

УДК 551.352

ФАЦИИ ПОДВОДНЫХ КАНЬОНОВ КОНТИНЕНТАЛЬНОГО СКЛОНА АРГЕНТИНСКОЙ ПАТАГОНИИ (ЮЗ АТЛАНТИКА)

© 2022 г. И. О. Мурдмаа^а, *, Д. Г. Борисов^а, **, Е. В. Иванова^а, ***, М. А. Зенина^а, ****, Н. Г. Симагин^а, ***** , Ф. С. Щепелев^а, *****

^аИнститут океанологии им. П.П. Ширшова РАН,
Нахимовский просп., 36, Москва, 117997 Россия

*e-mail: murdmaa@mail.ru

**e-mail: dborisov@ocean.ru

***e-mail: e_v_ivanova@ocean.ru

****e-mail: maria_zenina@mail.ru

*****e-mail: morskoylitolog@gmail.com

*****e-mail: shch_fed@mail.ru

Поступила в редакцию 02.04.2022 г.

После доработки 14.04.2022 г.

Принята к публикации 29.04.2022 г.

Изучение литологии современных осадков, содержащихся в них планктонных фораминифер и макробентоса, в поперечных сечениях четырех подводных каньонов северного сектора гравититово-контуритовой системы Аргентинской Патагонии выявило значительно более сложную фациальную изменчивость внутри каньонов, чем на террасе Перито Морено между ними. Фациальная изменчивость в каньонах контролируется сочетанием вдольсклоновых контурных течений и гравитационных потоков вниз по каньонам. В двух южных каньонах выделяются русловые фации терригенных песков с высоким содержанием глауконита, разделяющих фации бортов с повышенным содержанием раковин фораминифер. В двух северных каньонах встречены фации смешанных осадков с повышенным содержанием фракций <0.1 мм, аналоги которых отсутствуют на окружающей террасе. Предполагается их осаждение из гравитационных потоков густой суспензии вниз по каньонам, в условиях слабого движения придонных вод. Во всех каньонах и в окружающих их участках террасы Перито Морено на обломках пород в основном айсбергового или морского ледового разноса обитает прикрепленная фауна макробентоса с известковыми скелетными элементами, преимущественно кораллов.

Ключевые слова: дочерпатель, типы осадков, гранулометрия, терригенный материал, кварц, глауконит, раковины фораминифер, макробентос, контурит, гравитит, ледовый разнос, фациальная изменчивость.

DOI: 10.31857/S0024497X22050068

Подводные каньоны континентального склона океанов и глубоководных морей рассматриваются с момента их открытия в первой половине XX века как главные пути транспорта мелководных осадков на большие глубины, вплоть до абиссальных [Lonardi, Ewing, 1971; Hernández-Molina et al., 2010; Lastras et al., 2011]. Каньоны, расположенные на пассивной окраине континента (в данном случае – восточной части Южной Америки), образуются и развиваются в зависимости от эвстатических колебаний уровня океана [Harris, Whiteway, 2011]. Изученные нами каньоны Патагонской системы начинаются на континентальном склоне и не имеют связи с речными выносами, что является их характерной особенностью.

Аргентинская контуритовая система, выделенная в работе [Hernández-Molina et al., 2010], разделена авторами этой работы на южный (террасовый) и северный (каньонный) сегменты по преобладанию эрозионных террас и подводных каньонов в общем геоморфологическом облике континентальной окраины. В работе [Мурдмаа и др., 2018] ограниченная часть северного сегмента этой гравититово-контуритовой системы, охватывающая только континентальный склон к северу от 46° ю.ш., названа северным сектором Патагонской системы (рис. 1, табл. 1). Причины сосредоточения каньонов в северном сегменте системы до сих пор не обсуждались. Вероятно, это связано с большей средней крутизной континентального склона на севере и выклиниванием

террас южного сегмента, которые тормозят процессы формирования каньонов.

Гравититы, вынесенные с верхней части континентального склона Аргентины по системам каньонов и служащие одним из главных источников терригенного (кварц, слюда, полевые шпаты, обломки пород), а также биогенного (известкового, кремнистого) и аутигенного (глауконит) материала для накопления контуритов, кратко описаны в ряде работ [Мурдмаа и др., 2018, 2020; Isola et al., 2021]. Данные по составу осадков в исследованном районе очень скудны — опубликованы лишь подводные фотографии как дна каньонов, так и поверхности склонов между ними [Lastras et al., 2011; Lonardi, Ewing, 1971]. Подводные фотографии подтверждают действие мощных потоков на всей поверхности северного сегмента Патагонского континентального склона. На дне каньонов наблюдаются ярко выраженные крупные знаки ряби, вероятно, созданные быстрыми гравитационными потоками суспензии, а на поверхности склона между каньонами — более мелкие, скорее всего генерированные вдольсклоновыми контурными течениями.

Литолого-фациальные характеристики осадков на дне каньонов до наших работ не были изучены. Цель настоящей статьи — описать полученные дночерпательные пробы поверхностного слоя осадков в поперечных сечениях четырех каньонов, выявить их связь с конкретными обстановками осадконакопления и дать на этой основе фациально-генетическую характеристику современного осадочного процесса в каньонах Патагонской гравитационно-контуритовой системы.

ГЕОМОРФОЛОГИЯ И ГИДРОЛОГИЯ РАЙОНА ИССЛЕДОВАНИЯ

Рассматриваемый в данной работе сегмент континентального склона Аргентинской Патагонии включает в себя часть континентального шельфа с хорошо выраженным перегибом (бровкой) на глубине 140–150 м; верхний континентальный склон с уклоном 2° до глубины 500–750 м, шириной 10 км в северной и 55 км в южной части, и средний континентальный склон до глубины по крайней мере 1600 м с уклоном $<1^\circ$ [Lastras et al., 2011]. Ширина верхней террасы Нагера, расположенной на глубинах ~500–1000 м, увеличивается к югу до 70 км. Терраса Перито Морено на глубинах 1100–1450 м расширяется к северу от 20 до 50 км, ниже по склону на глубине около 1500–2500 м располагается третья терраса Пьедра Буэна [Hernández-Molina et al., 2010; Lastras et al., 2011; Muñoz et al., 2013].

Континентальный склон рассечен сетью каньонов длиной 86–120 км, истоки которых находятся на подошве крутой верхней части конти-

нентального склона. Разгрузка происходит, по всей вероятности, на террасе Пьедра Буэна. В руслах каньонов наблюдаются прямые и меандрирующие участки с резкими изгибами вокруг локальных возвышенностей.

Поверхностные, промежуточные и глубинные воды в районе исследования имеют антарктическое происхождение и движутся в генеральном направлении на север вблизи континентального склона. Поверхностная циркуляция контролируется геострофическим Мальвинским/Фолклендским течением, которое к северу от района исследований (на 35° – 45° ю.ш.) сталкивается с теплым Бразильским течением [Piola, Matano, 2001]. Интервалы глубин, соответствующие промежуточным и глубинным водам в районе исследования, заняты Антарктической промежуточной водой (ААПВ), Верхней (ВЦПВ) и Нижней Циркумполярной водой (НЦПВ) [Reid, 1989, 1996]. Условные границы между указанными водами совпадают с изолиниями нейтральной плотности $\theta = 27.6, 27.9, 28.11$ кг/м³ [Morozov et al., 2010] и прослеживаются на глубинах ~800, 1500 и 2500 м соответственно. Террасу Перито Морено, в пределах которой расположены все рассматриваемые сечения каньонов, омывает ВЦПВ.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В 53-м рейсе НИС “Академик Иоффе” (АИ) и в 79-м рейсе НИС “Академик Мстислав Келдыш” (АМК) были отобраны пробы осадков дночерпателем “Океан-0.25” с площадью захвата 0.25 м² на поперечных пересечениях через четыре каньона всего на 26 станциях (см. табл. 1, рис. 1, [Иванова и др., 2018, 2020]), привязанных к прерывистым батиметрическим профилям. Нумерация каньонов в данной статье дается по [Lastras et al., 2011] с юга на север: #1, #2, #3А и 3В, #4.

Батиметрический и сейсмоакустический профиль на поперечных профилях через каньоны производился с помощью высокоразрешающего сейсмопрофилографа SES-2000 deep. Из-за крутизны уклонов и мелкой расчлененности дна на них удалось получить только небольшие фрагменты сейсмоакустической записи, которые свидетельствуют о наличии в каньонах осадочных тел мощностью не менее 40 м. По этим же причинам не удалось получить надежных батиметрических профилей между точками отбора дночерпателей. Глубины относительно точно определены только во время стоянки судна на станциях (см. табл. 1).

На борту судна производилось визуальное описание и фотографирование вырезок из дночерпателей, обломков пород, размера гальки, представителей донной макрофауны. Изготавливались смер-слайды (мазки) из натурального осадка, которые изучались под поляризационным мик-

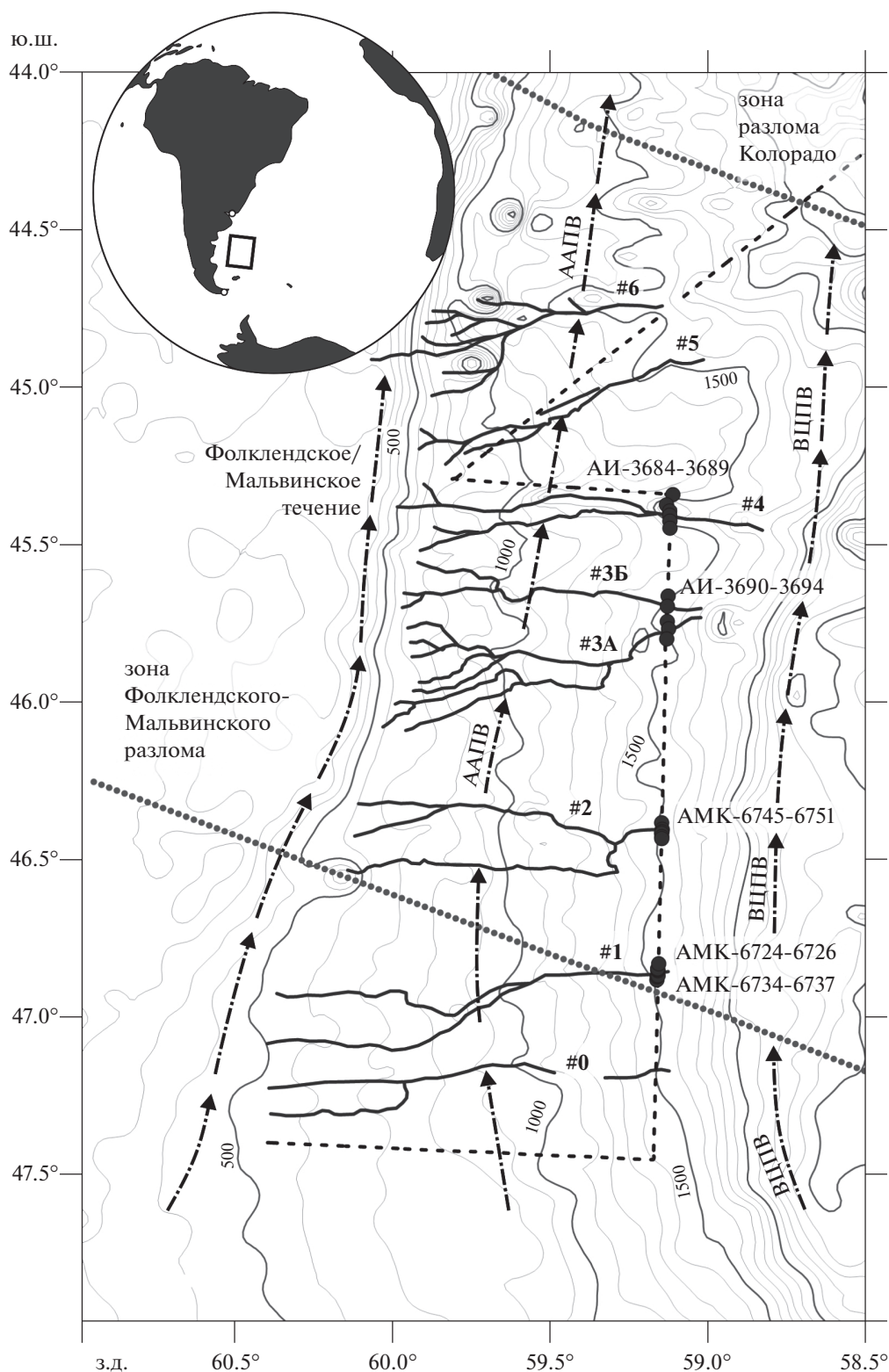


Рис. 1. Схематическая карта Северного (Каньонного) сегмента Патагонской контуритовой системы (по [Muñoz et al., 2012] с изменениями).

Показаны 7 каньонов с притоками (#0–#6, по [Lastras et al., 2011]), в 4 из которых выполнены поперечные сечения сериями дночерпательных проб в рейсах 53 НИС “Академик Иоффе” (АИ) и 79 НИС “Академик Метислав Келдыш” (АМК). Указаны номера станций с дночерпателями. Стрелками показаны схематические направления придонных вдольсклоновых (контурных) течений. Пунктиры – зоны разломов. Штрих-пунктир – сейсмоакустические (АИ) и батиметрические (АМК) профили, полученные в тех же экспедициях. На врезке – положение района работ.

Таблица 1. Координаты и глубина станций отбора дночерпательных проб

	№ станции	ю.ш.	з.д.	Глубина, м
Каньон #1	АМК-6724	46°49.838′	59°09.37′	1527
	АМК-6725	46°50.870′	59°09.591′	1539
	АМК-6737	46°51.182′	59°09.531′	1609
	АМК-6726	46°51.762′	58°07.30′	1739
	АМК-6736	46°52.154′	59.09.472′	1681
	АМК-6734	46°52.154′	59°09.772′	1495.6
Каньон #2	АМК-6751	46°23.043′	59°08.826′	1500
	АМК-6750	46°24.295′	59°08.722′	1565
	АМК-6749	46°24.685′	59°08.727′	1816
	АМК-6748	46°25.040′	59°08.820′	1702
	АМК-6746	46°25.485′	59°08.800′	1642
	АМК-6747	46°25.682′	59°08.798′	1527
	АМК-6745	46°25.057′	59°08.767′	1498
Каньон #3	АИ-3690	45°47.98′	59°07.81′	1500
	АИ-3691	45°46.04′	59°07.48′	1972
	АИ-3692	45°44.67′	59°07.75′	1511
	АИ-3693	45°41.74′	59°07.70′	1680
	АИ-3694	45°39.82′	59°07.62′	1470
Каньон #4	АИ-3684	45°20.50′	59°06.70′	1368
	АИ-3685	45°22.52′	59°07.90′	1387
	АИ-3686	45°23.59′	59°07.23′	1675
	АИ-3687	45°24.45′	59°07.26′	2000
	АИ-3688	45°25.46′	59°07.28′	1852
	АИ-3689	45°26.84′	59°07.23′	1400

роскопом. Была выделена песчаная фракция (>0.1 мм), которая затем изучена под бинокулярным микроскопом для определения видового состава фораминиферовой микрофауны и состава минеральных компонентов.

Образцы из каньонов, которые содержали большое количество частиц гравия и более крупнозернистого материала, представленного обломками макробентоса или эрратическими обломками пород, просеивались через сито с диаметром ячейки 2 мм. Эти образцы были изучены макроскопически и под бинокулярным микроскопом. Гранулометрический состав песчаной фракции (>0.1 мм) определялся методом ситового анализа (сухим просеиванием через сита 0.5 и 2 мм). В лабораторных условиях проведен подсчет не менее 300 зерен песчаной фракции (>0.1 мм)

каждого образца для выявления соотношения основных осадкообразующих компонентов. Были идентифицированы: кварц, глауконит, раковины планктонных и бентосных фораминифер (ПФ и БФ). Идентификация глауконита подтверждена рентгено-дифракционным методом. Для определения источников грубообломочного материала предположительно ледового разноса изучены петрографические шлифы, изготовленные из встреченных в дночерпательных пробах обломков пород.

Для 4 образцов в Познаньской радиоуглеродной лаборатории выполнено масс-спектрометрическое радиоуглеродное датирование по комплексу раковин ПФ (табл. 2).

Сотрудниками Лаборатории донной фауны океана ИО РАН выполнены определения пред-

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

Номер станции	Лабораторный код	Радиоуглеродный возраст, лет назад
АИ-3686 (средняя проба)	Poz-127 812	1550 ± 30 BP
АИ-3689 (средняя проба)	Poz-128 108	3555 ± 35 BP
АИ-3690 (средняя проба)	Poz-128 109	3160 ± 30 BP
АИ-3691 (средняя проба)	Poz-127 811	3655 ± 30 BP

ставителей живой бентосной фауны для характеристики фаций в районе исследования.

МОРФОЛОГИЯ ПОПЕРЕЧНЫХ СЕЧЕНИЙ КАНЬОНОВ

Исследуемые в данной статье поперечные сечения каньонов #1–#4 врезаны в поверхность террасы Перито Морено на глубине 1480–1550 м. Для удобства сравнения все профили поперечного сечения построены в одинаковом вертикальном и горизонтальном масштабах (рис. 2–5).

В целом все изученные каньоны имеют V-образную форму с острым дном кроме двух ветвей каньона #3, рельеф которых реконструирован по фрагментам записи сейсмопрофилографа, как полого вогнутый (см. рис. 4). Профиль каньона #1 наиболее симметричен (см. рис. 2), а профили каньонов #2 (см. рис. 3) и #4 (см. рис. 5) отчетливо асимметричны, с крутыми северными (левыми) и более пологими ступенчатыми южными (правыми) бортами.

Поперечный профиль слабомеандрирующего каньона #1, шириной 4.5 км в верхней части сечения и максимальной относительной глубиной 420 м имеет углы наклона бортов около 7°–8° (см. рис. 2). На северном борту, в нижней части наблюдается уступ с уклоном в сторону оси каньона около 10°–11°.

Каньон #2 состоит из двух ветвей и довольно сильно меандрирует в верхней части. Его ветви делают резкий поворот на границе между террасами Нагера и Перито Морено. Поперечный профиль каньона в районе исследования имеет ширину 3.6–3.8 км и относительную глубину 300–330 м (см. рис. 3). На южном борту наблюдаются 2 крутых уступа. Первый уступ с уклоном 55°–60° выявлен на глубине 1790–1700 м. Выше борт каньона выполаживается до 5°, а в интервале глубин 1600–1580 м прослеживается второй уступ с уклоном 52°–57°.

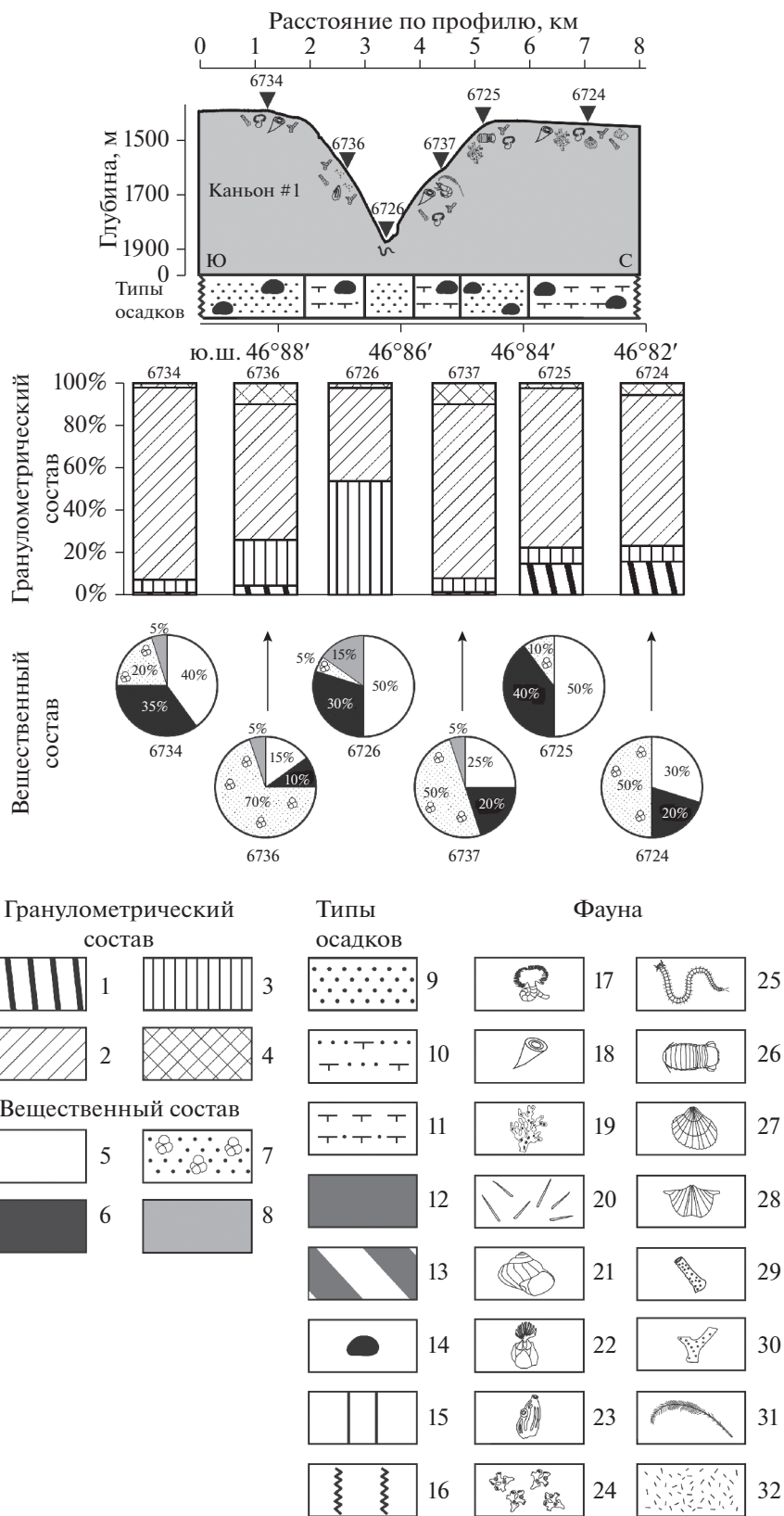
Система каньона #3 с многочисленными ответвлениями на среднем склоне является самой

сложной, она имеет до 13 ответвлений. Изученное поперечное сечение представлено двумя основными каньонами – #3А и #3В. Каньон #3А довольно сильно меандрирует от нижней части верхнего склона до глубин 1500–1600 м. Русло каньона #3В в верхней части среднего склона представлено протяженными прямыми участками и на глубинах 900–1100 м ось каньона резко изгибается [Lastras et al., 2011]. Максимальная относительная глубина каньона 400 м. Руслу #3А и #3В имеют полого-вогнутый профиль и разделены между собой валом с крутым (около 14°) северным уступом (см. рис. 4). Средняя крутизна обоих бортов каньона составляет 9°.

Каньон #4 является наиболее врезанным из всех (до 1500 м) и, хотя края каньона в основном прямые, его ось демонстрирует выраженные меандровые изгибы. Каньон и все его ответвления начинаются на границе между верхним и средним склонами, на глубине от 530 до 730 м. Поперечное сечение каньона #4 на батиметрическом профиле располагается на глубине 1350–1400 м. Оно имеет самую большую относительную глубину >730 м и ширину между бровками бортов около 8.5 км (см. рис. 5). Рельеф асимметричных бортов каньона осложнен наличием нескольких уступов. Уклон более крутого северного борта составляет в среднем 17°, а южного пологого – 1–8°. Максимальный уклон достигается ближе к бровке южного борта, а на глубине 1850 м наблюдается его выполаживание до 0.1°–1° на протяжении 2 км.

ЛИТОЛОГИЯ СОВРЕМЕННЫХ ОСАДКОВ КАНЬОНОВ

При первичном описании на борту судна в некоторых дночерпателях удалось выделить поверхностный слой, который резко отличается от исследованного нами основного (подповерхностного) осадка. Поверхностный псевдослой чаще прерывистый, представлен рассеянной галькой или даже малыми глыбами (более 10 см) разнообразных осадочных, метаморфических и вулканических пород и фауной макробентоса (в том числе



живого). Обломки пород от гравия до гальки и крупнее, а также остатки макробентоса встречаются также внутри песка.

Поскольку исследования гранулометрического состава средней пробы подповерхностного осадка происходило с помощью редкого набора сит (с ячейей 0.5 и 2 мм), а состав фракции >0.1 мм определен полуколичественным методом подсчета 300 зерен, мы использовали для выделения типов осадков грубый метод квартилей. Он ограничивает выделение 25%, 50%, 75% содержания основных осадкообразующих компонентов, а содержания меньше 25% считаются примесями и не учитываются при классификации. Фактически в наборе дночерпательных проб присутствуют следующие гранулометрические типы (см. рис. 2, легенда).

- Мелко-среднезернистые пески (>75% фракции 0.1–0.5 мм).
- Разнозернистые пески (50–75% фракции 0.1–0.5 мм, 25–50% фракции 0.5–2 мм).
- Пелитисто-алевритистые мелко-среднезернистые пески (50–75% фракции 0.1–0.5 мм, 25–50% фракции <0.1 мм).
- Песчаные пелитово-алевритовые илы (50–75% фракции <0.1 мм, 25–50% фракции мелко-среднезернистого песка 0.1–0.5 мм).

Состав песчаной фракции осадков определяются соотношением двух главных компонентов: терригенного (условно включая глауконит) и биогенного (планктонные фораминиферы) материала по количеству зерен во фракции >0.1 мм.

- Терригенные (более 75% терригенного материала).
- Фораминиферово-терригенные (50–75% терригенного материала).
- Терригенно-фораминиферовые (50–75% раковин фораминифер).

Каньон #1. С обеих сторон каньона поверхность континентального склона (терраса Перито Морено) покрыта мелко-среднезернистым песком, с примесью гравия с северной стороны, однако состав песка у южного и северного бортов каньона различается. У южного борта (АМК-6734, см. рис. 2) песок терригенный, со значительной примесью фораминифер (20%), обогащенный

глауконитом. У северного борта (АМК-6724) песок терригенно-фораминиферовый (раковин фораминифер 50%). На поверхности осадка на станции АМК-6734 фрагменты горных пород и мелкий гравий представлены кварцем, базальтами, кислыми эффузивами. В поверхностном псевдослое в дночерпателе АМК-6724 встречена крупная галька размером до 10 см с прикрепленными остатками макробентоса (рис. 6). Преобладают базальты, присутствуют известняки, в единичных случаях – кислые эффузивы и песчаники.

На южном борту каньона #1 (АМК-6736) встречен мелко-среднезернистый терригенно-фораминиферовый песок со значительной примесью крупнозернистого песка, с заметной примесью материала фракции <0.1 мм и с высоким содержанием фораминифер (70%). На поверхности небольшие валуны базальтов, спекшихся подушечных лав. В составе небольшой примеси гравия базальты, песчаники, алевролиты, кислые эффузивы.

На дне каньона #1 (АМК-6726) залегает более грубый разнозернистый терригенный песок с высоким содержанием глауконита (30%). Преобладает крупнозернистый песок, но гравий отсутствует. Содержание раковин фораминифер очень низкое (5%). Много “прочих” компонентов (15%), в том числе аксессуарных тяжелых минералов. Поверхностный псевдослой здесь не выделяется. Отмечены полихеты.

В верхней части северного борта каньона (АИ-6737) встречены мелко-среднезернистые терригенно-фораминиферовые пески (содержание раковин фораминифер 50%), на поверхности – галька и гравий. В составе гальки преобладают базальты, много обломков кислых эффузивов. Присутствуют остатки макробентоса.

Выше, у бровки северного борта (АМК-6725), отмечены терригенные мелко-среднезернистые пески с очень высоким содержанием глауконита (40%). На поверхности – галька размером от 1 до 10 см и гравий, в основном базальты и песчаники. Наблюдаются прикрепленные к обломкам пород остатки макробентоса.

Таким образом, в верхних частях обоих бортов, почти на одинаковой глубине, выделяются фациальные зоны терригенно-фораминиферо-

←
Рис. 2. Профиль каньона #1 с данными о литологии современных осадков.

1–4 – гранулометрия (фракции) по ситовому анализу: 1 – >2 мм, 2 – 2–0.5 мм, 3 – 0.5–0.1 мм, 4 – <0.1 мм; 5–8 – вещественный состав (компоненты в %): 5 – кварц, 6 – глауконит, 7 – раковины планктонных фораминифер, 8 – прочее; 9–16 – типы осадков: 9 – терригенные (<25% раковин фораминифер), 10 – фораминиферово-терригенные (25–50% раковин фораминифер), 11 – терригенно-фораминиферовые (раковин фораминифер 50–75%), 12 – песчаные пелитово-алевритовые (>50% фракции <0.1 мм неизвестного состава, показано соотношение раковин фораминифер и терригенного материала в песке), 14 – галька и щебень (обломки пород), 15 – границы между типами осадков, 16 – условные границы; 17–32 – макробентос: 17 – серпулиды, 18 – склерактинии, 19 – колониальные кораллы, 20 – иглы морских ежей, 21 – гастроподы, 22 – балянусы, 23 – асцидии, 24 – обломки кораллов, 25 – полихеты, 26 – изоподы, 27 – двусторчатые моллюски, 28 – брахиоподы, 29 – губки, 30 – мшанки, 31 – гидроиды, 32 – прочее.

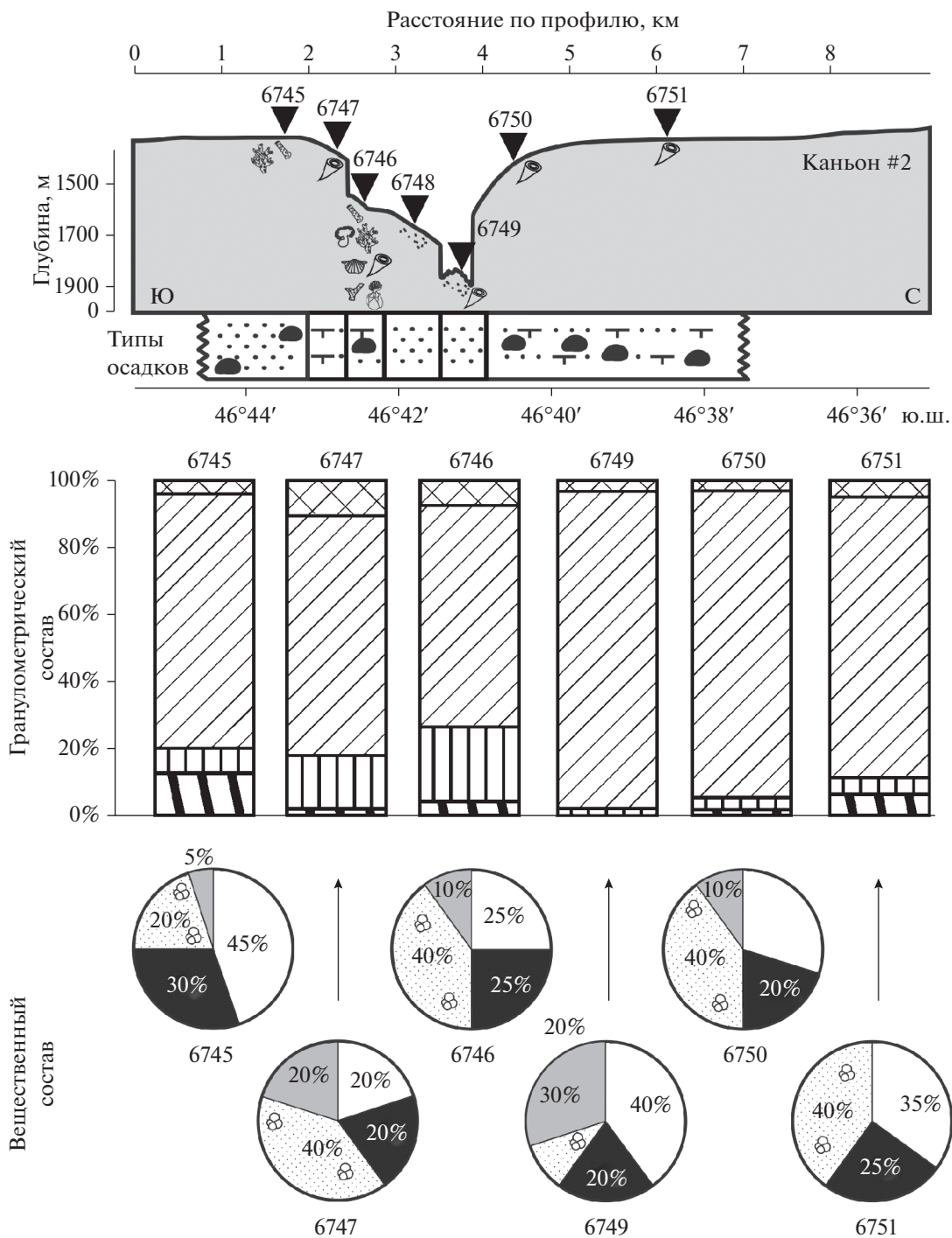


Рис. 3. Профиль каньона #2 с данными о литологии современных осадков. Условные обозначения см. рис. 2.

вых песков. На южном борту каньона в этой зоне содержание фораминифер значительно выше (70%), чем на соседней поверхности террасы, а на северном борту – практически одинаковое с осадками террасы. Между этими фораминиферовыми фаціальными зонами, на дне каньона выделяется

относительно грубозернистая русловая фація, представленная терригенными песками с малой примесью фораминифер. Поверхностный псевдослой здесь практически не идентифицируется в отличие от всех остальных дночерпательных проб. Сходная фація терригенных песков, но с

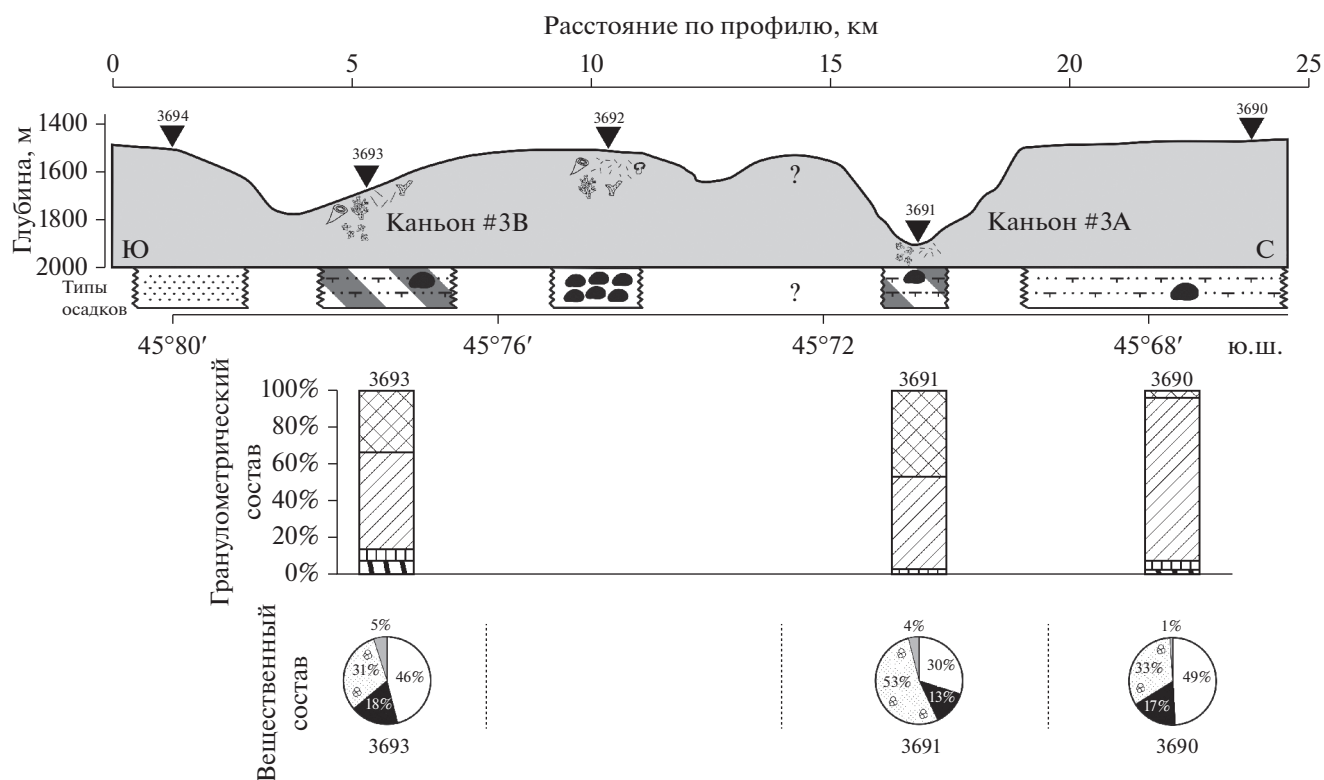


Рис. 4. Профиль каньона #3 с данными о литологии современных осадков. Условные обозначения см. рис. 2. Пробелы обозначают отсутствие данных.

хорошо развитым поверхностным псевдослоем, выделяется у бровки северного борта. О том, существует ли аналогичная фация у бровки южного борта, данных нет.

Каньон #2. Гранулометрический состав всех проанализированных дночерпательных проб довольно однообразен. Это мелко-среднезернистые пески, в двух пробах со ступени южного борта — с существенной примесью крупнозернистого песка (АМК-6746, АМК-6747, см. рис. 3). В последних двух пробах отмечается несколько повышенное содержание фракции <0.1 мм. В двух пробах с континентального склона, соседнего с каньоном (АМК-6745, АМК-6751, см. рис. 3), отмечена заметная примесь гравия.

В вещественном составе песчаной фракции (>0.1 мм), доминирующей во всех пробах, преобладает терригенный материал (кварц и глауконит). На максимальной глубине вреза каньона получена проба русловой фации, в которой около 90% терригенного материала, включая 30% отнесенных к “другим” компонентам (АМК-6749, см. рис. 3). Содержание раковин фораминифер в пробах составляет 40%, кроме двух: АМК-6749 (русловая фация) и АМК-6745 (терраса к югу от каньона), где раковин фораминифер соответственно 10% и 20% (см. рис. 3). Фораминиферы, вероятно, отсутствуют в пробе разнозернистого

песка АМК-6748 с южного борта, в ней встречены обломки подушечных лав, а также крупнозернистый глауконит-кварцевый песок. Эту пробу условно также можно отнести к русловой фации. Обломки пород ледового разноса отмечены почти во всех пробах каньона (см. рис. 3).

Каньон #3 (А, В). Две ветви нижнего течения каньона охарактеризованы только двумя изученными пробами, одной пробой гальки с массивного поднятия между #3А и #3В и не проанализированной пробой песка с континентального склона, у бровки южного борта каньона #3В, представленной, по визуальной оценке, мелкозернистым терригенным песком (АИ-3693, см. рис. 4). Если это определение верное, то осадки на склоне к северу и югу от каньона существенно различаются по составу: в пробе, отобранной к северу от каньона (АИ-3690), содержится 33% раковин фораминифер, которые не отмечены к югу от каньона. На дне обоих отрогов каньона встречены относительно мелкозернистые осадки. В северном каньоне #3А это песчанистые пелитово-алевритовые илы, песчаная фракция которых состоит преимущественно из раковин фораминифер (АИ-3691). В менее глубоководном южном отроге #3В (АИ-3693) преобладает фораминиферово-терригенный мелко-среднезернистый песок, но фракция <0.1 мм составляет около 30% (см. рис. 4).

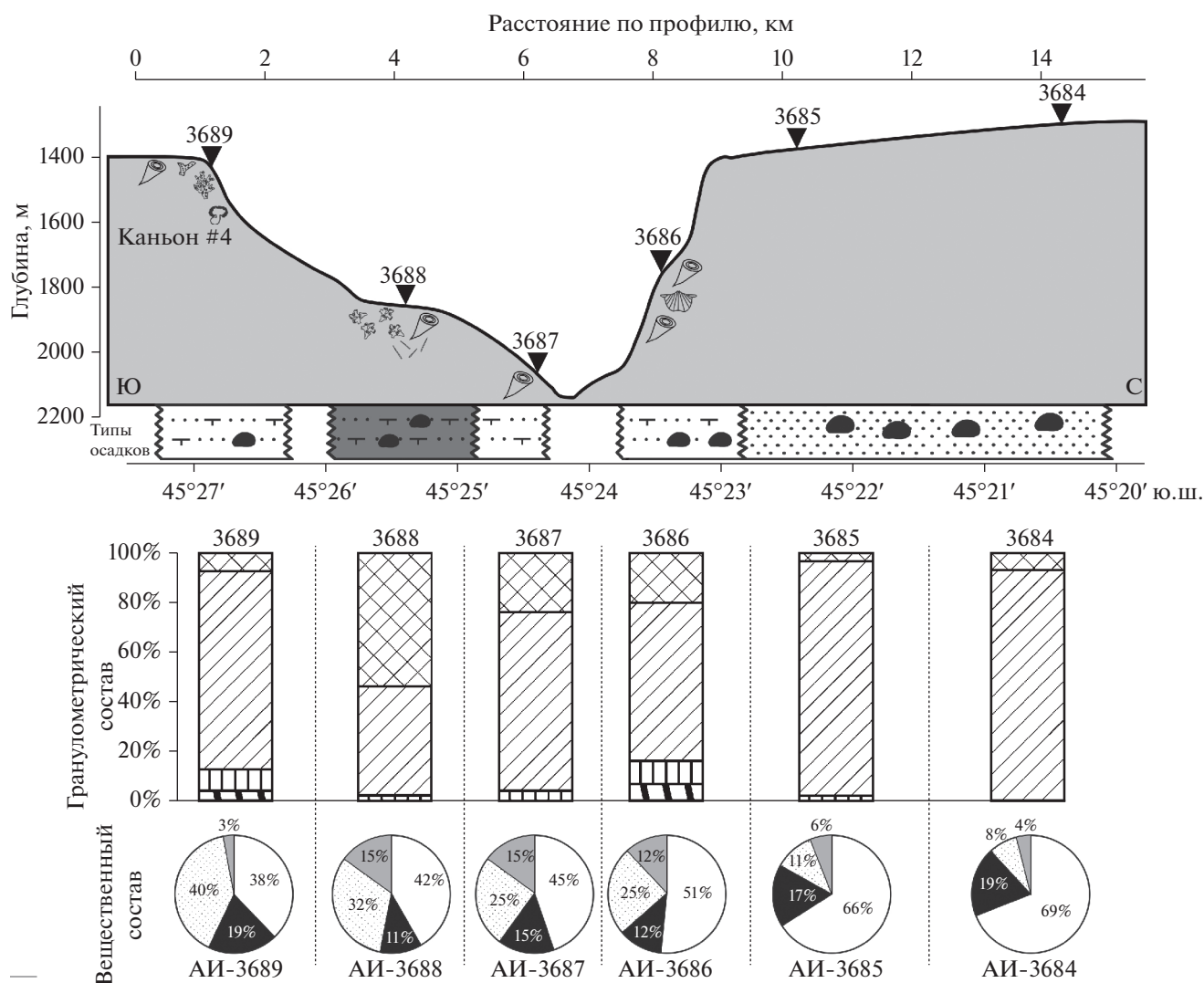


Рис. 5. Профиль каньона #4 с данными о литологии современных осадков. Условные обозначения см. рис. 2.

Следовательно, в обоих отрогах наблюдается заполнение каньонов относительно мелкозернистыми осадками с существенной долей фораминифер, а типичные русловые фации отсутствуют. Резидуальная фация гальки ледового разности на валу между двумя отрогами подчеркивает необычную для каньонов динамику вод.

Каньон #4. Самый глубокий из изученных врез каньона #4 не показал типичной для развивающихся каньонов литолого-фациальной закономерности. Вместо относительно грубозернистого терригенного песка русловой фации все три дночерпателя из каньона, в том числе АИ-3686 с крутого северного склона, принесли осадки с существенным содержанием самой тонкой фракции <0.1 мм (см. рис. 5). В пробе АИ-3688 эта фракция даже преобладает (53%), и осадок следует назвать песчаным пелитово-алевритовым илом (см.

рис. 5). По составу фракции >0.1 мм осадок обогащен фораминиферами (25–32%) по сравнению с двумя пробами терригенного мелко-среднезернистого песка на склоне (террасе Перито Морено) к северу от каньона (АИ-3684, АИ-3685). Фораминиферо-терригенный мелко-среднезернистый песок (40% раковин фораминифер), содержащий многочисленные обломки сланцев крупностью щебня и дресвы, встречен на бровке южного борта (АИ-3689, см. рис. 5).

Особого внимания заслуживает песчаный ил с выпуклой (вероятно, аккумулятивной) структурой в основании южного борта каньона, возможной, сдвинутой силой Кориолиса вправо от основной струи потока суспензии, текущей вниз по каньону (АИ-3688). Подповерхностный слой ила покрыт крупными плитчатыми глыбами сланца, явно принадлежащими одному типу породы,

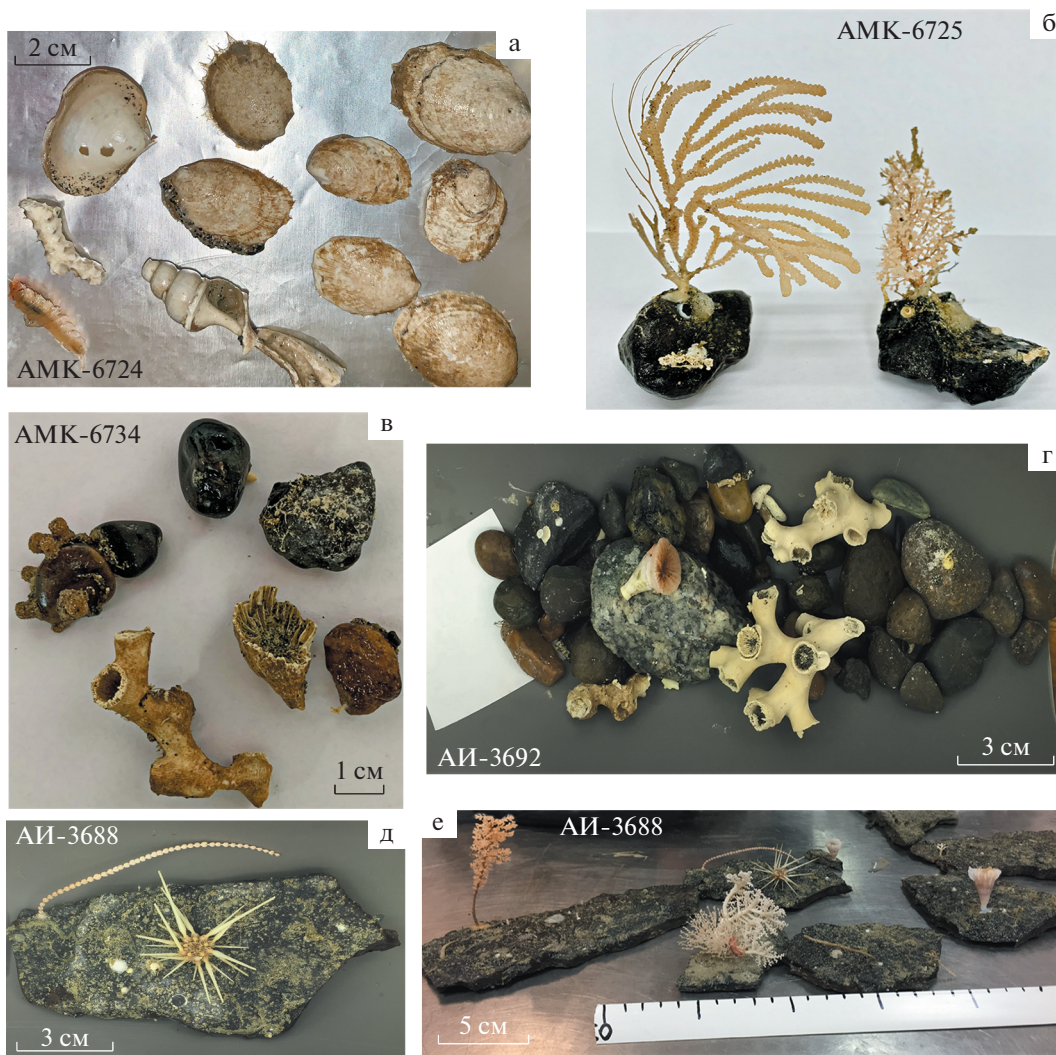


Рис. 6. Обломки пород с макробентосом из каньонов #2–#4.

Макробентос каньонов: а–в – каньон #1: а – фрагменты раковин двустворчатых моллюсков, обломок гастроподы, изопода и обломок коралла, б – октокораллы и мшанки, прикрепленные к камням, в – обломки склерактиний и асцидия); г – каньон #3, склерактинии живые и их обломки; д, е – каньон #4: д – морской еж (отр. *Cidaroida*) и коралл, е – камни с представителями донной фауны: кораллы (*Mopseinae*, *Stylasteridae*, *Primnoidea*, *Scleractinia*), морской еж (отр. *Cidaroida*).

обросшими живой прикрепленной эпифауной (см. рис. 6). Из более глубокой части этого предполагаемого аккумулятивного тела дночерпатель АИ-3687 принес мелко-среднезернистый фораминиферо-терригенный песок с большой примесью тонкозернистой фракции <0.1 мм. Такой же песок получен с крутого северного борта каньона.

Таким образом, все три пробы со дна каньона резко отличаются от фоновых осадков террасы Перито Морено прежде всего повышенным содержанием тонкозернистой фракции <0.1 мм. Следовательно, в настоящее время каньон #4 представляет собой скорее своеобразный бассейн седиментации относительно тонкозерни-

стых осадков, обогащенных фораминиферами, по сравнению с современными терригенными песками террасы.

ПЛАНКТОННЫЕ ФОРАМИНИФЕРЫ

Раковины ПФ многочисленны в песчаной фракции осадков всех каньонов, где они обычно составляют от 8 до 70%, за исключением ст. АМК-6726 (#1), АИ-3692 и АИ-3694 (#3). Везде встречаются плейстоценовые комплексы ПФ преимущественно хорошей сохранности, представленные умеренными, субтропическими и субполярными видами. Это типичные для данного региона комплексы, переходные от субтропи-

ческих к субантарктическим [Be, Tolderlund, 1971; Мурдмаа и др., 2020]. Наиболее многочисленны *Globorotalia inflata*, *Globigerina bulloides*, *Globorotalia truncatulinoides*, *Globorotalia crassaformis*, *Neogloboquadrina pachyderma* sin., *Turborotalita quinqueloba*, *Globigerinita glutinata*, единично встречается *Globigerinella calida*.

Среди многочисленных бентосных фораминифер (БФ) встречены представители инфауны: *Pyrgo* sp., *Oridorsalis* sp., *Lagena* sp., *Trifarina angulosa*, *Cassidulina reniforme*, *Buccella* sp., *Quinqueloculina* sp., *Lenticulina* sp., *Islandiella norcrossi* и другие виды, а также обломки раковин агглютинирующих видов. На северном склоне (АИ-3686) и дне (АИ-3687) каньона #4 отмечен эпибентосный вид *Cibicidoides wuellerstorfi*, который, вероятно, встречается и на других станциях.

МАКРОБЕНТОС

Каньон #1. В фауне каньона #1 и прилегающих к нему фоновых образцах террасы преобладают группы, приуроченные к твердым субстратам (камням): кораллы, губки, мшанки, гидроиды, серпулиды, моллюски (см. рис. 2, 6). Кроме того, на дне каньона и северном борту обнаружены подвижные изоподы. На дне каньона встречены единичные роющиеся в осадке полихеты.

В фоновом образце с террасы у северного борта каньона (АМК-6724) и в образце, отобранном вблизи бровки (АМК-6725), отмечается наибольшее разнообразие бентоса, который представлен крупными кораллами *Primnoidea* и *Stylasteridae*, губками, мшанками, серпулидами, изоподой, а также многочисленными створками двустворчатых моллюсков (прикрепленные формы), обломками гастропод. Живые крупные кораллы, обнаруженные в этих образцах, свидетельствуют о том, что на протяжении многих лет в этом месте были благоприятные условия для их обитания: неподвижный субстрат в виде крупных камней и крупной гальки, а также достаточно активная гидродинамика для поступления пищи и личинок. На северном борту каньона (АМК-6737) фауна довольно разнообразна и представлена живыми мшанками (5 видов), губками, многочисленными трубками серпулид, гидроидами, а также многочисленными обломками склерактивных *Bathelia candida*. Однако фауна северного борта каньона отличается от фоновых образцов на террасе отсутствием многолетних крупных кораллов и других долгоживущих форм, что может свидетельствовать о значительно меньшем времени существования этих сообществ и менее стабильных условиях на северном борту. Возможно, под действием гидродинамики происходит периодическое переворачивание камней и их захоронение, что разрушает сообщества. Об этом свидетельствует присутствие камней и гальки с

остатками исключительно мертвой фауны, как в поверхностных образцах, так и в средней части монолита из дночерпателя.

На дне каньона (АМК-6726) фауна обеднена из-за отсутствия камней, пригодных для существования прикрепленных организмов. В образце присутствуют изоподы и роющиеся полихеты.

Фауна южного борта каньона (АМК-6736) по численности немного беднее фауны северного борта и представлена живыми мшанками, губками, асцидией и обломками склерактивных *Bathelia candida*. Подобное распределение фауны свидетельствует об условиях существования, сходных с северным бортом каньона.

В фоновом образце с террасы у южного борта каньона (АМК-6734) фауна малочисленна и представлена живыми кораллами *Zoantharia*, мшанками, а также обломками двух видов кораллов *Scleractinia* и остатками серпулид. Низкая численность бентосных организмов обусловлена преимущественно небольшим размером и меньшим количеством камней, пригодных для существования прикрепленных организмов, чем у северного борта.

Каньон #2. В фауне каньона #2 так же, как и в каньоне #1, преобладают группы, приуроченные к твердым субстратам (камням). В каньоне #2 макробентос представлен живыми кораллами *Stolonifera*, *Zoantharia*, *Stylasteridae*, остатками мертвых кораллов *Scleractinia*, а также разными видами мшанок, брахиоподой с баянусом (см. рис. 3, 6). Фауна в фоновых образце (АМК-6750) и на северном борту каньона (АМК-6751) представлена обломками кораллов. В образцах присутствует галька без организмов-обрастателей, что может свидетельствовать о неподходящих условиях для заселения бентосными организмами. Фауна дна каньона (АМК-6749) представлена кораллами и остатками бентоса известкового состава. Это может свидетельствовать о сносе осадка и обломков фауны на дно каньона. Живой фауны на северном борту и дне каньона не обнаружено. Фауна южного склона каньона (АМК-6747 и АМК-6746) довольно разнообразна и представлена обломками мертвых кораллов *Scleractinia*, остатками разных видов мшанок, игл морских ежей, живыми серпулидами и губками. Кроме того, в образце АМК-6746 встречены живые кораллы *Stolonifera*, *Zoantharia*, *Stylasteridae*, одна брахиопода и баянус. На южном борту каньона в образце АМК-6748 фауна не обнаружена, видимо в связи с отсутствием в осадках гальки и камней. Фауна фонового образца, отобранного у южного борта каньона (АМК-6745), довольно немногочисленна и представлена кораллами и губкой.

Каньон #3. В каньоне #3 макрофауна представлена очень бедно в образцах с присутствием крупной гальки. Наиболее многочисленными группа-

ми являются кораллы, серпулиды и мшанки. Кроме того, на северном борту каньона #3В обнаружен морской еж (отр. *Cidaroida*), который типичен для твердых субстратов и плотного песка (см. рис. 4, 6).

В фоновом образце у северного борта каньона #3А (АИ-3690) макрофауна не найдена. На дне каньона #3А встречены обломки кораллов (АИ-3691). На станции АИ-3692 с вала между #3А и #3В на гальке и камнях обнаружены многочисленные мшанки, остатки серпулид, обломки кораллов *Scleractinia* и кораллы сем. *Isididae*. На борту каньона #3В найдены обломки колониальных кораллов, мшанки и морской еж (отр. *Cidaroida*). На фоновой станции у южного борта каньона #3В (АИ-3694) макрофауна не обнаружена.

Каньон #4. Фауна в каньоне #4 распределена неравномерно и представлена морским ежом и прикрепленными организмами-фильтраторами (кораллами, мшанками, серпулидами, см. рис. 5, 6). На фоновых станциях с террасы у северного борта каньона (АИ-3684 и АИ-3685) фауна отсутствует из-за недостатка субстрата, подходящего для заселения прикрепленными организмами (встречается только мелкая галька). На северном борту каньона обнаружены обломки склерактинии *Bathelia candida* и обломок брахиоподы. На дне каньона (АИ-3687) фауна не обнаружена. На южном борту каньона (АИ-3688) найдено большое количество камней (размером до 20 см), на которых встречены довольно разнообразные сообщества кораллов *Scleractinia*, *Primnoidea*, *Mopseinae*, *Stylasteridae* и морской еж (отряд *Cidaroida*) (см. рис. 5, 6). Высокое разнообразие на этой станции обусловлено наличием подходящего для прикрепления кораллов стабильного крупного твердого субстрата, позволяющего развиваться многолетним сообществам. На фоновой станции у южного борта каньона (АИ-3689) на гальке (размером до 7 см) обнаружены многочисленные живые мшанки, остатки серпулид и основание коралла *Isididae*.

Таким образом, преобладающими в фауне каньонов являются прикрепленные организмы-фильтраторы (кораллы, мшанки, серпулиды, гидроиды и асцидии). Их распределение в каньонах зависит от наличия твердого субстрата и пищи. Наиболее многочисленные многолетние сообщества обнаружены на крупных камнях, служащих стабильным (неподвижным) субстратом, на фоновых станциях каньона #1 (АМК-6724, АМК-6725) и на станциях с пологого южного борта каньона #4. На крутых бортах каньонов сползающий материал способствует захоронению и гибели сообществ, поэтому там нет долгоживущих сообществ кораллов, а преобладают многочисленные мшанки и серпулиды. Кроме того, на бортах каньонов размеры твердого субстрата (камней) небольшие,

поэтому они не могут служить стабильным субстратом для прикрепления крупных кораллов. В образцах, отобранных на бортах каньонов и на камнях из нижних частей монолитов (вырезок) из дночерпателей, встречаются остатки мертвых мшанок и серпулид, что указывает на активно идущие процессы захоронения сообществ.

ПОПЕРЕЧНАЯ ФАЦИАЛЬНАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ СОВРЕМЕННЫХ ОСАДКОВ КАНЬОНОВ

Изученные подводные каньоны от #1 на юге до #4 на севере составляют среднюю часть серии из семи подводных каньонов северного сектора контуритовой системы континентального склона Аргентинской Патагонии [Hernández-Molina et al., 2009, 2010; Isola et al., 2021], нумерованной от #0 до #6 [Lastras et al., 2011]. Вся серия отличается отсутствием прямой связи с шельфом, а также каких-либо речных источников терригенного материала (см. рис. 1). Истоки многочисленных притоков рассматриваемых здесь каньонов находятся на подножии уступа верхней части склона. По мнению авторов детальных геоморфологических исследований, они питаются осадочным материалом за счет эрозии террасы Нагера, омываемой сильным течением антарктических вод [Lastras et al., 2011; Muñoz et al., 2012, 2013].

Наши данные показывают, что осадконакопление в каньонах обеспечивается двумя главными компонентами: терригенным материалом, состоящим преимущественно из кварца с переменным содержанием глауконита, и кальцитовых раковин планктонных фораминифер. При этом следует иметь в виду, что весовые проценты компонентов, полученные при грубом ситовом анализе с выделением фракции мелко-среднезернистого песка (0.1–0.5 мм) дают резко пониженные значения доли этой фракции, сложенной целыми раковинами фораминифер, по сравнению с данными по подсчету зерен, из-за легкости пустотелых раковин (см. рис. 2–5, круговые диаграммы). Именно подсчет зерен ближе выражает относительную долю фораминифер в соответствии с гидравлической крупностью заполненных водой раковин, принципиально отличающуюся от гидравлической крупности сплошных зерен терригенного песка соответствующей размерной фракции, а значит и их поведения в придонных потоках воды или суспензии. Вопрос о большей “подвижности” пустотелых раковин фораминифер по сравнению с терригенными частицами такого же размера рассмотрен в ряде работ (например, [Miller et al., 1977; McCave, 2008]).

Из сказанного вытекает гипотеза о преимущественно латеральном потоке пустотелых раковин планктонных фораминифер с контурными (вдоль-склоновыми) придонными течениями ВЦПВ, омывающими дно на террасе Перито Морено, в пределах которой расположены все четыре поперечных сечения каньонов (см. рис. 2–5). Встречая на своем пути каньон, поток резко тормозится из-за увеличения живого сечения и из него выпадает какое-то количество раковин вместе с осаждением из гибридного потока терригенного материала. Конечно, наряду с латеральным переносом раковин с террасы в каньоны, в них оседает также какое-то количество раковин вертикальной (гемипелагической) седиментации. Оно должно быть равно вертикальному потоку раковин фораминифер, оседающему на поверхность террасы. Значит, можно предположить, что осевшее в каньоны количество раковин в единицу времени складывается из суммы фоновой вертикальной седиментации и латерального контуритового потока. Эта сумма уменьшается за счет вымывания легких пустотелых раковин вплоть до нуля под действием внутриканьонной гидродинамики и гравитационных потоков.

Динамика терригенного материала песчаной фракции отличается отсутствием вертикального потока и меньшей подвижностью в латеральных потоках по сравнению с движением раковин фораминифер. Это создает предпосылки разделения двух главных компонентов мелко-среднезернистого песка в латеральных потоках. Мы предполагаем, что увеличение концентрации раковин фораминифер может служить косвенным признаком уменьшения подвижности придонных вод, тогда как терригенные пески, возможно, представляют собой остаточные (резидуальные) отложения, образованные в условиях интенсивной придонной гидродинамики и смыва раковин фораминифер.

По вещественному составу терригенные пески и терригенная составляющая смешанных осадков (с раковинами фораминифер) в каньонах и на террасе однообразны; они характеризуются преобладанием кварца и глауконита. Отсюда вытекает предположение, что терригенная составляющая осадков каньонов сочетает перемыв осадков террасы (куда кварц и глауконит, очевидно, поступают с шельфа в результате плоскостного смыва) и трансформацию этого потока в гибридный контуритово-гравитационный поток вниз по каньону [Mujoz et al., 2013; Shanmugam, 2021]. При этом никаких признаков сортировки внутри терригенного материала песчаной фракции не отмечено. Изменения кварц/глауконитового отношения (табл. 3) носят региональный характер. Это отношение за-

кономерно возрастает с юга (каньоны #1 и #2 и терраса около них) на север (каньоны #3 и #4 и терраса около них). Уменьшение относительного содержания глауконита, по-видимому, связано с удалением истоков каньонов от основного источника глауконита на шельфе, где богатые глауконитом пески распространены к югу от каньона #2 и где он, вероятно, формируется.

Изученные каньоны четко делятся на два типа. Каньоны #1 и #2, содержащие только пески, имеют на максимальной глубине поперечного сечения русловую фацию терригенного песка с очень небольшой примесью раковин планктонных фораминифер. Эта фация, вероятно, представляет собой отложения гравитационного зернового потока вниз по каньону. Возможно, что в таких потоках реализуется механизм гранулярной среды, в которой песчаные частицы удерживаются во взвешенном состоянии за счет их взаимного столкновения [Middleton, Hampton, 1976; Поляков, 2002]. Русловая фация обрамлена на бортах каньонов мелко-среднезернистыми песками с повышенным содержанием раковин фораминифер – продуктов смыва с поверхности террасы, вероятно, вместе с терригенным материалом. Значит, эти фации можно считать контуритовыми. Фацию терригенного песка с высоким содержанием глауконита (40% фракции >0.1 мм) на бровке северного борта каньона #1 можно интерпретировать как локальную резидуальную фацию, откуда раковины смыты локально усилившемся контурным течением. Благодаря развитию русловых фаций эти каньоны можно считать современно активными.

В двух северных каньонах #3 и #4 на дне выделяются аккумулятивные тела с высоким содержанием тонкозернистых фракций (<0.1 мм), что свидетельствует о малой интенсивности движения придонных вод. В каньоне #4 такое тело сдвинуто на юг от самого дна (см. рис. 5), что может указать на влияние силы Кориолиса и смещение гравитационного потока влево, приводящее к аккумуляции тонкозернистого материала справа. На дне ветви каньона #3А и на пологом борту ветви каньона #3В встречены однотипные фации смешанных (несортированных) песчаных илов с повышенным содержанием фракции <0.1 мм. Однако редкое опробование не позволяет выявить более четких закономерностей, кроме предположения о малой интенсивности движения придонных вод в обеих ветвях системы каньона #3. Эта фация характеризуется довольно высоким содержанием раковин фораминифер в песчаной фракции, которые на дне более глубокой ветви каньона #3А даже преобладают над терригенным песком. Умеренно высокие содержания раковин

фораминифер встречаются также в песчаной фракции аккумулятивного тела песчанистого ила на подножии южного борта каньона #4 (см. рис. 5). Значит, в обоих каньонах, вероятно, присутствуют фации смешанных гравититовых мелкозернистых илов с высокой долей предположительно контуритовых мелко-среднезернистых песков и высоким содержанием раковин фораминифер.

Однако на поверхности относительно тонкозернистых песчанистых илов аккумулятивного тела на дне каньона #4 дночерпатель АИ-3688 поднял несколько одинаковых крупных плитчатых обломков сланцев с обрастанием прикрепленной эпифауной (см. рис. 6). Очевидно, что обломки этих пород генетически никак не связаны с нижележащим илом. Это также вряд ли может быть материалом айсбергового разноса, поскольку все обломки представлены одним типом пород. Остается предположить, что эти обломки отломались от подводного обнажения древних пород выше по склону и сползли вниз. Их обмывание придонным течением с удалением всего мелкозернистого материала, включая подстилающий мелко-среднезернистый песок, вероятно происходит из-за влияния локального возвышения. Такое локальное возвышение может вызвать усиление турбулентности, что должно привести к обнажению отдельных камней на поверхности более тонкозернистых осадков.

Фации, характеризующие относительно низкую энергию придонных вод, резко контрастируют с пробой промытой (резидиальной) неподвижной гальки, обросшей живой прикрепленной эпифауной, на поднятии между двумя ветвями каньона #3 (станция АИ-3692, см. рис. 4, 6). Они также резко отличаются от преимущественно терригенных песков на террасе Перито Морено с обеих сторон каньона #3 и к северу от каньона #4 (см. рис. 5). Приходится признать, что интенсивная динамика придонных вод на глубинах около 1500 м резко ослабевает на больших глубинах внутри каньонов.

Если верно предположение об исключительно шельфовом источнике глауконита, то сходное его относительное содержание в осадках со дна каньонов и с поверхности соседней террасы Перито Морено нельзя объяснить иначе, как смывом терригенного материала с поверхности террасы в каньоны придонным контурным течением. Как глауконитовый песок попал с шельфа на поверхность по крайней мере одной из террас и рассеялся по ней, смешиваясь в разных пропорциях с раковинами планктонных фораминифер, пока не совсем ясно. Нет сомнения, что это результат деятельности омывающих шельф контурных течений. Решение данной проблемы выходит

за рамки настоящей статьи. Здесь важно подчеркнуть, что из-за существенно большей подвижности раковин фораминифер процент их численности в песчаной фракции в осадках каньонов должен расти с убыванием скорости придонного течения. Для перемещения по дну “тяжелых” зерен кварца, глауконита и аксессуарных минералов требуются гораздо более интенсивные движения придонной воды, которые способны избирательно вымывать из осадка раковины фораминифер.

В двух ветвях каньона #3, изученных редкими дночерпательными пробами на месте русла, и в каньоне #4 в аккумулятивном теле, вероятно сдвинутом силой Кориолиса вправо от потоков вниз по каньону, встречаются несортированные осадки с высоким содержанием тонких фракций (<0.1 мм). Если предположение о влиянии силы Кориолиса в каньоне #4 верно, то эти фации можно условно отнести к отложениям гравитационных потоков густой суспензии. Поскольку тонкозернистого материала на пути контуритового материала по террасе не обнаружено, остается предположить, что источником тонкозернистого компонента служат продукты эрозии верхней террасы Нигера, где, по-видимому, имеются условия для временной аккумуляции тонкозернистых фракций. Они могут служить основой потоков суспензии. Повышенное содержание раковин фораминифер во фракции >0.1 мм, по сравнению с осадками соседней террасы, наряду с обогащением тонкозернистым материалом, свидетельствует о малой подвижности вод на месте разгрузки гравитационных потоков суспензии.

Наличие галечника на валу, разделяющем две ветви каньона #3, указывает на контрастно высокую подвижность вод. Однозначной интерпретации такой фациальной картины двух северных каньонов у нас пока нет, но можно предположить, что это фации заполнения относительно углубленных ям в продольном профиле каньонов. Смешанные осадки с высоким содержанием тонкозернистых фракций встречаются только на дне двух северных каньонов, что можно объяснить наличием источников тонких фракций в районе истоков многочисленных притоков северных каньонов на террасе Нагера. Это могут быть локальные впадины, где в затишных условиях скапливаются тонкозернистые продукты эрозии, избыток которых приводит к образованию гравитационных потоков суспензии вниз по каньонам. Разгрузка таких потоков служит, вероятно, непосредственным источником несортированных смешанных осадков на дне двух северных каньонов.

Любопытные закономерности выявлены путем расчета соотношения зерен кварца и глауконита (см. табл. 3). Выяснилось, что относитель-

Таблица 3. Соотношение кварца и глауконита в песчаной фракции

Каньон #1	Кварц	Глауконит	Отношение кварц/глауконит
АМК-6734	40%	35%	1.14
АМК-6736	15%	10%	1.50
АМК-6726	50%	30%	1.67
АМК-6737	25%	20%	1.25
АМК-6725	50%	40%	1.25
АМК-6724	30%	20%	1.50
Каньон #2	Кварц	Глауконит	Отношение кварц/глауконит
АМК-6745	45%	30%	1.50
АМК-6747	20%	20%	1.00
АМК-6746	25%	25%	1.00
АМК-6749	40%	20%	2.00
АМК-6750	30%	20%	1.50
АМК-6751	35%	25%	1.40
Каньон #3	Кварц	Глауконит	Отношение кварц/глауконит
АИ-3693	46%	18%	2.56
АИ-3691	30%	13%	2.31
АИ-3690	49%	17%	2.88
Каньон #4	Кварц	Глауконит	Отношение кварц/глауконит
АИ-3684	69%	19%	3.63
АИ-3685	66%	17%	3.88
АИ-3686	52%	12%	4.33
АИ-3687	45%	15%	3.00
АИ-3688	42%	11%	3.82
АИ-3689	38%	19%	2.00

ное содержание глауконита в каньонах #1, #2 самое высокое и уменьшается к северу до минимальных значений по отношению к кварцу в самом северном каньоне #4. Такое уменьшение доли глауконита в осадках двух северных каньонов можно объяснить удалением от главного источника глауконита на южном шельфе. Неясной остается проблема присутствия в осадках каньонов и террасы между ними крупных обломков пород (галыки, щебня, мелких валунов), которые встречаются, на первый взгляд, с одинаковой частотой в каньонах и на террасе между ними. Разнообразие петрографического состава обломков и отсутствие их связи с вмещающими осадками

указывает на ледовый или айсберговый разнос грубообломочного материала. Если разнос морским (припайным) льдом с соседней суши мог происходить только при резком похолодании климата во время последнего оледенения, то более поздний айсберговый разнос из дальних источников (например, с Огненной Земли) мог происходить и позднее. Об этом свидетельствуют свежие следы вспахивания осадков айсбергами, установленные в результате детальных геоморфологических исследований [Muñoz et al., 2013]. Петрография обломков пород – базальты, песчаники, сланцы, известняки, при полном отсутствии ультраметаморфических пород, указывает

на отсутствие материала из Антарктиды. Скорее всего, это продукты разрушения покрытых ледниковыми щитами островов – Огненной Земли и других.

Фациальная изменчивость на поперечных сечениях всех четырех изученных каньонов значительно больше, чем на террасе Перито Морено между ними. Нет ни одного случая повторения фаций в соседних дночерпательных пробах даже на расстоянии сотен метров. Даже в хуже всего изученных двух ветвях каньона #3 однотипные фации мелкозернистых осадков разделены фацией галечника на вершине находящегося между ними вала, безусловно относящегося к системе крупнейшего каньона. Набор фаций и их последовательность в разных каньонах различная. Эти вариации связаны, прежде всего, с соотношением воздействия на разные компоненты осадков латерального транспорта мощных вдольсклоновых течений и гравитационных потоков суспензии вниз по каньонам. Совместно они формируют гибридные контуритово-гравититовые потоки внутри каньонов, описанные с геоморфологической точки зрения [Shanmugam, 2003; Muñoz et al., 2013].

Радиоуглеродные датировки по раковинам планктонных фораминифер из каньонов #3 и #4 неизменно указывают на голоценовый возраст осадков, в том числе содержащих гальку (см. табл. 2). В то же время обломки пород с фауной обрастания (в том числе живой) встречаются на поверхности песков в каньонах #1 и #2. Если это ледовый разнос грубообломочного материала, то придется предположить, что голоценовый осадок (песок) смыт с этих камней недавно или не отлагался из-за гидродинамических условий. К сожалению, именно в этих дночерпательных пробах нет материала для датирования.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Характер фаций внутри каньонов практически не зависит от глубины террасы, в которую они врезаны. Прямой зависимости характера фаций от глубины вреза не выявлено. Фациальная изменчивость современных (голоценовых) осадков значительно более резкая внутри каньонов, чем на террасе Перито Морено около них.

По характеру фаций изученные каньоны четко делятся на два типа. Первый тип (#1 и #2) характеризуется песчаными фациями: русловой фацией терригенных песков, которая разделяет пески, обогащенные раковинами фораминифер, на бортах каньонов. Русловые фации, вероятно, представляют собой гравитационные отложения зерновых потоков, движущихся вниз вдоль каньонов

и при этом эродирующих их дно. Фации бортов отражают относительно меньшие скорости придонных контурных течений, при которых в каньонах осаждаются раковины фораминифер, смытые с поверхности террасы Перито Морено вместе с каким-то количеством терригенного материала. Усиление контурных течений на бровке северного борта каньона #1 привело к смыву раковин фораминифер и образованию резидуальных терригенных песков. Обогащение терригенных песков глауконитом (относительно кварца) отражает близость главного источника глауконита на шельфе.

Второй тип (каньоны #3А, #3В, #4) характеризуется высоким содержанием тонкозернистого (пелитово-алевритового) материала, вплоть до преобладания над мелко-среднезернистым песком на дне каньона #3А и на вершине аккумулятивного тела, подобного прирусловому валу, сдвинутому вправо воздействием силы Кориолиса на дне каньона #4. В обоих случаях песчаная фракция обогащена раковинами фораминифер, что дополнительно указывает на слабую подвижность придонных вод. Это единственная литолого-фациальная группа осадков, встреченная только внутри каньонов, а значит фациальную обстановку ее образования следует искать в процессах, происходящих в каньонах. Мы предполагаем, что смешанные песчано-илистые осадки представляют собой результат разгрузки потока густой суспензии, поступающей из притоков верхнего течения каньонов #3 и #4.

Обогащение терригенных песков глауконитом (относительно кварца) отражает близость главного источника глауконита на шельфе.

Грубообломочный материал, вероятно ледового или айсбергового разноса (галька, щебень), представлен обломками разных пород (песчаниками, сланцами, базальтами, известняками и др.) и встречается как в каньонах, так и на поверхности террасы между ними. Обнаженный на поверхности дна под действием придонных течений грубообломочный материал служит субстратом прикрепленного макробентоса. Ледовый разнос происходил во время последнего оледенения Южного полушария. Айсберги достигали континентальной окраины Патагонии и позднее, о чем свидетельствуют свежие следы их вспахивания, обнаруженные в ходе геоморфологических исследований [Muñoz et al., 2013].

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы благодарны коллегам, участвовавшим в сборе использованных в данной работе батиметрических данных и проб донных осадков в 53 рейсе НИС

“Академик Иоффе” и 79 рейсе НИС “Академик Мстислав Келдыш”.

Авторы выражают благодарность Т.Н. Молодцовой и К.В. Минину за помощь в определении фауны.

ИСТОЧНИКИ ФИНАНСИРОВАНИЯ

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 22-27-00421). Датирование образцов в Познаньской лаборатории проводилось за счет гранта РФФИ № 18-17-00227.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 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.
- Иванова Е.В., Борисов Д.Г., Мурдмаа И.О. и др.* Исследование современной латеральной седиментации на континентальном склоне Аргентины в 79-м рейсе научно-исследовательского судна “Академик Мстислав Келдыш” // *Океанология*. 2020. Т. 60. № 6. С. 987–989.
- Мурдмаа И.О., Росляков А.Г., Борисов Д.Г.* Эрозионно-аккумулятивные процессы в северном секторе континентальной системы континентального склона Патагонии // *Океанологические исследования*. 2018. Т. 46. № 3. С. 193–213.
- Мурдмаа И.О., Иванова Е.В., Казарина Г.Х. и др.* Средне-верхнечетвертичные отложения северного сектора континентальной системы континентального склона Патагонии (юго-западная Атлантика) // *Океанологические исследования*. 2020. Т. 48. № 1. С. 93–120.
- Поляков А.С.* Свойства гранулированных сред и механизм транспорта субаквальных потоков обломочных масс // *Литология и полез. ископаемые*. 2002. № 1. С. 28–43.
- Be A.W.H., Tolderlund D.S.* Distribution and ecology of living planktonic foraminifera in surface waters of the Atlantic and Indian oceans // *The micropaleontology of oceans* / Eds B.M. Funnell, W.R. Riedel. London: Cambridge Univ. Press, 1971.
- Harris P.T., Whiteway T.* Global distribution of large submarine canyons: Geomorphic differences between active and passive continental margins // *Mar. Geol.* 2011. V. 285(1–4). P. 69–86.
<https://doi.org/10.1016/j.margeo.2011.05.008>
- 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.
<https://doi.org/10.1130/G25578A.1>
- 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 // *Mar. Petrol. Geol.* 2010. V. 27. P. 1508–1530.
<https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2010.04.003>
- 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 // *Mar. Geol.* 2021. V. 43. 106459.
<https://doi.org/10.1016/j.margeo.2021.106459>
- 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.
- Lonardi A.G., Ewing M.* Sediment transport and distribution in the Argentine Basin. 4. Bathymetry of the continental margin, Argentine Basin and other related provinces. Canyons and sources of sediments // *Phys. Chem. Earth*. 1971. V. 8(3753). P. 79–121.
[https://doi.org/10.1016/0079-1946\(71\)90016-4](https://doi.org/10.1016/0079-1946(71)90016-4)
- McCave I.N.* Size sorting during transport and deposition of fine sediments: sortable silt and flow speed // *Dev. Sedimentol.* 2008. V. 60. 121–142.
[https://doi.org/10.1016/S0070-4571\(08\)00208-2](https://doi.org/10.1016/S0070-4571(08)00208-2)
- Middleton G.V., Hampton M.A.* Subaqueous sediment transport and deposition by sediment gravity flows // *Marine Sediment Transport and Environmental Management* / Ed. D.J. Stanley, D.J.P. Swift. N.Y.: John Wiley, 1976. P. 197–218.
- Miller M.C., McCave I.N., Komar P.D.* Threshold of sediment motion under unidirectional currents // *Sedimentology*. 1977. V. 24. № 4. P. 507–527.
<https://doi.org/10.1111/j.1365-3091.1977.tb00136.x>
- Morozov E.G., Demidov A.N., Tarakanov R.Y., Zenk W.* Abyssal channels in the Atlantic Ocean. Dordrecht: Springer Netherlands, 2010.
<https://doi.org/10.1007/978-90-481-9358-5>
- Muñoz A., Cristobo J., Rios P. et al.* Sediment drifts and cold-water coral reefs in the Patagonian upper and middle continental slope // *Mar. Petrol. Geol.* 2012. V. 36. P. 70–82.
<https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2012.05.008>
- Muñoz A., Acosta J., Cristobo J., Druet M., Uchupi E.* Geomorphology and shallow structure of a segment of the Atlantic Patagonian margin // *Earth-Science Review*. 2013. V. 121. P. 73–95.
<https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2013.03.002>
- Piola A.R., Matano R.P.* Brazil and Falklands (Malvinas) currents / Eds J.H. Steele, S.A. Thorpe, K.K. Turekian // *Encyclopedia of Ocean Sciences*. London: Elsevier, 2001. P. 340–349.
<https://doi.org/10.1006/rwos.2001.0358>
- Reid J.L.* On the total geostrophic circulation of the South Atlantic Ocean: Flow patterns, tracers, and transports // *Prog. Oceanogr.* 1989. V. 23. P. 149–244.
[https://doi.org/10.1016/0079-6611\(89\)90001-3](https://doi.org/10.1016/0079-6611(89)90001-3)
- Reid J.R.* On the Circulation of the South Atlantic Ocean // *The South Atlantic* / Eds G. Wefer, W.H. Berger, G. Siedler, D.J. Webb. Berlin, Heidelberg: Springer, 1996. P. 13–44.
https://doi.org/10.1007/978-3-642-80353-6_2
- Shanmugam G.* Deep-marine tidal bottom currents and their reworked sands in modern and ancient submarine canyons // *Mar. Petrol. Geol.* 2003. V. 20. № 5. P. 471–491.

Facies in Submarine Canyons from the Continental Slope of the Argentina Patagonia (SW Atlantic)

I. O. Murdmaa^{1, *}, D. G. Borisov^{1, **}, E. V. Ivanova^{1, ***},
M. A. Zenina^{1, ****}, N. G. Simagin^{1, *****}, F. S. Shchepelev^{1, *****}

¹*Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Nakhimovsky prosp., 36, Moscow, 117997 Russia*

**e-mail: murdmaa@mail.ru*

***e-mail: dborisov@ocean.ru*

****e-mail: e_v_ivanova@ocean.ru*

*****e-mail: maria_zenina@mail.ru*

******e-mail: morskoylitolog@gmail.com*

******e-mail: shch_fed@mail.ru*

The lithological study of recent sediments, as well as examination of the planktic foraminiferal tests and the macrobenthos, within cross-sections through four submarine canyons from the Argentina Patagonia gravitite-contourite system, revealed considerably more complex facies variability inside the canyons than that observed on the Perito Moreno terrace between those. The facies variability in canyons is controlled by combination of along-slope contour currents and down-canyon gravity flows. Channel facies of terrigenous sand with high glauconite content separate flank facies of sand with increased foraminiferal tests proportion in two southern canyons. Facies of mixed sediments with high content of <0.1 mm size fraction analogues of which are not found on the surrounding terrace characterize two northern canyons. It is assumed that their deposition occurred from dense suspension gravity flows at still water bottom environment. Attached macrobenthos with calcareous skeletal elements, mainly corals, inhabits mainly ice rafted or iceberg rafted coarse rock fragments in all canyons and on the surrounding Perito Moreno terrace.

Keywords: grab sampler, sediment types, grain-size measurements, terrigenous material, quartz, glauconite, foraminiferal tests, macrobenthos, contourite, gravitite, ice rafting, facies variability.