, Texas, USA, 1997.
13. Bozzano G., Jacobo M., Violante R.A. Los cañones submarinos del margen continental argentino: una síntesis sobre su génesis y dinámica sedimentaria // Latin American Journal of Sedimentology and Basin Analysis. 2017. V. 24(1) P. 85–101.
14. Brackenkridge R.E., Stow D.A.V., Hernández-Molina F.J. et al. Textural characteristics and facies of sand-rich contourite depositional systems // Sedimentology. 2018. 12463.
15. Cody R.D., Levy R.H., Harwood D.M., Sadler P.M. Thinking outside the zone: high-resolution quantitative diatom biochronology for the Antarctic Neogene // Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology. 2008. V. 260 (1–2). P. 92–121.
16. Ewing M., Lonardi A.G. Sediment transport and distribution in the Argentine basin. 5. Sedimentary structure of the argentine margin, basin, and related provinces // Physics and Chemistry of The Earth. Geology. 1971. V. 8. P. 125–156.
17. Franke D., Neben S., Ladage S. et al. Margin segmentation and volcano-tectonic architecture along the volcanic margin of Argentina/Uruguay, South Atlantic // Marine Geology. 2007. V. 244 (1–4). P. 46–67.
18. Heaton T.J., Köhler P., Butzin M. et al. Marine20 – the marine radiocarbon age calibration curve (0–55,000 cal BP) // Radiocarbon. 2020. V. 62. P. 779–820.
19. Hernández-Molina F.J., Paterlini M., Violante R. et al. Contourite depositional system on the Argentine slope: an exceptional record of the influence of Antarctic water masses // Geology. 2009. V. 37. P. 507–510.
20. Hernández-Molina F.J., Paterlini M., Somoza L. et al. Giant mounded drifts in the argentine continental margin: origins, and global implications for the history of thermohaline circulation // Marine and Petroleum Geology. 2010. V. 27. P. 1508–1530.
21. Isola J.I., Bravo M.E., Bozzano G. et al. The Late-Quaternary deposits of the Piedra Buena Terrace (Patagonian continental slope, SW Atlantic): An example of interaction between bottom currents and seafloor morphology // Marine Geology. 2021. V. 43. 106459.
22. Kennett J.P., Srinivasan M.S. Neogene planktonic foraminifera. A phylogenetic atlas. California. Hutchinson Ross. 1983. 265 p.
23. Lastras G., Acosta J., Muñoz A., Canals M. Submarine canyon formation and evolution in the Argentine continental margin between 44°30' S and 48° S // Geomorphology. 2011. V. 128. P. 116–136.
24. Lisiecki L.E., Raymo M.E. A Pliocene–Pleistocene stack of 57 globally distributed benthic $\delta^{18}\text{O}$ records // Paleooceanography. 2005. V. 20. PA1003.
25. Morozov E.G., Demidov A.N., Tarakanov R.Y., Zenk W. Abyssal Channels in the Atlantic Ocean. Dordrecht: Springer, 2010.
26. Muñoz A., Acosta J., Cristobo J. et al. Geomorphology and shallow structure of a segment of the Atlantic Patagonian margin // Earth-Science Reviews. 2013. V. 121. P. 73–95.
27. Muñoz A., Cristobo J., Rios P. et al. Sediment drifts and cold-water coral reefs in the Patagonian upper and middle continental slope // Marine and Petroleum Geology. 2012. V. 36. P. 70–82.
28. Olguin H.F., Alder V.A., Puig A., Boltovskoi D. Latitudinal diversity patterns of diatoms in the Southwestern Atlantic and Antarctic waters. // Journal of Plankton Research. 2015. V. 37(4). P. 1–7.
29. Orsi A.H., Whitworth T., Nowlin W.D. On the meridional extent and fronts of the Antarctic Circumpolar current // Deep-Sea Research I. 1995. V. 42. № 5 P. 641–673.
30. Orsi A.H., Johnson G.C., Bullister J.L. Circulation, mixing, and production of Antarctic Bottom Water // Progress in Oceanography. 1999. V. 43. P. 55–109.
31. Piola A.R., Matano R.P. Brazil and Falklands (Malvinas) currents // Encyclopedia of Ocean Sciences / Steele J.H., Thorpe S.A., Turekian K.K. (Eds.) London: Academic Press, 2001. V. 1 P. 340–349.
32. Reid J.L. On the total geostrophic circulation of the South Atlantic Ocean: Flow patterns, tracers, and transports // Progress in Oceanography. 1989. V. 23. P. 149–244.
33. Reid J.L. On the circulation of the South Atlantic // The South Atlantic: Present and Past Circulation /

- Wefer G., Berger W., Siedler G., Webb J. (Eds.). Berlin: Springer, 1996. P. 13–44.
34. Smillie Z., Stow D., Esentia I. Deep-Sea Contourites Drifts, Erosional Features and Bedforms // Encyclopedia of Ocean Sciences. Elsevier, 2019. P. 97–110.
 35. Stow D., Smillie Z., Pan J., Esentia I. Deep-Sea Contourites: Sediments and Cycles // Encyclopedia of Ocean Sciences.: Elsevier, 2019. P. 111–120.
 36. Stow D.A.V., Faugères J.-C. Contourite Facies and the Facies Model // Contourites. Developments in Sedimentology, 60 / M. Rebesco, A. Camerlenghi. Amsterdam: Elsevier, 2008. P. 223–256.
 37. Wetzel A., Werner F., Stow D.A.V. Bioturbation and Biogenic Sedimentary Structures in Contourites // Contourites. Developments in Sedimentology, 60 / M. Rebesco, A. Camerlenghi (Eds.). Amsterdam: Elsevier, 2008. P. 183–202.
 38. Zielinski U., Gersonde R. Plio–Pleistocene diatom biostratigraphy from ODP Leg 177, Atlantic sector of the Southern Ocean // Marine Micropaleontology. 2002. V. 45. P. 225–268.

Lithology and Stratigraphy of the Quaternary Sediments from the Ameghino Segment of the Atlantic Patagonian Margin

E. V. Ivanova^{a, #}, D. G. Borisov^a, I. O. Murdmaa^a, G. Kh. Kazarina^a, N. V. Simagin^a, T. F. Zinger^{a, b}

^a*Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia*

^b*Institute of Precambrian Geology and Geochronology, Russian Academy of Sciences, St. Petersburg, Russia*

[#]*e-mail: e_v_ivanova@ocean.ru*

The paper provides the first lithology and age data from the Ameghino segment of the Atlantic Patagonian Margin. The multi-proxy study, including lithology, microfossils, magnetic susceptibility, color reflectance and accelerator mass spectrometry enables the litho- and chronostratigraphic frame of the six short (<1 m) sediment cores from the continental margin from the water depth range of 2–2.3 km. The units corresponding to marine oxygen-isotope stages (MIS) 1–3 are identified and distantly correlated with the simultaneous units of the reference core AI-3327 from the Piedra Buena Terrace. The unit thickness and sedimentation rates are evaluated. The occurrence of glauconite in the coarse-grain sediments of the last glacial, previously described from the simultaneous sediments on the Piedra Buena Terrace, is confirmed now within the Ameghino segment of the continental margin. The confirmation of the contourites occurrence in the sediment cores is also provided suggesting the bottom currents involvement in sedimentation.

Keywords: contourite terraces, Lower Circumpolar Water, terrigenous and biogenic sediments, lateral sedimentation, glauconite, microfossils, radiocarbon accelerator mass-spectrometry (AMS-¹⁴C), magnetic susceptibility, color reflectance