

## СРЕДНЕ-ВЕРХНЕЧЕТВЕРТИЧНЫЕ ОТЛОЖЕНИЯ СЕВЕРНОГО СЕКТОРА КОНТУРИТОВОЙ СИСТЕМЫ КОНТИНЕНТАЛЬНОГО СКЛОНА ПАТАГОНИИ (ЮГО-ЗАПАДНАЯ АТЛАНТИКА)

Мурдмаа И.О., Иванова Е.В., Казарина Г.Х., Симагин Н.В.,  
Росляков А.Г., Борисов Д.Г., Немченко Н.В.

*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, 117997, Москва,  
Нахимовский проспект, д. 36,  
e-mail: [murdmaa@mail.ru](mailto:murdmaa@mail.ru)*

Статья поступила в редакцию 18.10.2019, одобрена к печати 31.03.2020.

В результате литологического и микропалеонтологического (планктонные и бентосные фораминиферы, диатомеи) исследования четырех колонок донных осадков выявлены основные черты литостратиграфии и биостратиграфии верхнего слоя контуритов и гравититов, развитых в диапазоне глубин 3500–4300 м, северного сектора контуритовой системы континентального склона Патагонии. Установлено, что в условиях дефицита поступления терригенного материала с суши и высокой, хотя и резко изменчивой, интенсивности придонных контурных течений вод антарктического происхождения, в голоцене гемипелагические известковистые детрито-фораминиферовые осадки накапливались на поверхности средне-верхнеплейстоценовых контуритов в южной части района работ (ст. АИ-2609, АИ-2610). В северной части (ст. АИ-2611, АИ-2612) голоценовый известковистый поверхностный слой отсутствует, а вскрытые средне-верхнечетвертичные разрезы контуритов и гравититов неравномерно обогащены диатомовыми и радиоляриями вплоть до образования слабокремнистых диатомово-терригенных илов. Переотложенные неогеновые фораминиферы и диатомовые свидетельствуют об эрозии подводных обнажений осадков этого возраста придонными течениями и гравитационными потоками.

**Ключевые слова:** контуриты, гравититы, литостратиграфия, гранулометрия, сейсмофации, фораминиферы, диатомовые, биостратиграфия

### Введение

Район настоящего исследования представляет собой северо-западную часть Аргентинской контуритовой системы, выделенной и изученной геофизическими методами зарубежными коллегами (Hernandez-Molina et al., 2010). Северный сектор контуритовой системы, где отобраны рассматриваемые здесь четыре колонки, охватывает отрезок континентального склона Патагонии между широтами 46° и 42° ю.ш., за пределами экономической зоны Аргентины (рис. 1) и описан подробнее в статье (Мурдмаа и др., 2018).

В работе (Мурдмаа и др., 2018) были рассмотрены основные результаты попутного сейсмоакустического профилирования высокого разрешения, выполненного, главным образом, в 37-м рейсе, а отчасти в других рейсах НИС «Академик

Иоффе» в северном секторе контуритовой системы континентального склона Патагонии. В этой статье данные дополнены более детальными фрагментами профилей, отснятыми в точках отбора четырех колонок в 37-м рейсе, для прямой корреляции

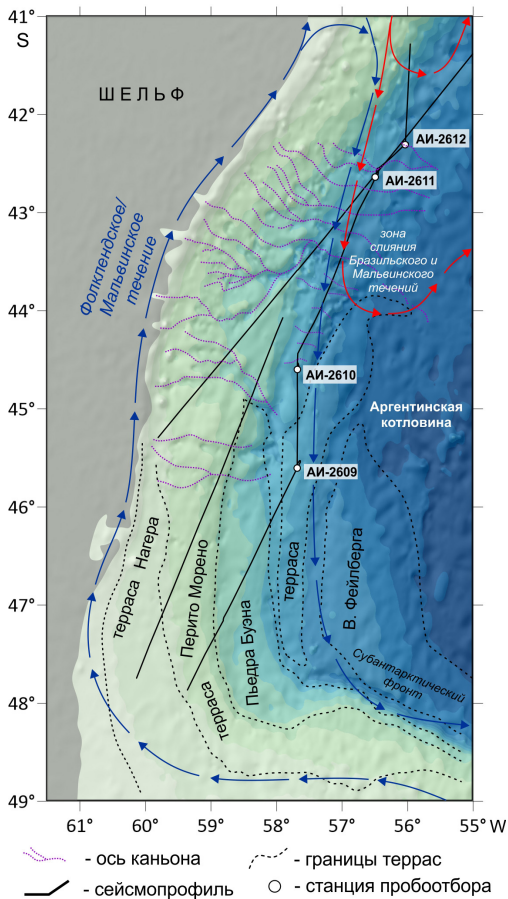


Рис. 1. Фрагмент схемы поверхностных течений на континентальной окраине Патагонии (Peterson, Stramma, 1991) с расположением изученных колонок (номера в белых прямоугольниках) и сейсмоакустических профилей НИС «Академик Иоффе» (черные линии). Синие стрелки – Малвинское (Фолклендское) течение; красные стрелки – Бразильское течение.

вскрытых разрезов с сейсмоакустическими фациями (далее сейсмофациями).

В настоящей статье рассмотрены основные результаты литологических, микропалеонтологических (планктонные и бентосные фораминиферы, диатомовые) и стратиграфических исследований колонок, отобранных в нижней части континентального склона северного сектора контуритовой системы. Хотя всего по четырем колонкам, из которых две очень короткие, невозможно адекватно характеризовать процессы осадкообразования даже в диапазоне глубин их отбора, эти исследования заслуживают внимания. До сих пор сведения о составе и процессах накопления осадочного покрова района исследования ограничивались небольшим количеством дночерпательных проб с поверхности дна, случайно отобранных зарубежными экспедициями. В статье изложены первые данные о литологии и биостратиграфии самого верхнего слоя осадочного чехла северного сектора. По полученным результатам удалось выявить некоторые черты истории терригенной и биогенной седиментации, высказать гипотезы о трендах развития эрозионно-аккумулятивных процессов и фациальных обстановок в условиях доминирования контуритовой и гравититовой латеральной седиментации. Впервые для данного района получены оценки возраста и скоростей осадконакопления, выделены

стратиграфические перерывы во вскрытых разрезах, произведена прямая корреляция разрезов колонок с сейсмоакустическими профилями высокого разрешения.

Работа нацелена на демонстрацию перспектив сочетания исследований колонок традиционными методами литостратиграфии и биостратиграфии с сеймостратиграфией высокого разрешения для решения проблем седиментогенеза в сложных гравититово-контуритовых системах. Авторы считают, что полученный опыт будет полезен при планировании будущих геолого-геофизических экспедиций в данном районе.

### Материалы и методы

Сейсмопрофилирование выполнено профилографом «SES-2000 deer» по маршруту судна с небольшими отклонениями в точках пробоотбора (Мурдмаа и др., 2018). Материалом для исследования послужили четыре колонки донных осадков, отобранных ударной трубкой диаметром 127 мм в диапазоне глубин 3526–4263 м АИ-2609, АИ-2610, АИ-2611, АИ-2612 (табл. 1). Все колонки отобраны точно на сейсмоакустических профилях высокого разрешения, а их координаты определены спутниковой навигацией GPS. Положение колонок на рельефе дна показано на рис. 1.

Примененная в экспедициях стандартная методика отбора и первичной обработки колонок на борту судна описана в нескольких предыдущих публикациях авторов (Иванова и др., 2016). Дополнительно к традиционным методам изучения физических свойств (плотности и влажности натурального осадка), измерялось сопротивление сдвигу с использованием микрокрыльчатки «Pilson», производства «Edesco». Измерения проводились с частотой не менее двух на каждый погонный метр отобранной колонки осадков.

Литология и литостратиграфия вскрытых разрезов основаны на визуальном описании колонок, дополненным фотографированием, изучением сфер-слайдов под поляризационным микроскопом и просмотром фракций >0.1 мм под биноклем. Водно-механические гранулометрические анализы комбинированным методом декантации и пипетки В.П. Петелина (Петелин, 1967), а также определения  $\text{CaCO}_3$  и  $\text{C}_{\text{орг}}$  на экспресс-анализаторе углерода АН-729 по колонкам АИ-2610 и АИ-2612 выполнены в АО ИО РАН. В колонке АИ-2611 сделаны гранулометрические анализы валовых проб и терригенной составляющей (после удаления биогенных  $\text{CaCO}_3$  и аморфного кремнезема  $\text{HCl}$  и  $\text{NaOH}$  соответственно) на лазерном дифракционном анализаторе размеров частиц SALD 2300 (Shimadzu, Япония). Гранулометрические фракции выделялись по классификации, принятой в ИО РАН: >100 (или 500–250, 250–100), 100–50, 50–10, 10–5, 5–1, <1 мкм при обоих методах анализа.

Таблица 1. Координаты и глубина отбора колонок донных осадков

Номер	ю.ш.	з.д.	Глубина, м	Длина, см	Форма рельефа
АИ-2609	45°36.33′	57°40.77′	3526	25	плоская эрозионная поверхность у устья крупного каньона
АИ-2610	44°36.10′	57°40.66′	3585	42	склон пластерного дрефта
АИ-2611	42°37.94′	56°29.40′	3801	345	вершина пластерного дрефта на континентальном склоне
АИ-2612	42°18.57′	56°02.04′	4263	335	подножие континентального склона

Методика пилотного анализа комплексов планктонных фораминифер (ПФ) описана в (Иванова и др., 2016). Фракции >100 мкм просматривались под биноклем для определения видового состава, выявления стратиграфических индекс-видов и доминирующих видов, а также определения степени сохранности раковин фораминифер. Лабораторная обработка образцов для диатомового анализа проведена по упрощенной методике (Barron et al., 2009). Для таксономических определений микрофоссилий использовались многочисленные публикации (Kennett, Srinivasan, 1983; Harwood, Maruyama, 1992; Suto et al., 2013; Zielinski, Gersonde, 2002).

Стратиграфическая интерпретация проводилась в соответствии со шкалами для высоких южных широт по фораминиферам (Kennett, Srinivasan, 1983) и диатомеям (Zielinski, Gersonde, 2002). Значительный объем информации о возрастных диапазонах видов диатомей и их датированных уровнях получен из (Cody et al., 2008). Экологическая и биогеографическая характеристики большинства таксонов определены в соответствии с представлениями о распределении диатомей в современном планктоне южной части Атлантического океана (Malinverno et al., 2016; Olguin et al., 2011, 2015).

В колонке АИ-2610 удалось набрать достаточное количество раковин планктонных фораминифер для масс-спектрометрического радиоуглеродного датирования двух образцов в Познаньской радиоуглеродной лаборатории (табл. 2). Календарный возраст рассчитан с помощью программы Calib 7.1 по калибровочной кривой для морских осадков (Reimer et al., 2013; Stuiver et al., 2018).

Таблица 2. Возраст осадков колонки АИ-2610 по данным масс-спектрометрического радиоуглеродного датирования. Календарный возраст рассчитан с помощью программы Calib 7.1 по калибровочной кривой для морских осадков (Reimer et al., 2013; Stuiver et al., 2018)

Лабораторный код	Глубина в колонке, см	Радиоуглеродный возраст, лет назад	Календарный возраст, лет назад (стандартное отклонение $\pm 1 \sigma$ )
Poz-103411	5–6	3375 $\pm$ 30	3197–3303
Poz-103412	15–16	6660 $\pm$ 40	7155–7238

## Результаты

Литологическое и микропалеонтологическое изучение четырех колонок дает возможность судить о процессах накопления и средне-позднечетвертичном возрасте вскрытых разрезов самой верхней части осадочного покрова нижнего склона и развитых здесь морфотипов латеральной седиментации. Фрагменты сейсмоакустического профиля в точках отбора колонок, коррелирующие с разрезами колонок, позволяют уточнить природу сейсмofаций северного сектора контурмтовой системы, описанных (Мурдмаа и др., 2018).

**Колонка АИ-2609**, длиной 25 см, получена в северной части контуритовой террасы В. Фейлберга (далее по тексту терраса Фейлберга, рис. 1) с плоской эро-

зионной поверхности у устья крупного каньона, на глубине 3526 м (табл. 1). На сейсмоакустическом профиле видны обрывки гиперболических рефлекторов, вероятно, представляющие собой боковые отражения от мелких неровностей рельефа эрозионной поверхности. В точке отбора колонки, близко к поверхности дна, выделяется отрезок сильного акустического рефлектора, возможно, отражающий резко уплотненный слой осадка, в который уткнулась колонка на глубине 21 см от поверхности дна (рис. 2).

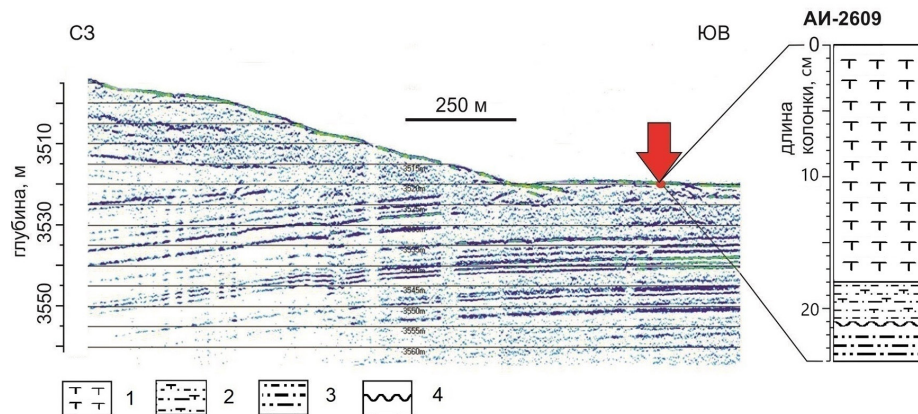


Рис. 2. Колонка АИ-2609. Слева – фрагмент сейсмоакустического профиля эрозионного участка террасы Фейлберга, через станцию отбора колонки (красная стрелка); справа – литостратиграфия колонки. Условные знаки: 1 – известковый детритово-фораминиферовый ил; 2 – слабо известковистый терригенный алевроит; 3 – терригенный песчаный алевроит сильно уплотненный; 4 – стратиграфический перерыв.

В разрезе короткой колонки выделяются три слоя (рис. 2 справа). Верхний слой (0–18 см) сложен мягким светлым оливково-серым известковым детритово-фораминиферовым илом с большим содержанием песчано-алевритового терригенного материала и с примесью диатомовых, радиолярий, спикул губок. Поверхностный окисленный слой отсутствует.

Ниже (18–21 см) по четкой границе выделяется оливково-серый слой терригенного пелитово-алевритового осадка с примесью песка вплоть до крупнозернистого (по данным визуального описания). Осадок биотурбирован. В небольших количествах присутствуют фораминиферы, диатомеи, радиолярии и спикулы губок. Резкий, неровный, явно эрозионный, контакт в подошве отделяет этот довольно мягкий слой от сильно уплотненного нижнего слоя. Предполагается, что эрозионный контакт соответствует стратиграфическому перерыву.

Нижний слой (21–25 см) сложен светлым оливково-серым, очень плотным (почти твердым) песчано-алевритовым осадком с небольшой примесью целых раковин и детрита фораминифер, а также диатомовых, радиолярий, спикул. Встречена одна полуокатанная галька базальта. Состав осадка (определенный по смер-слай-

дам) мало отличается от состава вышележащего слоя. Заметно его обогащение диатомовыми и спикулами губок.

Таким образом, колонка вскрыла под тонким покровом известковых осадков поверхность сильно уплотненных отложений, обогащенных терригенным песком, возможно, представляющим собой контурит.

В интервале 0–21 см встречены четвертичные комплексы планктонных фораминифер (ПФ) хорошей сохранности, представленных умеренными, субтропическими и субполярными видами. Наиболее многочисленны *Globorotalia inflata*, *Globigerina bulloides*, *Globorotalia truncatulinoides*, *Globorotalia crassaformis*, *Neogloboquadrina pachyderma sin.*, *Turborotalita quinqueloba*, *Globigerinita glutinata*. Среди бентосных фораминифер (БФ) типичны *Cibicidoides wuellerstorfi*, *Pullenia bulloides*, *Epistominella exigua*, *Pyrgo sp.*, *P. murrihae*, *P. Williamsoni*, *Uvigerina sp.*, *C. wuellerstorfi* и *P. bulloides*, часто считаются индикаторами Северо-Атлантических Глубинных Вод (САГВ) (например, Mackensen et al., 1993; Rasmussen et al., 2003).

Диатомеи в верхнем слое представлены створками относительно слабой окремненности, в целом хорошей сохранности; единичные экземпляры несут следы незначительного растворения. Видовой состав разнообразен, причем смешаны виды различной биогеографической природы, что подтверждает гравититовую природу осадка. Доминируют антарктические и субантарктические диатомеи, среди которых преобладают виды рода *Fragillaria*: *kerquelenensis*, *rhombica*, *pseudonana*, *oblicwecostata*, *lineata* и рода *Thalassiosira*: *lentigenosa*, *oliveriana*, *fasciculatae*. В меньших, но заметных количествах встречена флора более тепловодного облика, относящаяся к категории широко тропической: *Thalassiosira oestrupii*, *Roperia tessellata*, *Azpeitia crenulata* и *Fragillaria opsidiolus*. Последний вид является видом-индексом одноименной плейстоценовой зоны в тропической шкале по диатомеям (Barron, 1985).

В пробе с 17 см на фоне умеренно разнообразной антарктической флоры встречены единичные грубоокремненные створки плиоценового вида *Thalassiosira kolbei*, находящиеся, очевидно, во вторичном залегании. В образце 19–20 см флора диатомей, в целом антарктического облика, довольно малочисленна, с заметным участием неритического вида *Paralia sulcata*.

В нижнем уплотненном горизонте (21–25 см) фораминифер очень мало. Как правило, планктонные виды толстостенные, устойчивые к растворению (*Globorotalia inflata* и другие). Диатомеи редки, представлены тонко-окремненными створками современных антарктических видов *Thalassiosira lentigenosa* и *Fragillariopsis kerquelenensis*, отмечены единичные крупные и грубые, явно переотложенные створки плиоценового вида *Thalassiosira kolbei* и *Stephanopyxis aff. grunowii*, имеющего еще более древний возраст.

Из-за широкого стратиграфического распространения (плиоцен-плейстоцен, либо миоцен-плейстоцен для некоторых таксонов, Kennett, Srinivasan, 1983) встреченных видов, зональное стратиграфическое расчленение осадков по фораминиферам в пределах четвертичного интервала не представляется возможным. По

данным изучения диатомей колонка вскрыла средне-верхнечетвертичные осадки, относящиеся к зоне *Thalassiosira lentiginosa* / *Fragillariopsis kerguelensis*. Отсутствие инситу находок стратиграфически значимых более древних видов *Actinocyclus ingens* и *Rouxia constricta* позволяет определить возраст основания колонки не древнее 380 (по *Actinocyclus ingens*) или даже 280 (по *Rouxia constricta*) тыс. лет назад. Четвертичный индекс-вид фораминифер *G. truncatulinoides* в интервале плотного нижнего слоя (21–25 см) не встречен.

Комплексы диатомей верхней части колонки (9–13 см) обитали в более тепло-водных условиях, нижней – в относительно холодных и неритических, неустойчивых динамических условиях, объясняющих эпизодическое переотложение створок придонными течениями.

Отделенный перерывом (эрозионной поверхностью) почти твердый осадок с галькой и переотложенными неогеновыми диатомеями в основании разреза согласуется с записью профилографа (рис. 2). На ней отчетливо виден эрозионный характер дна в месте отбора колонки и выход к поверхности более древних (но не древнее средне-верхнечетвертичных) слоев. Эрозионные врезы на террасе Фейлберга выражены также фрагментами сейсмопрофиля, приведенными в статье (рис. 4, 5, Мурдмаа и др., 2018). Твердое дно (подобие хардграунда) образовано, скорее всего, параллельно стратифицированными терригенными контуритами, частично литифицированными при длительном обнажении.

**Колонка АИ-2610**, длиной 42 см, получена с участка континентального склона на глубине 3585 м (табл. 1, рис. 1). На сейсмоакустическом профиле район станции представлен согласной последовательностью непрерывных отражающих границ, соответствующей стратифицированной толще отложений, интерпретированной нами как сейсмофация контуритов (Мурдмаа и др., 2018). Видимая мощность этой, вероятно, волнисто-слоистой толщи – 30–60 м. На широтном профиле (рис. 8, Мурдмаа и др., 2018) хорошо видно уменьшение мощности слоев (расстояния между рефлекторами) в восточном направлении и срезание отдельных слоев поверхностью дна, с образованием пологого углового несогласия. Наблюдаемые признаки, а также рельеф дна, позволяют отнести точку станции АИ-2610 к склону крупного пластерного дрейфа, расположенного к западу от генетически сопряженного с ним вдольсклонового канала (Hernández-Molina et al., 2010). Большая глубина проникновения акустического сигнала (до 60 м) и четкость сейсмоакустической записи позволяют предположить, что пластерный дрейф сложен нелитифицированными тонкозернистыми илами (иловыми контуритами). Для верхнего слоя осадков это подтверждено литологией колонки АИ-2610.

Большая часть колонки вытекла через вывернутый лепестковый клапан. Сохранившийся в трубке фрагмент разреза (42 см) представлен (рис. 3а) сверху (0–28 см) известково-терригенным мелкоалевритово-пелитовым илом с большой примесью диатомовых. Гранулометрический состав осадков характеризуется (рис. 3б) в верхней части колонки плохой сортировкой (4.3). Вниз по разрезу сортировка улучшается (2.9–3). Известковый материал состоит, в основном, из де-

трита и целых раковин фораминифер. На 0–10 см осадок бледно-оливковый, на 10–28 см – зеленовато-серый. Содержание  $\text{CaCO}_3$  уменьшается книзу от 37% на 5 см, 33% на 15 см, 15% на 23 см и практически до нуля на 39 см. Содержание  $\text{C}_{\text{орг}}$  около 0.5% (см. рис. 3б). В нижней части слоя наблюдаются миллиметровые темные песчаные прослои, обогащенные гидротроилитом. В смер-слайдах отмечен пирит.

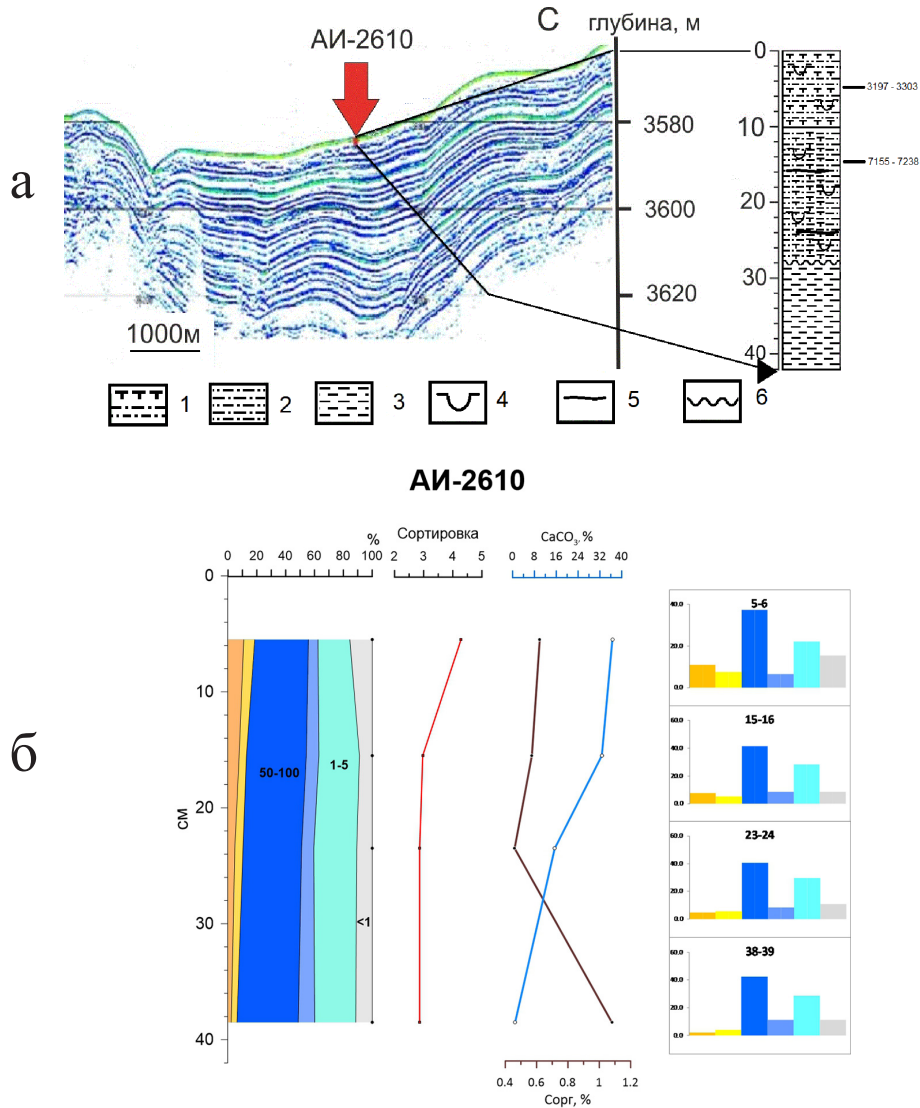


Рис. 3. Колонка АИ-2610. а – слева фрагмент сейсмоакустического профиля склона пластерного контуритового дрифта, выделенного (Hernandez-Molima et al., 2010), через станцию отбора колонки (красная стрелка); справа – литостратиграфия колонки. Условные знаки: 1 – известково-терригенный мелкоалевритово-пелитовый ил; 2 – слабо известковистый терригенный мелкоалевритово-пелитовый ил; 3 – терригенный мелкоалевритово-пелитовый ил; 4 – значительная примесь диатомовых; 5 – миллиметровые темные прослои, обогащенные песком и гидротроилитом. б – стратиграфический перерыв. Ниже 10 см отмечена биотурбация. Цифры справа от колонки – календарный возраст;

б – гранулометрический и химический состав осадков: содержание фракций (%), коэффициент сортировки – содержание  $\text{CO}_3$ ,  $\text{C}_{\text{орг}}$  – гистограммы соотношения фракций (примеры).



Нижний слой (28–42 см), отделенный косым контактом (возможно, перерывом и угловым несогласием), сложен темным зеленовато-серым биотурбированным терригенным пелитово-мелкоалевритовым илом с примесью диатомей и радиолярий. Он относительно обогащен органическим веществом ( $C_{\text{орг.}} -1.08\%$ ), содержит пирит.

Гранулометрический состав осадков, иллюстрированный четырьмя гистограммами (рис. 3б), характеризуется бимодальностью с четким преобладанием мелкоалевритовой фракции (10–50 мкм) и второстепенной модой в области среднего пелита (1–5 мкм). Известковистый верхний слой (0–28 см) отличается повышенным содержанием песчаной и крупноалевритовой фракций, содержание которых убывает книзу, к контакту с нижним (бескарбонатным) слоем. Следовательно, содержание фракций крупнее 50 мкм связано, в основном, с раковинами фораминифер и их крупных обломков. Ниже несортированного поверхностного слоя (на 5 см коэффициент сортировки более 4) сортировка умеренная и имеет слабый тренд улучшения книзу (коэффициент сортировки от 3.0 на 15 см до 2.7 на 36 см), что, вероятно, указывает на сортирующее воздействие придонных течений. Таким образом, можно предположить переход от контуритов внизу разреза к гемипелагитам наверху.

Судя по масс-спектрометрическим радиоуглеродным датировкам (табл. 2), верхняя (известковая) часть разреза относится к голоцену. Резкое уменьшение содержания  $CaCO_3$  между 23 и 28 см, вероятно, свидетельствует о мощности голоцена не более 28 см, что подтверждено радиоуглеродными датировками (табл. 2).

В колонке встречены типичные для этого региона комплексы ПФ хорошей сохранности, переходные от субтропических к субантарктическим (Be, Tolderlund, 1971), представленные теми же видами, что и в колонке АИ-2609. Присутствие в верхней части разреза (0–28 см) вида *Globorotalia hirsuta* указывает на позднечетвертичный (Jones et al., 1984; Johnson et al., 1984) или средне-позднечетвертичный (Pujol, 1983; Nishi et al., 2000) возраст. В интервале 28–42 см отмечены единичные раковины плиоценовых видов *Globorotalia conomiozea* и *Globorotalia conoidea*, очевидно, переотложенные в результате эрозии обнажающихся придонными течениями неогеновых отложений.

Среди БФ, помимо перечисленных для колонки АИ-2609, отмечены виды, типичные для областей распространения как САГВ (*Pullenia quinqueloba*, *Cassidulina reniforme*, *Oridorsalis umbonatus*), так и Антарктических донных вод (ААДВ) (*Nuttalides umbonifer*) (Harloff, Mackensen, 1997; Mackensen et al., 1993). На 39 см зафиксированы значительные изменения как комплексов микрофоссилий в целом, так и комплекса БФ, обогащенного крупными раковинами *Globobulimina sp.*

Флора диатомей представлена относительно слабо окремненными створками наиболее характерных и массовых антарктических и субантарктических видов: *Fragillariopsis kerguelensis*, *Fr. rhombica*, *Fr. pseudonana*, *Fr. oblicwecostata*, *Thalassiosira lentiginosa*, *Th. oliveriana*, *Actinocyclus actinochilus*, *Eucampia antarctica*, *Azpeitia tabularis* и др. Отмечено редкое участие умеренно тепловодных видов *Rope-*

*ria tessellata*, *Azpeitia crenulata* и единичное присутствие в образце с 40 см переотложенных фрагментов грубо окремненных створок *Actinocyclus ingens*, *Thalassiosira kolbei* и *Melosira sol.* Отсутствие инситуальных ранне- и среднеплейстоценовых видов *Actinocyclus ingens* и *Rouxia constricta* позволяют предположить средне-позднечетвертичный возраст осадков, не древнее 280 тыс. лет.

**Колонка АИ-2611**, длиной 345 см, поднятая с глубины 3801 м (табл. 1), по данным батиметрии и профилографа, взята на вершине аккумулятивной возвышенности (пластерного дрифта по Hernández-Molina et al., 2010). Дрифт ограничен с юго-запада руслом глубоководного канала (отрога каньона?), простирающегося поперек континентального склона, а с юго-востока – предположительно вдольсклоновым (контуритовым) каналом (рис. 4а). Вероятно, этим определяется наличие в строении осадочной толщи признаков как контуритов, так и отложений плотностных (гравитационных) потоков. Контуриты, подстилающие поверхностный акустически прозрачный слой гравитита, представлены параллельно (волнисто) стратифицированными интервалами сейсмоакустического разреза. Однако внутри контуритовой пачки выделяются два акустически прозрачных слоя мощностью около 4 м каждый, разделенные четким протяженным рефлексом (рис. 4а–в). Согласно с контуритами залегание и выдержанность пласта на большом расстоянии указывают на его либо контуритовое, либо гемипелагическое происхождение. Несмотря на акустическую прозрачность, на гравитит он не похож.

Согласно принятым критериям, колонка АИ-2611 отобрана с трехметрового покрова гравитита, несогласно врезанного в толщу контуритов на дне пологой ложбины, осложняющей рельеф вершинной поверхности дрифта (рис. 4б–в). Колонка прошла покров гравитита и вскрыла под ним сильный протяженный рефлекс, отражающий кровлю нижележащей параллельно стратифицированной контуритовой толщи.

Следует отметить, что поверхностный слой неизвестной толщины, вероятно, потерян в процессе извлечения колонки из трубки путем выталкивания давлением воды через поршень сверху, поэтому уже на первых сантиметрах извлеченного разреза плотность осадка довольно высокая (около 1.7 г/см<sup>3</sup>), а влажность, соответственно, аномально низкая – всего 42% (рис. 4). Интервалы 20–50 см и 75–100 см, возможно, деформированы (разжижены) при выталкивании колонки. На 60 см отмечена граница резкого уплотнения (до 1.8 г/см<sup>3</sup>), фиксированная также как максимум роста кнзизу сопротивления сдвигу (11 мПа). В интервале 60–328 см сопротивление сдвигу удерживается на уровне около 8–10 мПа, а в основании колонки скачкообразно возрастает до 14 мПа с резким увеличением плотности (до 1.75 г/см<sup>3</sup>) и уменьшением влажности (до 39%). Уплотненные интервалы обнаружены также на глубинах 120 и 270 см (около 1.7 г/см<sup>3</sup> в обоих интервалах), а также на нижнем контакте с базальным уплотненным слоем (рис. 4а). Резко уплотненный базальный слой характеризуется измерениями физических свойств в одной пробе на глубине 330 см, где плотность (1.77 г/см<sup>3</sup>) и сопротивление сдвигу максимальны, а влажность минимальна (26%).

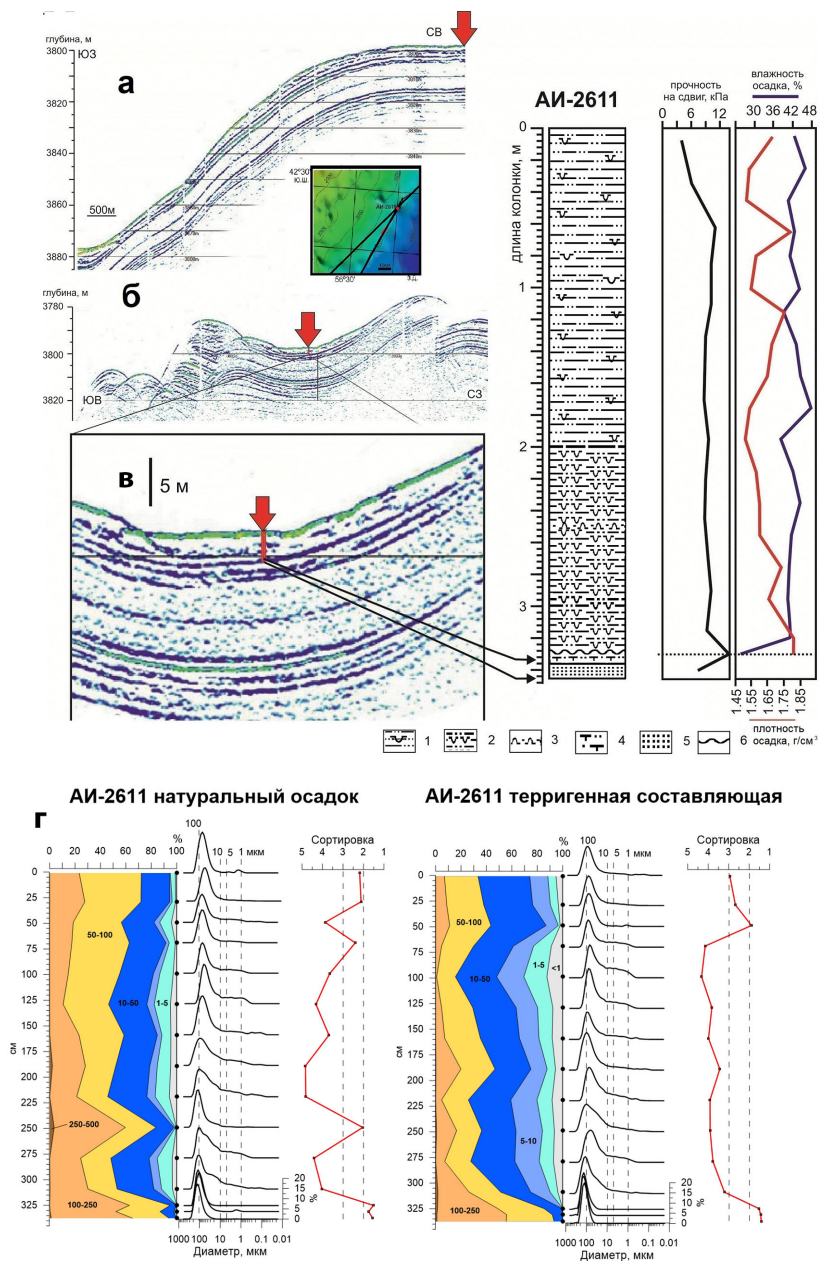


Рис. 4. Колонка АИ-2611. Верхний слева – два сходящихся фрагмента сейсмоакустических профилей (врезка) через станцию отбора колонки (красные стрелки), а – на вершине пластерного контуритового дрефта; б, в – показывающие, в разных масштабах, положение станции в полой ложбине, выделенного (Hernandez-Molima et al., 2010). Справа – литостратиграфия колонки. Условные знаки: 1 – песчаный алеврит со значительной примесью диатомовых; 2 – слабо кремнистый (радиоляриево-диатомовый) песчаный алеврит; 3 – прослой терригенно-радиоляриевого крупноалевритистого песка 4 – терригенно-известковый крупноалевритистый песок сильно уплотненный; 5 – терригенный крупноалевритистый песок; 6 – стратиграфический перерыв. Рядом справа – графики сопротивления сдвигу, плотности, влажности; г – гранулометрический состав (по методу лазерной дифракции): слева – натуральный осадок; справа – терригенная составляющая после удаления биогенных  $\text{CaCO}_3$ , аморфного кремнезема, органического углерода. Для обоих видов анализа приведены графики соотношения гранулометрических фракций, непрерывных гранулометрических распределений, коэффициента сортировки.

Основная верхняя часть колонки (до глубины 328 см) сложена темным зеленовато-серым песчано-алевритовым терригенным слабокремнистым (радиоляриево-диатомовым) осадком с прослоем алевритистого песка на 250 см. Отмечена примесь гравия. По внешне довольно однородному слою наблюдаются точечные выделения гидротроилита, а в смер-слайдах присутствует довольно много пирита, в том числе в форме фрамбоидов размера мелкого алеврита – крупного пелита.

По всему разрезу встречаются рассеянные раковины ПФ и их обломки. Судя по просмотру смер-слайдов и препаратов для диатомового анализа (подсчеты не проводились), на глубине до 200 см от верха колонки диатомовые присутствуют в виде примеси. Ниже 200 см диатомовые становятся одним из второстепенных осадкообразующих компонентов и осадок можно назвать слабокремнистым. Просмотр фракции крупнее 100 мкм не выявил там значительного содержания радиолярий (радиолярии единичны, лишь в пробе с 275 см их количество достигает примерно 2%), однако во фракции велико (до 5–7%) содержание спикул губок). Стоит отметить, что в пробе фракций с 275 см сильно снижается количество раковин планктонных фораминифер и увеличивается содержание терригенного обломочного материала. Среди терригенных компонентов отмечены кварц (40–50%), глауконит (10–12%), биотит (5–7%), редко встречается вулканическое стекло.

Гранулометрический состав осадков верхнего слоя, определенный методом лазерной дифракции (рис. 4г слева), характеризуется четким одномодальным гранулометрическим распределением с модой, колеблющейся около 100 мкм, и с более мелкозернистым «хвостом» изменчивого объема. Доминируют фракции: мелкопесчаная (100–250 мкм), крупноалевритовая (50–100 мкм) и мелкоалевритовая (10–50 мкм). Пелита мало, особенно тонкопелитовой фракции (< 1 мкм).

Коэффициент сортировки варьирует в широких пределах: от 2 (хорошая сортировка) до 5 (слабая сортировка). Сортировка ухудшается с увеличением доли мелких фракций (< 50 мкм) при их смешивании с исходно хорошо сортированным мелкозернистым песком и крупным алевритом в гравитите, что иллюстрируется минимальной величиной коэффициента сортировки (2.0) алевритистого песка с 250 см, почти не содержащего пелита. Возможно, что песчаный прослой отмыт от тонких фракций придонным течением, то есть имеет контуритовую природу.

Гранулометрический состав терригенного компонента после удаления биогенных составляющих (в колонке АИ–2611 практически целиком представленных аморфным кремнеземом) заметно отличается от описанного для проб натурального осадка (рис. 4г справа). Уменьшение содержания мелкопесчаной и крупноалевритовой фракций в терригенном остатке указывает на существенное содержание радиолярий в песчаной фракции натурального осадка. Такое предположение подтверждено результатами просмотра фракций >100 мкм. Наиболее выразительно почти полное исчезновение выше упомянутого пика песчаной фракции на 250 см. Оказалось, что «песок» в основном состоит из кремневых скелетов радиолярий.

Менее понятно увеличение в терригенном остатке доли мелкоалевритовой фракции по сравнению с содержанием той же фракции в натуральном осадке. Ведь

именно туда должно попасть большинство кремневых створок диатомей. Остается предположить, что значительная по массе терригенная мелкоалевритовая фракция просто подавляет слабый эффект растворения диатомей при анализе, содержание которых в натуральном осадке было небольшим. То же относится, вероятно, к увеличению содержания всех трех пелитовых фракций, куда в натуральном осадке должны были попасть обломки и мелкие формы диатомей, а также иглы радиолярий. В любом случае, роль крупных радиолярий, попадающих во фракцию >100 мкм, очевидно больше, чем предполагалось при первичном описании слоя гравититов, что может указать на смыв мелкозернистого биогенного кремнезема в ходе придонного гравитационного транспорта густой суспензии.

Резкий прямолинейный контакт на глубине 328 см отделяет описанный выше слой от подстилающего сильно уплотненного ( $1.77 \text{ г/см}^3$ ), почти твердого (сопротивление сдвигу до 15 мПа), зеленовато-серого пласта толщиной 7 см (328–335 см) (рис. 4). Контакт, по-видимому, отражает стратиграфический перерыв и эрозию, которая, судя по микропалеонтологическим данным, не вышла за пределы позднечетвертичного времени. Осадок в плотном пласте представлен, вероятно, слабокремнистым терригенным, очень хорошо сортированным (коэффициент сортировки ниже 2), крупноалевритистым мелкозернистым песком (рис. 4а слева). По микропалеонтологическим данным и просмотру смер-слайда на 330 см выделяется известковистый прослой с разнообразной фауной ПФ. По смер-слайдам, в плотном базальном слое много диатомовых, встречаются спикулы губок и радиолярии. Удаление биогенных компонентов, однако, привело лишь к незначительным изменениям соотношения гранулометрических фракций (рис. 4а справа). Кроме того, осадок обогащен аутигенным пиритом. Характер распределения основных компонентов не выяснен, но присутствие только в одной пробе (330 см) богатого комплекса ПФ и БФ указывает на возможную микрослоистость (ламинацию). Если такое предположение подтвердится дальнейшими исследованиями, то оно послужит дополнительным аргументом в пользу контуритовой природы плотного слоя, выведенного из сейсмофациального анализа района станции АИ-2611 (см. сейсмопрофиль увеличенного масштаба на рис. 4в).

Базальный слой (335–345 см) темного зеленовато-серого слабо кремнистого (диатомово-радиоляриево-спикулового) алеврито-песчаного очень плотного осадка извлечен из наконечника трубки и деформирован.

Верхние 200 см осадков колонки содержат небольшое количество диатомей относительно хорошей сохранности и окремненности, преимущественно субантарктической природы и того же таксономического состава, что и в колонке АИ-2609. Ниже примерно 200 см содержание диатомей увеличивается, доминируют виды антарктического холодноводного комплекса, включающего споры *Thalassiosira gravida*, *Eucampia antarctica*, *Actinocyclus actinochylus*. Эта часть разреза соответствует средне-верхнечетвертичной зоне *Thalassiosira lentiginosa*/*Fragillariopsis kerguelensis*, имеющей возрастной диапазон 0.28–0 млн. лет и коррелирующей с морскими изотопными стадиями (МИС) 8-1 (Zielinski, Gersonde, 2002). В основании разреза

встречены единичные створки *Thalassiosira elliptipora*, маркирующего плейстоценовые отложения. Спорадически ниже 200 см в осадках присутствуют створки *Rouxia constricta*. В соответствии с зональной схемой (Zielinski, Gersonde, 2002) и данными по датировочным уровням диатомей (Cody et al., 2008) отложения ниже 200 см могут быть отнесены к среднеплейстоценовой зоне *Rouxia constricta*, верхняя граница которой датируется приблизительно 0.28 млн лет и отвечает середине МИС-8 (Zielinski et al., 2003). Отсутствие в этой части разреза *Actinocyclus ingens* позволяет высказать предположение, что возраст основания колонки не древнее 380–400 тыс. лет, то есть средне-позднечетвертичный.

Разнообразная субарктическо-субтропическая фораминиферовая фауна довольно хорошей сохранности встречена только в водной пробе с 330 см, где ПФ представлены видами: *Globorotalia inflata*, *Neogloboquadrina pachyderma* sin. *N. pachyderma* dex., *Globorotalia crassaformis*, *Globigerina bulloides*, *Turborotalita quinqueloba*, *Globigerinita glutinata*. В той же пробе встречены БФ: *Uvigerina* spp., *Nuttalides umbonifer*, *Buccella* sp., *Pyrgo* sp., *Pyrgo williamsoni*, *Bulimina* sp., *Cibicides wuellerstorfi*, *Epistominella* sp., *Pullenia quinqueloba*, *Gyroidinoides* sp., *Melonis barleeanus*, *Oolina* sp., *Pullenia bulloides*, *Cassidulina* sp. и другие, в том числе агглютинирующие виды.

Колонка **АИ-2612**, длиной 404 см (табл. 1) поднята с подножия континентального склона, вероятно, с поля гравититов на нижнем краю пластерного дрифта (Hernández-Molina et al., 2010; см. рис. 1 в Мурдмаа и др., 2018), с глубины 4263 м. На сейсмоакустическом профиле через станцию отбора (рис. 5а) видно угловое несогласие между поверхностным акустически прозрачным слоем, вскрытым колонкой, и нижележащей оползневой толщей. Виден также неровный (эродированный) контур поверхности дна, несогласный с рельефом подошвы акустически прозрачного поверхностного слоя. Характер сейсмоакустической записи подстилающих осадочных тел и конфигурация извилистых неровных и нечетких внутренних рефлекторов, вероятно, указывает на нагромождение нескольких оползневых тел, разделенных перерывами и эрозионными поверхностями, выраженными неровными рефлекторами. Поскольку поверхностный прозрачный слой, облегающий оползневые тела, прослеживается на большом расстоянии вдоль профиля, можно предположить, что этот слой образован растекающимися по склону с северо-запада потоками разжиженного ила. Куполообразная форма самого нижнего рефлектора в правой части профиля, который срезан эрозией на северо-востоке, может принадлежать кровле древнего контуритового дрифта, подобного «гигантским дрифтам», описанным в работе (Hernández-Molina et al., 2010). Фрагмент тонко стратифицированной записи на ЮЗ склоне предполагаемого дрифта, проявляющийся при более детальном анализе сеймопрофиля, подтверждает такую интерпретацию.

Плотность и влажность осадков в колонке АИ-2612 (рис. 5а) демонстрируют резкие неупорядоченные колебания без четких вертикальных трендов, что, возможно, отражает смешивание слоев разной степени уплотнения при оползании. Последовательное увеличение сопротивления сдвигу сверху вниз по разрезу колонки

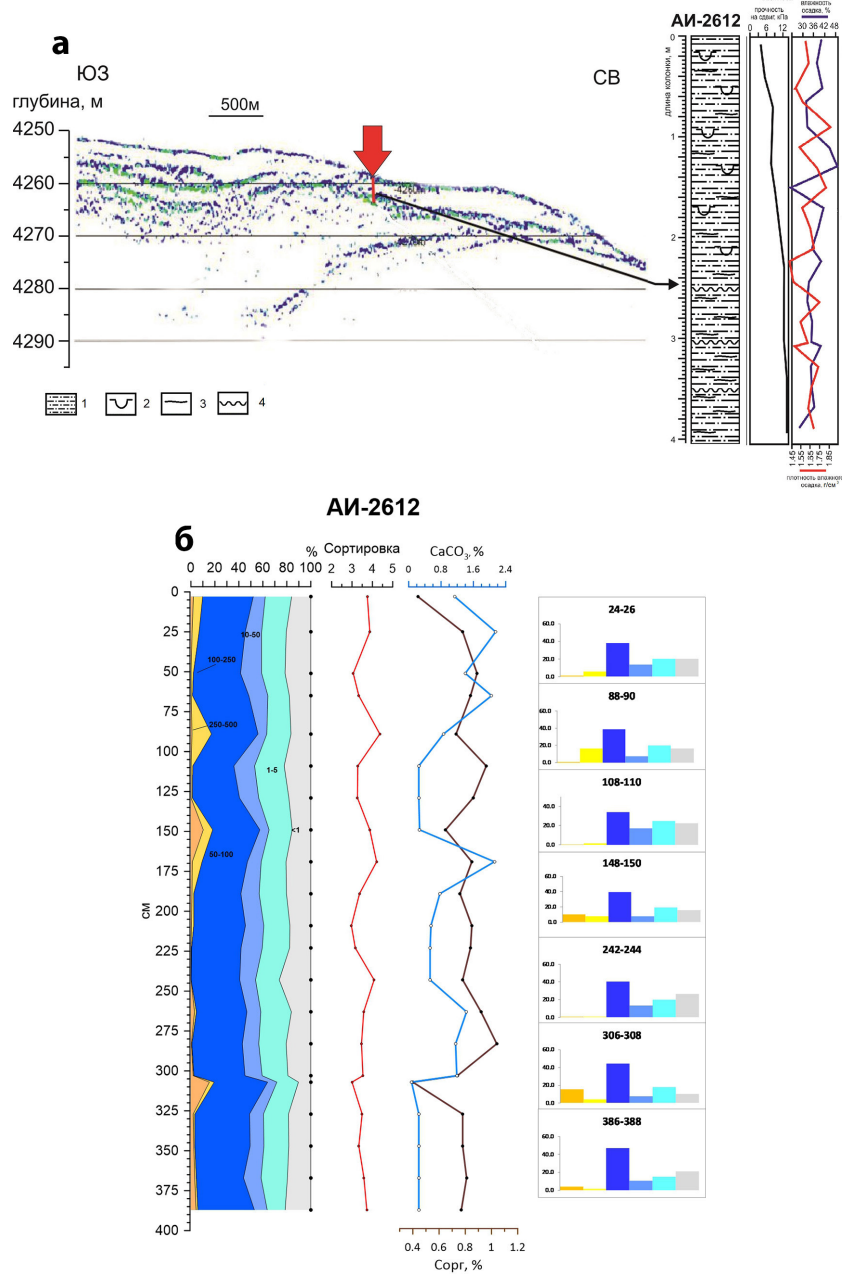


Рис. 5. Колонка АИ-2612. а – слева – фрагмент сейсмоакустического профиля подножия континентального склона через станцию отбора колонки (красная стрелка). Справа – литостратиграфия колонки. Условные знаки: 1 – мелкоалевритово-пелитовый ил с линзами песка и значительной примесью диатомовых; 2 – мелкоалевритово-пелитовый ил с линзами песка и оползневой текстурой; б – гранулометрия (по данным комбинированного водно-механического анализа): соотношение гранулометрических фракций – примеры гистограмм – коэффициент сортировки. Графики содержания CaCO<sub>3</sub>, C<sub>орг</sub> в осадках.

от 3 мПа в поверхностном слое до 15 мПа глубже 340 см (рис. 5а) указывает на постепенный характер осадконакопления и диагенетического уплотнения. Однако, учитывая малое разрешение измерений данного параметра, следует обратить внимание на перегибы кривой, возможно, свидетельствующие о ступенчатом харак-

тере увеличения прочности, связанного со стратиграфическими перерывами. Наиболее ярко скачкообразное увеличение сопротивления сдвигу, а также плотности (до 1.7 г/см<sup>3</sup>) выражены на глубине около 340 см, где несогласие фиксируется также по другим параметрам (рис. 5а, б).

При визуальном описании на борту судна отмечены тонкие уплотненные прослои и линзы, обычно отличающиеся более темным зеленовато-серым цветом. В смер-слайдах в них выявлено повышенное содержание терригенного песка и/или биогенного кремневого детрита (радиолярий, диатомовых, спикул и их обломков).

В нижнем слое разреза (341–404 см), отделенном четким контактом, косо ориентированным к оси колонки, встречаются плейчатые «оползневые» текстуры. Упомянутые выше темные прослои и линзы, обогащенные песком и гидротроилитом, в базальном слое ориентированы косо, параллельно верхнему контакту, что означает угловое несогласие и возможный стратиграфический перерыв в кровле базального слоя. В некоторых прослоях сантиметровой толщины предполагается градационная микротекстура: песок залегает на нижнем контакте и переходит выше в более мелкозернистый осадок. Возможно, что такие прослои образованы малыми гравитационными потоками суспензии и представляют собой своеобразные микротурбидиты.

На сейсмопрофиле (рис. 5а), примерно на глубине 3.5 м от дна, виден отрезок рефлектора, вероятно, метящий кровлю нижележащего оползневого тела.

Колонка сложена мелкоалевритово-пелитовыми илами с изменчивым содержанием диатомовых (от примеси до осадкообразующего компонента), согласно данным просмотра смер-слайдов и диатомового анализа. Цвет осадков варьирует в пределах разных оттенков зеленовато-серого, по-видимому, в зависимости от относительного содержания более светлой биогенной кремнистой и обогащенной пиритом более темной терригенной пелитовой компонентой. В этой колонке поверхностный окисленный слой, в отличие от колонки АИ–2611, сохранился, но он очень тонкий (цвет осадка только на 0–1 см имеет коричневатый оттенок). Малая толщина окисленного слоя, возможно, свидетельствует о повышенных скоростях осадконакопления и накопления органического вещества (Krastel et al., 2009). Содержание органического углерода по разрезу колеблется от 0.4% до 1.0% (среднее 0.78%, то есть довольно высокое). В темных, зеленовато-серых интервалах много пирита, встречаются фрамбоиды и пиритизированные фрагменты органического вещества. По содержанию биогенного кремнезема, приблизительно оцененного при просмотре редких смер-слайдов, выделяются слои, относительно обогащенные диатомовыми (0–58, 92–251, 341–404 см). Вероятны вариации внутри перечисленных интервалов.

Гранулометрический состав осадков, определенный в колонке АИ–2612 водно-механическим анализом, довольно однообразен, что необычно для оползневых отложений смешанного вещественного состава (рис. 5б). Во всех проанализированных пробах присутствует пик мелкоалевритовой фракции (10–50 мкм), составляющий 34–47% от массы сухого осадка. Доминирующая мелкоалевритовая фракция сочетается с тремя близкими по содержанию пелитовыми фракциями, в



сумме составляющими около половины массы осадка (от 44 до 64%). Содержание песчаной и крупноалевритовой фракций ничтожно мало в большинстве проб, но в нескольких пробах составляет до 18% в отдельности и до 20% в сумме. По-видимому, это объясняется случайным попаданием в отобранные для анализа двухсантиметровые пробы обогащенных крупными фракциями прослоев и линз. Коэффициент сортировки варьирует от 3.0 до 4.4 без явных закономерностей вдоль разреза, что соответствует сортировке осадков от умеренной до слабой. В составе терригенного песка часто встречаются хорошо окатанные зерна кварца и полевого шпата, указывающие на снос с внутреннего шельфа.

По разрезу, при диатомовом анализе, отмечено многократное и довольно резкое чередование интервалов с большим количеством диатомей и очень бедных. В составе комплексов наряду с перечисленными выше, обычными для данного района субантарктическими видами, постоянно присутствует *Actinocyclus ingens*. В слоях с обильной флорой заметно больше хорошо сохранившихся створок этого вида. *Actinocyclus ingens* часто встречается во вторичном залегании, особенно центральные части его створок. Надо иметь в виду, что этот вид имеет грубоокремненные, устойчивые к растворению, панцири. Присутствие данного вида в осадках колонки на фоне относительно молодой флоры может рассматриваться как его переотложение. Однако совместная встречаемость в низах разреза (ниже 248–250 см) *Actinocyclus ingens* с единичными хрупкими створками тонко окремненной *Rouxia constricta* позволяет оценить возраст интервала 400–250 см как нерасчлененный средний – поздний плейстоцен (зоны *Actinocyclus ingens* – *Rouxia constricta*). Часть разреза выше 250 см, по-видимому, отвечает верхнечетвертичной зоне *Thalassiosira lentiginosa* / *Fragillariopsis kerguelensis*. Четвертичный возраст осадков колонки в целом подтверждается присутствием в базальном слое вида-индекса *Thalassiosira elliptipora* и составом комплексов планктонных фораминифер.

ПФ встречены только в виде единичных обломков. Небольшое количество целых раковин БФ и ПФ, представленных видами *G. inflata*, *N. pachyderma* (sin.) и *N. pachyderma* (dex.), определено только на 308 см.

### Обсуждение результатов

Хотя проведенные пока исследования литологии и стратиграфии донных отложений северного сектора контуритовой системы континентального склона Патагонии весьма ограничены по объему, полученные результаты позволяют раскрыть некоторые существенные особенности средне-позднечетвертичного осадконакопления в данном районе. Они затрагивают не только терригенную седиментацию, характерную для континентальных склонов умеренных широт, но также необычно широко развитую для этой климатической зоны биогенную седиментацию.

В статье (Мурдмаа и др., 2018) была показана ведущая роль вдольсклоновых (контурных) придонных течений вод антарктического происхождения в накоплении осадочных тел контуритов, наблюдаемых на сейсмоакустических профилях

высокого разрешения. Отмечалась эрозионная деятельность этих же контурных течений, а также гравитационных осадочных потоков, спускающихся по каньонам.

При сопоставлении сейсмоакустических данных с результатами изучения литологии колонок оказалось, что собственно гравититы (включая тела сползших по склонам разжиженных осадков) имеют явно подчиненное значение по сравнению с контуритами. Турбидитов нет, если не считать упомянутые выше проблематичные «микротурбидиты» в базальном слое колонки АИ–2612. Отложения обломочных потоков (дебриты) пока не обнаружены. Вместо типичного для пассивных континентальных окраин аккумулятивного шлейфа континентального подножия (continental rise), по батиметрическим данным вырисовывается глубоководный эрозионный канал (или система каналов), отделяющий склон от соседней абиссальной равнины. Тем самым наши сейсмоакустические данные подтверждают высказывание авторов работы (Hernández-Molina et al., 2010) о преобладании эрозии над аккумуляцией осадков не только в южном, но также в северном секторе Аргентинской контуритовой системы.

Три из четырех изученных колонок: АИ–2609 (рис. 2), АИ–2611 (рис. 4) и АИ–2612 (рис. 5) отобраны с акустически прозрачного поверхностного покрова, интерпретированного авторами как сейсмоакустическая фация гравититов. Три колонки вскрыли под относительно мягкими гравититами, мощностью от 21 см (в колонке АИ–2609) до 328 и 341 см (в колонках АИ–2611 и АИ–2612 соответственно), прочную, почти твердую, поверхность несогласия, вероятно, выражающую эрозионный стратиграфический перерыв. Не исключено, что поверхность несогласия отражает одно и то же событие резкого усиления придонных течений, хотя возраст такого события установить не удастся. По биостратиграфическим данным оно не древнее среднего плейстоцена.

Рыхлые осадки выше поверхности главного несогласия имеют разный вещественный и гранулометрический состав. В короткой колонке АИ–2609 они представлены голоценовым известковым илом, вероятно, локально переотложенным потоком разжиженного осадка. В двух длинных колонках более вероятно осаждение из гравитационных потоков густой суспензии, перемежавшихся стеканием разжиженного ила. Гравититы отличаются изменчивым обилием диатомовых и радиолярий, содержание которых достоверно определить не удалось. В колонке АИ–2611 гравититы более крупнозернистые (преобладают песчаная и крупноалевритовая фракции, мало пелита), чем в АИ–2612 (доминируют мелкоалевритовая и суммарная пелитовая фракции, мало песка и крупного алеврита). По-видимому, подготовка исходного материала для гравитационных потоков выше по склону и конечное осаждение в виде гравититов колонки АИ–2611 шли в более подвижных водах. На подножии склона, где отобрана колонка АИ–2612, в затишных условиях придонных вод, осаждался остаток суспензии, уже в основном освобожденный от материала крупнее 50 мкм.

Базальный слой под поверхностью несогласия сложен хорошо сортированным терригенным алевритистым песком в колонках АИ–2609 (рис. 2) и АИ–2611 (см.

рис. 4), вероятно, контуритового происхождения. В самой глубоководной колонке АИ–2612 он представлен мелкоалевритово-пелитовым гравититом с песчанистыми прослоями и линзами, в том числе микротурбидитными циклитами. Подобные текстуры, по-видимому, образовались в результате пульсирующих гравитационных потоков густой суспензии, в которой оказалась возможной элементарная градиционная сортировка.

Гравититы, образованные слабыми гравитационными потоками суспензии, быстро перерабатываются сильными вдольсклоновыми (контурными) придонными течениями, подвергаются частичной или даже совершенной сортировке и переотлагаются в виде контуритов. Наряду с терригенным материалом, любые попавшие на дно биогенные частицы также вовлекаются в процессы преобразования гравититов в контуриты. Например, скелеты радиолярий концентрируются вместе с терригенными частицами в хорошо сортированный крупноалевритово-песчаный контурит в массе слабо сортированного гравитита колонки АИ-2611. Концентрирование диатомей вместе с мелкоалевритовой фракцией терригенного материала, предполагаемое в гравититах колонки АИ-2612, с умеренным улучшением сортировки, вероятно, происходило в самом гравитационном потоке суспензии.

Авторы статьи (Мурдмаа и др., 2018) объясняют большую роль эрозии на континентальном склоне Патагонии двумя главными обстоятельствами: во-первых, дефицитом поступления терригенного материала (особенно тонкозернистого глинистого) с континента, во-вторых, интенсивностью контурных течений в этой системе. На самом деле, в настоящее время единственная относительно крупная река Десеадо на юге Патагонии разгружается в эстуарии, а остаточная терригенная взвесь, подхваченная сильным Фолклендским (Мальвинским) течением, рассеивается над шельфом и верхним склоном. Сильные придонные контурные течения на разных уровнях континентального склона, в том числе на глубинах отбора изученных колонок, смывают и рассеивают значительную часть терригенного пелита вместе с тонкозернистым биогенным детритом. Таким образом, континентальный склон, а особенно его верхняя часть, служит своеобразным источником тонкозернистого осадочного материала в бюджете придонной взвеси Аргентинской котловины.

Именно из-за малого поступления тонкозернистого терригенного материала террасы южного сектора контуритовой системы покрыты голоценовым поверхностным слоем планктоногенных известковых фораминиферовых илов или смешанных осадков с существенным содержанием биогенной известковой составляющей. В северном секторе подобный поверхностный слой детрито-фораминиферовых илов вскрыт короткими колонками АИ–2609 с террасы Фейлберга (глубина 3526 м) и АИ–2610 с контуритового пластерного дрефта (глубина 3585 м). Судя по двум радиоуглеродным датировкам (табл. 2), известковый слой в колонке АИ–2610 голоценовый. В более глубоководных колонках, АИ–2611 (глубина 3801 м) и АИ–2612 (глубина 4263 м) голоценовый известковый слой отсутствует, а современный поверхностный слой бескарбонатный. В плейстоценовых отложениях нижней части колонки АИ–2611, на глубине 330 см ниже дна, встречен прослой из-

вестковых осадков с разнообразной фауной ПФ и БФ неясного происхождения. Возможно, что он намыт придонным течением, то есть представляет собой контурит.

Присутствие кокколитов отмечено при первичном описании колонок, но не подтверждено специальными исследованиями при большом увеличении микроскопа. Во всяком случае, массового их распространения в изученных осадках нет. Остается неясным, связано ли это со смывом мелких кокколитов придонными течениями или с известным сокращением первичной продукции кокколитофорид при высокой продукции диатомового фитопланктона (Winter et al., 2014).

Отсутствие голоценового известкового слоя на глубинах больше 3800 м, судя по колонкам АИ–2611 и АИ–2612, наводит на мысль о нахождении современной (голоценовой) компенсационной глубины карбоната накопления (КГК) примерно на этой глубине в районе исследования. Однако, в условиях интенсивного переотложения осадков гравитационными потоками и контурными течениями, установление фиксированного положения КГК, как и фораминиферового лизоклина, вряд ли вообще целесообразно.

Содержание заметных количеств биогенного аморфного кремнезема (опала А), представленного кремневыми остатками диатомовых и радиолярий, меньше спикулами кремневых губок, отличает четвертичный осадочный покров северного сектора контуритовой системы от осадков южного сектора.

Результаты анализа видового состава фораминифер (ПФ, БФ) и диатомовых привели к однозначному согласованному выводу, что все четыре колонки вскрыли отложения не древнее средне-позднечетвертичных. Максимальный возраст 380–400 тыс. лет назад оценен по зональной биостратиграфии диатомовых в базальном слое колонки АИ–2611.

В нижних слоях всех колонок встречены редкие переотложенные вымершие плиоценовые виды диатомовых и еще реже – планктонных фораминифер. Такие находки свидетельствуют о наличии подводных обнажений осадков соответствующего возраста на пути контурных течений или гравитационных потоков.

В колонке АИ–2611 отмечено последовательное накопление основного верхнего слоя (до глубины 328 см), что позволяет провести надежную стратификацию разреза. Наблюдается четкая смена относительно холодноводной флоры с доминированием неритической *Thalassiosira gravida*, развитой в нижней части разреза, на умеренно холодноводную субантарктическую флору с обилием разнообразных океанических *Fragillariopsis* в верхней части разреза. Подобные изменения, по-видимому, являются отражением смещения Полярного фронта к югу и ослабления Фолклендского течения над районом станции. Возможно, что здесь мы имеем дело с переходом от последнего оледенения к современному межледниковью. Однако такое предположение требует высоких скоростей послеледникового осадконакопления, и авторы предпочитают гипотезу о более древнем возрасте подобного палеоклиматического события в рамках неоплейстоценовых ледниково-межледниковых циклов. Тем более, что пока неясно, сколько геологического времени было «съедено» предполагаемым эрозионным перерывом в кровле базального слоя колонки

АИ–2611. Как было указано выше, зональная биостратиграфия диатомовых намекает на возраст этого уплотненного слоя, соответствующий МИС–8.

### Заключение

Сейсмофациальный анализ сейсмоакустических профилей высокого разрешения выявил доминирование аккумулятивных и эрозионных процессов латеральной седиментации в северном секторе контуритовой системы континентального склона Патагонии. Как показано в статье (Мурдмаа и др., 2018) и дополнено в настоящей статье, осадочный чехол нижней половины склона (на глубинах 2–5 км) состоит преимущественно из контуритов, намывтых контурными придонными течениями вод антарктического происхождения. В подчиненном количестве встречены гравититы, представленные отложениями гравитационных потоков суспензии и/или разжиженного ила, а также оползнями. Как контуриты, так и гравититы рассечены многочисленными эрозионными поверхностями, которые часто сопровождаются угловыми несогласиями осадочного происхождения (Мурдмаа и др., 2018). Предполагается, что сейсмоакустические сигналы, характеризующие внутреннее строение аккумулятивных тел на глубину до 60 м, могли проникать до низов плиоценовых отложений или даже верхов миоцена. Если так, то выявленные сейсмофации дают представление о процессах осадконакопления в течение большей части последнего (неоген-четвертичного) этапа развития седиментационной системы данного отрезка континентального склона.

В данной статье рассмотрены полученные авторами впервые для северного сектора контуритовой системы сведения о литологии и стратиграфии самых верхних слоев осадочного чехла. Четыре колонки, длиной от 26 см до 404 см, вскрыли разрезы мелкозернистых терригенных гравититов и контуритов с существенным послойным содержанием известкового и кремневого биогенного материала. Гранулометрический состав терригенных и биогенно-терригенных осадков варьирует от крупноалевритистого песка в контуритах и гравититах колонки АИ–2611 до мелкоалевритово-пелитового ила в колонке АИ–2612 с подножия континентального склона. Гранулометрия отражает убывающую с глубиной подвижность придонных вод. Как в гравититах, так и в переслаивающихся с ними контуритах, четко выделяется мелкоалевритовая мода, приблизительно соответствующая сортируемому силту (по McCave et al., 1995). Хотя примененный метод гранулометрического анализа в колонках АИ–2610 и АИ–2612 не позволяет судить о скоростях придонных течений по среднему диаметру частиц сортируемого силта, сам факт наличия четкого пика этой фракции, возможно, свидетельствует о сортировке осадочного материала придонными течениями еще до его окончательной фиксации в осадке. Во всяком случае, умеренную сортировку гравититов можно считать признаком воздействия на них контурных течений. Следовательно, реализуется преобразование эпизодически поступающих (в основном, через каньоны) гравитационных потоков в постепенно накапливающиеся контуриты. В колонке АИ–2611, где мода сдвинута в область песка, сортировка придонными течениями очевидна.

Таким образом, остается в силе ранее сложившееся представление, что главным источником рыхлого осадочного материала для накопления контуритов служат гравитационные потоки разного типа. Пока нет прямых данных о соотношении балансов вещества, снесенного (переотложенного) быстрыми гравитационными потоками высокой плотности и медленным стеканием суспензии тонкозернистого материала как тяжелой жидкости. В случае данного района исследования, мы видим, скорее всего, результаты осаждения слабых потоков густой суспензии и/или разжиженного осадка, в том числе песка, сортированного либо в ходе движения зернового гравитационного потока, либо в контуритовом процессе. Осаждение из «облаков» суспензии пелитовых фракций (придонного нефелоидного слоя) наблюдается только на подножии склона (колонка АИ-2612). Однако и здесь, на дне вдольсклонового контуритового канала, выявлен небольшой контуритовый дрейфт с яркими признаками эрозии (Мурдмаа и др., 2018).

Похоже, что тезис о преобладании эрозии над аккумуляцией (Hernández-Molina et al., 2010) подтверждается и нашими данными. Если так, то гравититово-контуритовая система северного сектора континентального склона Патагонии может считаться источником осадочного (по сути дела осадочно-эдафогенного) тонкозернистого взвешенного материала для Аргентинской котловины в целом.

Биогенные компоненты вписываются в общую систему латеральной (контуритовой и гравититовой) седиментации. Их содержание в осадках контролируется соотношением продукции, разрушения (растворения) в ходе сингенеза и разбавления терригенным материалом. Распространение известковистых (преимущественно ПФ) голоценовых осадков зависит, главным образом, от положения по отношению к КГК, а также от скорости накопления «разбавляющего» терригенного материала.

Полученные авторами первые для рассматриваемого отрезка континентального склона биостратиграфические данные (по фауне фораминифер и флоре диатомовых) однозначно доказывают, что вскрытые колонками разрезы не выходят за пределы средне-позднечетвертичного возраста. Однако присутствие редких неогеновых видов планктонных фораминифер и диатомовых как в контуритах, так и в гравититах, указывает на присутствие обнажений этого возраста на пути эрозирующих дно контурных течений и гравитационных потоков.

Радиоуглеродными датировками, впервые выполненными в районе исследования, доказан голоценовый возраст поверхностного слоя известковистых осадков колонки АИ-2610 с контуритового дрейфта.

Видовой состав как БФ, так и диатомовых, указывает на переходные от субантарктических к субтропическим комплексы микрофауны и микрофлоры. Это согласуется с современными гидрологическими данными о стыке холодного Фолклендского и теплого Бразильского поверхностных течений над континентальной окраиной Патагонии (рис. 1). Тренд увеличения содержания диатомовых в северо-восточном направлении, от колонки АИ-2609 к колонке АИ-2612, вероятно, связан с приближением к зоне высокой биологической продуктивности, выявленной по спутниковым данным распространения хлорофилла. Выявленные колебания

содержания диатомовых в двух северных колонках могут быть обусловлены как изменениями продукции диатомовой микрофлоры (зависящей от вариации интенсивности Фолклендского течения), так и различным «разбавлением» поступающим терригенным материалом.

Во всех колонках доминируют субантарктические виды диатомей, обитающие в данном районе и занесенные с юга Фолклендским течением. В подчиненных количествах встречаются более тепловодные виды, возможно, связанные с теплыми водами Бразильского течения или отходящими от него на юг рингами. Смена более холодноводных комплексов нижней части разрезов на более тепловодные в верхней части колонок АИ–2609 и АИ–2611 указывает на отступление на юг Полярного фронта и ослабление Фолклендского течения. Переходные от субтропических к субантарктическим комплексам ПФ встречены только в двух южных более мелководных колонках, то есть до глубины 3585 м.

Вероятное усиление влияния Фолклендского течения во время одного из неоплейстоценовых оледенений (возможно МИС–8) отразилось на увеличении доли более холодноводных видов в составе ископаемой диатомовой флоры. При этом из-за гляциоэвстатического понижения уровня океана и соответственного приближения береговой линии к точкам отбора колонок возростала относительная роль неритических видов.

Наши данные показывают, что виды БФ, которые традиционно считаются индикаторами САГВ (*Cibicidoides wuellerstorfi*, *Pyrgo williamsoni*, *Oridorsalis sumbonatus*) нередко встречаются на умеренных широтах Южной Атлантики на глубинах 3.5–4.3 км в Циркумполярных Придонных Водах. Поэтому их присутствие в контуритах и гравититах северного сектора Патагонской гравититово-контуритовой системы нельзя считать признаком омывания склона САГВ, оттесненными на восток циркумполярными водами.

Таким образом, две статьи цикла позволяют впервые заглянуть в специфику процессов латеральной седиментации в течение недавней геологической истории в этой своеобразной седиментационной системе, пока хорошо изученной только геофизическими методами и справедливо названной контуритовой.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 18–17–00227), включая датирование образцов в Познаньской лаборатории, литологические, литостратиграфические исследования и изучение комплексов фораминифер (Мурдмаа И.О., Иванова Е.В., Симагин Н.В., Борисов Д.Г., Немченко Н.В.). Изучение комплексов диатомовых и первичная обработка сейсмопрофилей проведены в рамках Госзадания № 0149-2019-0007 (Казарина Г.Х., Росляков А.Г.).

## Литература

- Иванова Е.В., Мурдмаа И.О., Борисов Д.Г., Исаченко С.М., Сейткалиева Э.А., Баширова Л.Д., Блинова Е.В., Ульянова М.О., Липидус Л.В., Фидаев Д.Т. Изучение контуритовых систем южной Атлантики в 46-м рейсе научно-исследовательского судна «Академик Иоффе» // *Океанология*. 2016. Т. 56. № 5. С. 827–829. <https://elibrary.ru/item.asp?doi=10.7868/S0030157416040043>.
- 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.
- Петелин В.П. Гранулометрический анализ донных осадков. М.: Наука, 1967. 128 с.
- Barron J.A. Miocene to Holocene planktic diatoms // Bolli H.M. et al. (Eds.). *Plankton Stratigraphy*. Cambridge: Cambridge Univ. Press, 1985. P. 763–809. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-02330-4\\_55-1](https://doi.org/10.1007/978-3-319-02330-4_55-1).
- Barron J.A., Bukry D., Dea, W., Addison J.A., Finne B. Paleooceanography of the Gulf of Alaska during the past 15,000 years: Results from diatoms, silicoflagellates, and geochemistry // *Marine Micropaleontology*. 2009. Vol. 72. P. 176–195. DOI: 10.1016/j.marmicro.2009.04.006.
- Bé A.W.H., Tolderlund D.S. Distribution and ecology of living planktonic foraminifera in surface waters of the Atlantic and Indian oceans // In: *The micropaleontology of oceans*. London: Cambridge Univ. Press, 1971.
- 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. Vol. 260 (1–2). P. 92–121. DOI: 10.1016/j.palaeo.2007.08.020.
- Harloff J., Mackensen A. Recent benthic foraminiferal associations and ecology of the Scotia Sea and Argentine Basin // *Marine Micropaleontology*. 1997. Vol. 31. Issue 1–2. P. 1–29. DOI: 10.1016/S0377-8398(96)00059-X.
- Harwood D.M., Maruyama T. Middle Eocene to Pleistocene diatom biostratigraphy of Southern Ocean sediments from the Kerguelen Plateau, Leg 120 / In Wise S.W., Schlich R. et al. // *Proc. ODP, Sci. Results. 120: College Station, TX (Ocean Drilling Program) Washington*, 1992. Vol. 120. P. 683–733. DOI: 10.2973/odp.proc.sr.120.160.1992.
- Hernández-Molina F. J., Paterlini C., Somoza L., Violante R., Arecco M., Isasi M., Rebesco M., Uenzelmann-Neben G., Neben S., Marshall P. Giant mounded drifts in the Argentine Continental Margin: Origins, and global implications for the history of thermohaline circulation // *Marine and Petroleum Geology*. 2010. Vol. 27. P. 1508–1530. DOI: 10.1016/j.marpetgeo.2010.04.003.
- Johnson D.A., Tapa E., Thunell R. Late tertiary/Quaternary magnetostratigraphy and biostratigraphy of Vema Channel sediments // *Marine Geology*. 1984. Vol. 58. No. 1/2. P. 89–100. [https://doi.org/10.1016/0025-3227\(84\)90117-8](https://doi.org/10.1016/0025-3227(84)90117-8).
- Jones G.A., Johnson D.A., Curry W.B. High-resolution stratigraphy in late Pleistocene/Holocene sediments of the Vema Channel // *Marine Geology*. 1984. Vol. 58. No. 1/2. P. 59–87.
- Kennett J.P., Srinivasan M.S. Neogene planktonic foraminifera. A phylogenetic atlas. California: Hutchinson Ross, 1983. 265 p.
- Krastel S., Wefer G., Hanebuth T., Antobreh A., Freudenthal T., Preu B., Schwenk T., Strasser, M., Violante R., Winkelmann T. Sediment dynamics and geohazards off Uruguay and the de la Plata River region (northern Argentina and Uruguay) // *Geo-Mar Letters*. 2011. Vol. 31 (4). P. 271–283. DOI: 10.1007/s00367-011-0232-4.
- Lima A.F, Faugères J.C., Mahiques M. The Oligocene–Neogene deep-sea Columbia Channel system in the South Brazilian Basin: Seismic stratigraphy and environmental changes //



- Marine Geology. 2009. Vol. 266. P. 18–41. <https://doi.org/10.1016/j.margeo.2009.07.009>.
- Mackensen A., Fütterer D., Grobe H., Schmiedl G. Benthic foraminiferal assemblages from the eastern South Atlantic Polar Front region between 35° and 57°S: Distribution, ecology and fossilization potential // Marine Micropaleontology. 1993. Vol. 22. P. 33–69. DOI: 10.1016/0377-8398(93)90003-G.
- Malinverno E., Maffioli P., Gariboldi K. Latitudinal distribution of extant fossilizable phytoplankton in the Southern Ocean: Planktonic provinces, hydrographic fronts and palaeoecological perspectives // Marine Micropaleontology. 2016. Vol. 123. P. 41–58. <https://doi.org/10.1016/j.marmicro.2016.01.001>.
- McCave I.N., Manighetti B., Beveridge N.A.S. Circulation in the glacial North-Atlantic inferred from grain-size measurements // Nature. 1995. Vol. 374. No. 6518. P. 149–152. DOI: 10.1038/374149a0.
- Nishi H., Norris R.D., Okada H. Paleooceanographic changes in the dynamics of subtropical Atlantic surface conditions at hole 997A // Proc. Ocean Drill. Program Sci. Results. 2000. Vol. 164. P. 343–363.
- Olguin H.F., Alder V.A. Species composition and biogeography of diatoms in Antarctic and subantarctic (Argentine shelf) waters (37–76°S) // Deep-Sea Res. 2011. Vol. 58 (1–2). P. 139–152. DOI: 10.1016/j.dsr2.2010.09.031.
- Olguin H.F., Alder V.A., Puig A., Boltovskoi D. Latitudinal diversity patterns of diatoms in the Southwestern Atlantic and Antarctic waters // J. Plankton Res. 2015. Vol. 37 (4). P. 1–7. DOI: 10.1093/plankt/fbv042.
- Peterson R.G., Stramma L. Upper-level circulation in the South Atlantic Ocean // Prog. Oceanogr. 1991. Vol. 26. P. 1–73. [https://doi.org/10.1016/0079-6611\(91\)90006-8](https://doi.org/10.1016/0079-6611(91)90006-8).
- Pujol C. Cenozoic planktonic foraminiferal biostratigraphy of the Southwestern Atlantic (Rio Grande Rise) // Deep Sea Drilling Project Leg 72. In: Barker P.F., Carlson R.L., Johnson D.A. et al. (Eds.). Initial Reports of DSDP, Leg 72. Washington: U.S. Government Printing Office, 1983. P. 623–673.
- Rasmussen T.L., Thomsen E., Troelstra S.R., Kuijpers A., Prins M.A. Millennial-scale glacial variability versus Holocene stability: Changes in planktic and benthic foraminifera faunas and ocean circulation in the North Atlantic during the last 60,000 years // Mar. Micropaleontol. 1983. Vol. 47. P. 143–176. DOI: 10.1016/S0377-8398(02)00115-9.
- Reimer P.J., Bard E., Baylis A, et al. Intcal13 and Marine13 Radiocarbon Age Calibration Curves 0–50,000 Years Cal BP // Radiocarbon. Vol. 55. P. 1869–1887.
- Stuiver M., Reimer P.J., Reimer R.W. CALIB 7.1 [WWW program] at <http://calib.org> (accessed 2018-9-27).
- Suto I., Kawamura K., Chiyonobu S. Pliocene and Pleistocene diatom floras and taxonomic notes from the Canterbury Basin (IODP Expedition 317 Hole U1352B), off New Zealand // In Fulthorpe C.S., Hoyanagi K., Blum P. et al. / Proc. IODP. Vol. 317. Tokyo: Integrated Ocean Drilling Program Management International, Inc., 2013. DOI: 10.2204/iodp.proc.317.202.2013.
- Winter A., Henderiks J., Beaufort L., Rickaby R.E.M., Brown C.W. Poleward expansion of the coccolithophore *Emiliana huxleyi* // Journal of Plankton Research. 2014. Vol. 36. P. 316–325. <https://doi.org/10.1093/plankt/fbt110>.
- Zielinski U., Gersonde R. Plio–Pleistocene diatom biostratigraphy from ODP Leg 177, Atlantic sector of the Southern Ocean // Mar. Micropaleontol. 2002. Vol. 45. P. 225–268. [https://doi.org/10.1016/S0377-8398\(02\)00031-2](https://doi.org/10.1016/S0377-8398(02)00031-2).
- Zielinski U., Bianchi C., Gersonde R., Kunz-Pirrung M. Last occurrence datums of the diatoms *Rouxia leventerae* and *R. constricta*—indicators for marine isotope Stages 6 and 8 in Southern Ocean sediments // Mar. Micropaleontol. 2003. Vol. 46. P. 127–137. [https://doi.org/10.1016/S0377-8398\(02\)00042-7](https://doi.org/10.1016/S0377-8398(02)00042-7).

**MIDDLE-UPPER QUATERNARY DEPOSITS OF THE NORTHERN SECTOR  
OF THE PATAGONIAN CONTINENTAL SLOPE CONTOURITE SYSTEM  
(SOUTHWESTERN ATLANTIC)**

**Murdmaa I.O., Ivanova E.V., Kazarina G.H., Simagin N.V., Roslyakov A.G.,  
Borisov D.G., Nemchenko N.V.**

*Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences,  
36 Nahimovskiy prospekt, Moscow, 117997, Russia, e-mail: [murdmaa@mail.ru](mailto:murdmaa@mail.ru)  
Submitted 18.10.2019, accepted 31.03.2020*

Lithological and micropaleontological (planktonic and benthic foraminifers, diatoms) studies in four sediment cores revealed major patterns of lithostratigraphy and biostratigraphy of contourites and gravities in the uppermost sediment layer within the depth range 3500–4300 m of the northern sector of the Patagonian continental slope contourite system. It is ascertained that in conditions of low terrigenous material supply from the land and high, although variable bottom contour current velocities of waters of Antarctic origin, hemipelagic calcareous nanno-foraminiferal ooze deposited in the Holocene over middle-upper Pleistocene contourites in the southern part of the study area (cores AI–2609, AI–2610). The Holocene calcareous surface layer is absent in the northern part of the study area (cores AI–2611, AI–2612). Middle-Upper contourites and gravities are unevenly enriched in diatoms and radiolarians here, up to formation of slightly siliceous-terrigenous diatomaceous mud. Reworked Neogene foraminifers and diatoms evidence for erosion of Neogene deposits bottom currents and gravity flows.

**Key words:** contourites, gravities, lithostratigraphy, granulometry, seismic facies, foraminifers, diatoms, biostratigraphy

**Acknowledgments:** The authors express their gratitude for the funding of the Russian Science Foundation Project No. 18-17-1700227, including dating of samples in the Poznan Laboratory, lithological, lithostratigraphic studies and the study of foraminifera complexes performed by Murdmaa I.O., Ivanova E.V., Simagin N.V., Borisov D.G., and Nemchenko N.V. The study of diatom complexes and primary processing of seismic profiles was carried out in the framework of State assignment No. 0149-2019-0007 by Kazarina G.Kh. and Roslyakov A.G.

### References

- Ivanova E.V., Murdmaa I.O., Borisov D.G., Isachenko S.M., Seitkaliyeva E.A., Bashirova L.D., Blinova E. V., Ul'yanova M.O., Lapidus L. V., and Fidaev D.T.* Investigation of Contourite Systems in the South Atlantic during Cruise 46 of the R/V Akademik Ioffe. *Oceanology*, 2016, Vol. 56, No. 5, pp. 322–324, <https://doi.org/10.1134/S0001437016040044>.
- Barron J.A.* Miocene to Holocene planktic diatoms. In: Bolli H.M. et al. (Eds.). *Plankton Stratigraphy*, Cambridge: Cambridge University Press, 1985, pp. 763–809.
- Barron J.A., Bukry D., Dea W., Addison J.A., and Finne B.* Paleoceanography of the Gulf of Alaska during the past 15,000 years: Results from diatoms, silicoflagellates, and

- geochemistry. *Marine Micropaleontology*, 2009, Vol. 72, pp. 176–195, doi: 10.1016/j.marmicro.2009.04.006.
- Bé A.W.H. and Tolderlund D.S. Distribution and ecology of living planktonic foraminifera in surface waters of the Atlantic and Indian oceans. In: *The micropaleontology of oceans*, London: Cambridge Univ. Press, 1971.
- Cody R.D., Levy R.H., Harwood D.M., and Sadler P.M. Thinking outside the zone: high-resolution quantitative diatom biochronology for the Antarctic Neogene. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 2008, Vol. 260 (1–2), pp. 92–121, doi: 10.1016/j.palaeo.2007.08.020.
- Harloff J. and Mackensen A. Recent benthic foraminiferal associations and ecology of the Scotia Sea and Argentine Basin. *Marine Micropaleontology*, 1997, Vol. 31, Issue 1–2, pp. 1–29, doi: 10.1016/S0377-8398(96)00059-X.
- Harwood D.M. and Maruyama T. Middle Eocene to Pleistocene diatom biostratigraphy of Southern Ocean sediments from the Kerguelen Plateau, Leg 120 In Wise, S.W., Jr., Schlich, R., et al., Proc. ODP, Sci. Results, College Station, TX (Ocean Drilling Program), Washington, 1992, Vol. 120, pp. 683–733, doi: 10.2973/odp.proc.sr.120.160.1992.
- Hernández-Molina F.J., Paterlini C., Somoza L., Violante R., Arecco M., Isasi M., Rebesco M., Uenzelmann-Neben G., Neben S., and Marshall P. Giant mounded drifts in the Argentine Continental Margin: Origins, and global implications for the history of thermohaline circulation. *Marine and Petroleum Geology*, 2010, Vol. 27, pp. 1508–1530, doi: 10.1016/j.marpetgeo.2010.04.003.
- Johnson D.A., Tappa E., and Thunell R. Late tertiary/Quaternary magnetostratigraphy and biostratigraphy of Vema Channel sediments. *Marine Geology*, 1984, Vol. 58, No. 1/2, pp. 89–100, [https://doi.org/10.1016/0025-3227\(84\)90117-8](https://doi.org/10.1016/0025-3227(84)90117-8).
- Jones G.A., Johnson D.A., and Curry W.B. High-resolution stratigraphy in late Pleistocene/Holocene sediments of the Vema Channel. *Marine Geology*, 1984, Vol. 58, No. 1/2, pp. 59–87.
- Kennett J.P. and Srinivasan M.S. Neogene planktonic foraminifera. A phylogenetic atlas, California: Hutchinson Ross, 1983, 265 p.
- Krastel S., Wefer G., Hanebuth T., Antobreh A., Freudenthal T., Preu B., Schwenk T., Strasser M., Violante R., and Winkelmann T. Sediment dynamics and geohazards off Uruguay and the de la Plata River region (northern Argentina and Uruguay). *Geo-Mar Letters*, 2011, Vol. 31(4), pp. 271–283, doi: 10.1007/s00367-011-0232-4.
- Lima A.F., Faugères J.C., and Mahiques M. The Oligocene–Neogene deep-sea Columbia Channel system in the South Brazilian Basin: Seismic stratigraphy and environmental changes. *Marine Geology*, 2009, Vol. 266, pp. 18–41, <https://doi.org/10.1016/j.margeo.2009.07.009>.
- Mackensen A., Fütterer D., Grobe H., and Schmiedl G. Benthic foraminiferal assemblages from the eastern South Atlantic Polar Front region between 35° and 57°S: Distribution, ecology and fossilization potential. *Marine Micropaleontology*, 1993, Vol. 22, pp. 33–69, doi: 10.1016/0377-8398(93)90003-G.
- Malinverno E., Maffioli P., and Gariboldi K. Latitudinal distribution of extant fossilizable phytoplankton in the Southern Ocean: Planktonic provinces, hydrographic fronts and palaeoecological perspectives. *Marine Micropaleontology*, 2016, Vol. 123, pp. 41–58, <https://doi.org/10.1016/j.marmicro.2016.01.001>.
- McCave I.N., Manighetti B., and Beveridge N.A.S. Circulation in the glacial North-Atlantic inferred from grain-size measurements. *Nature*, 1995, Vol. 374, No. 6518, pp. 149–152, doi: 10.1038/374149a0.
- Murdmaa I.O., Roslyakov A.G., and Borisov D.G. Erosion-depositional processes in the

- northern part of the contourite system on the Patagonian continental slope, 2018, Vol. 46, No. 3, pp. 193–213, [https://doi.org/10.29006/1564-2291.JOR-2018.46\(3\).12](https://doi.org/10.29006/1564-2291.JOR-2018.46(3).12).
- Nishi H., Norris R.D., and Okada H. Paleoceanographic changes in the dynamics of subtropical Atlantic surface conditions at hole 997A. *Proc. Ocean Drill. Program Sci. Results*, 2000, Vol. 164, pp. 343–363.
- Olguin H.F. and Alder V.A. Species composition and biogeography of diatoms in Antarctic and subantarctic (Argentine shelf) waters (37–76°S). *Deep-Sea Res.*, 2011, Vol. 58 (1–2), pp. 139–152, doi: 10.1016/j.dsr2.2010.09.031.
- Olguin H.F., Alder V.A., Puig A., and Boltovskoi D. Latitudinal diversity patterns of diatoms in the Southwestern Atlantic and Antarctic waters. *J. Plankton Res.*, 2015, Vol. 37 (4), pp. 1–7, doi: 10.1093/plankt/fbv042.
- Peterson R.G. and Stramma L. Upper-level circulation in the South Atlantic Ocean. *Prog. Oceanogr.*, 1991, Vol. 26, pp. 1–73, [https://doi.org/10.1016/0079-6611\(91\)90006-8](https://doi.org/10.1016/0079-6611(91)90006-8).
- Petelin V.P. Granulometricheskii analiz donnykh osadkov (Granulometric analysis of the bottom sediments). Moscow: Nauka, 1967, 128 p.
- Pujol C. Cenozoic planktonic foraminiferal biostratigraphy of the Southwestern Atlantic (Rio Grande Rise). Deep Sea Drilling Project Leg 72. In: Barker P.F., Carlson R.L., Johnson D.A. et al. (Eds.). Initial Reports of DSDP, Leg 72. Washington: U.S. Government Printing Office, 1983, pp. 623–673.
- Rasmussen T.L., Thomsen E., Troelstra S.R., Kuijpers A., and Prins M.A. Millennial-scale glacial variability versus Holocene stability: Changes in planktic and benthic foraminifera faunas and ocean circulation in the North Atlantic during the last 60,000 years. *Mar. Micropaleontol.*, 1983, Vol. 47, pp. 143–176, doi: 10.1016/S0377-8398(02)00115-9.
- Reimer P.J., Bard E., Baylis A., et al. Intcal13 and Marine13 Radiocarbon Age Calibration Curves 0–50,000 Years Cal BP. *Radiocarbon*, 2013, Vol. 55 (4), pp. 1869–1887, [https://doi.org/10.2458/azu\\_js\\_rc.55.16947](https://doi.org/10.2458/azu_js_rc.55.16947).
- Stuiver M., Reimer P.J., and Reimer R.W. CALIB 7.1 [WWW program] at <http://calib.org>, (Last accessed 2018-9-27).
- Suto I., Kawamura K., and Chiyonobu S. Pliocene and Pleistocene diatom floras and taxonomic notes from the Canterbury Basin (IODP Expedition 317 Hole U1352B), off New Zealand. In Fulthorpe C.S., Hoyanagi K., Blum P. et al. Proc. IODP, 317. Tokyo: Integrated Ocean Drilling Program Management International, Inc., 2013, doi: 10.2204/iodp.proc.317.202.2013.
- Winter A., Henderiks J., Beaufort L., Rickaby R.E.M., and Brown C.W. Poleward expansion of the coccolithophore *Emiliania huxleyi*. *Journal of Plankton Research*, 2014, Vol. 36, Iss. 2, pp. 316–325, <https://doi.org/10.1093/plankt/fbt110>.
- Zielinski U. and Gersonde R. Plio–Pleistocene diatom biostratigraphy from ODP Leg 177, Atlantic sector of the Southern Ocean. *Mar. Micropaleontol.*, 2002, Vol. 45, pp. 225–268, [https://doi.org/10.1016/S0377-8398\(02\)00031-2](https://doi.org/10.1016/S0377-8398(02)00031-2).
- Zielinski U., Bianchi C., Gersonde R., and Kunz-Pirrung M. Last occurrence datums of the diatoms *Rouxialeventerae* and *R. constricta*—indicators for marine isotope Stages 6 and 8 in Southern Ocean sediments. *Mar. Micropaleontol.*, 2003, Vol. 46, pp. 127–137, [https://doi.org/10.1016/S0377-8398\(02\)00042-7](https://doi.org/10.1016/S0377-8398(02)00042-7).