

УДК 551.35;551.435.13

СЕЙСМИЧЕСКИЕ ПРИЗНАКИ КОНТУРИТОВ НА ВОЗВЫШЕННОСТИ РИУ-ГРАНДИ, ЮГО-ЗАПАДНАЯ АТЛАНТИКА

© 2020 г. О. В. Левченко^{1,*}, член-корреспондент РАН Л. И. Лобковский¹,
Д. Г. Борисов¹, Н. В. Либина¹

Поступило 07.06.2019 г.

После доработки 22.07.2019 г.

Принято к публикации 10.08.2019 г.

На трансатлантических профилях 32 и 52 рейсов нис “Академик Иоффе” Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН на возвышенности Риу-Гранди в Юго-Западной Атлантике высокоразрешающей сейсмоакустической съемкой выявлены структуры, вероятно, образованные контурными донными течениями. В основании южного и северного склонов возвышенности отложения смешанных турбидито-контуритовых осадочных систем сформированы в результате взаимодействия гравитационных потоков вниз по склону и вдоль склонового глубоководного течения Нижние циркулярные воды + Глубинные воды Уэдделла. В тропе Крузейро-ду-Сул на своде возвышенности выявлены осадочные волны и небольшие пластерные контуритовые дрифты, сформированные циркуляцией Антарктических промежуточных вод.

Ключевые слова: контурные донные течения, смешанные турбидито-контуритовые осадочные системы, Юго-Западная Атлантика

DOI: 10.31857/S2686739720010041

Несмотря на многолетние международные геологические исследования, в Атлантическом океане сохраняются проблемы в понимании глобальных и региональных процессов осадкообразования. В регулярных трансатлантических рейсах НИС “Академик Иоффе” Институтом океанологии им. П.П. Ширшова РАН (ИО РАН) проводятся исследования строения дна Атлантического океана. Они включают высокоразрешающее сейсмоакустическое профилирование с узколучевым параметрическим эхолотом-профилографом “SES-2000 deep” и отбор колонок донных осадков гравитационной ударной трубкой. Для корреляции сейсмоакустических записей также используются данные близко расположенных скважин глубоководного бурения. Эти исследования позволяют рассмотреть актуальный вопрос о роли трех главных механизмов осадконакопления: гравитационных потоков осадочного материала разной плотности, придонных течений и фоновой вертикальной седиментации. Стратегия и методика изучения процессов седиментогенеза в Атлантическом океане в позднем кайнозое в

трансатлантических рейсах ранее опубликованы [1–4].

Геострофические (контурные) течения, воздействующие длительное время на океанское дно, способны создавать аккумулятивные (рифели, осадочные волны, контуритовые дрифты) и эрозионные (промоины, рвы, каналы, террасы) формы рельефа. Осадки, отложенные под действием придонных течений, получили название контуриты [5, 6]. В Мировом океане контуриты в основном развиты на континентальном склоне и его подножии, но известны и в некоторых абиссальных районах с благоприятным режимом циркуляции придонных вод. Юго-Западная Атлантика является именно таким регионом. Она характеризуется очень динамичным гидрологическим режимом, обусловленным взаимодействием глубоководных и промежуточных вод антарктического происхождения, распространяющихся на север через сложную систему круговоротов, с глубинными водами из Северной Атлантики, движущимися на юг [7–9].

Возвышенность Риу-Гранди, которая разделяет Аргентинскую и Бразильскую котловины, является одной из основных морфоструктур океанского дна Юго-Западной Атлантики (рис. 1). Ее склоны подвергаются интенсивному воздействию контурных течений в разных интервалах глубин: Антарктические промежуточные воды

¹ Институт океанологии им. П.П. Ширшова Российской Академии наук, Москва, Россия

*E-mail: ollevses@mail.ru

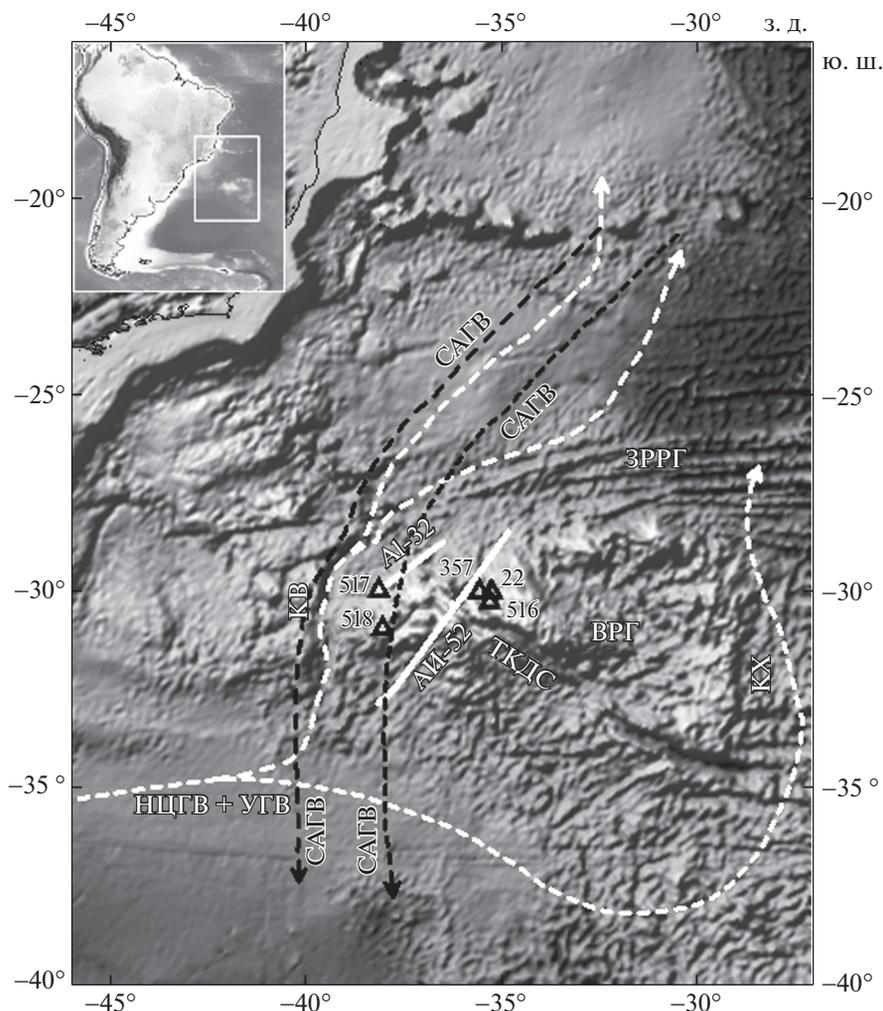


Рис. 1. Карта рельефа дна в районе возвышенности Риу-Гранди (основа GMRT version 3.6). Положение района исследования показано на врезке. Структуры дна: ВРГ – возвышенность Риу-Гранди, ЗРРГ – разломная зона Риу-Гранди, ТКДС – трог Крузейро-ду-Сул, КВ – канал Вима, КХ – канал Хантер. Течения: САГВ – Североатлантические глубинные воды, НЦПВ + УГВ – Нижние циркумполярные воды + Глубинные воды моря Уэдделла. Сейсмоакустический профиль “SES-2000 deer” рейсов нис “Академик Иоффе”: 32-го – AI-32 и 52-го – AI-52.

(ААПВ, 400–1000 м), Верхние циркумполярные воды (ВЦПВ, 1000–1800 м), Североатлантические глубинные воды (САГВ, 1800–3700 м) и Нижние циркумполярные воды + Глубинные воды моря Уэдделла (НЦПВ + УГВ, >3700 м), которые влияют на морфологию дна и контролируют процессы осадконакопления. Эти донные термохалинные течения могли оставить отчетливые “отпечатки” в структуре осадочного покрова возвышенности [8, 9]. Полагают, что неровный рельеф дна ее склонов и перерывы в осадконакоплении в интервале глубин 2000 и 3600 м частично связаны с разрывом контурным течением САГВ [10]. В свою очередь, возвышенность Риу-Гранди является препятствием его распространению на юг, как и текущему на север НЦПВ.

В трех рейсах по программе глубоководного бурения DSDP выполнен большой объем исследова-

ний строения осадочного покрова возвышенности Риу-Гранди [11]. Верхняя часть осадочного покрова на вершине и западном склоне сложена пелагическими карбонатными илами раннемиоценового-четвертичного и среднеплиоценового-четвертичного возраста соответственно. В изученных образцах осадков не отмечены какие-либо признаки деятельности донных течений или турбидных потоков. В целом полученные результаты свидетельствуют, что начиная с позднего эоцена здесь было развито непрерывное пелагическое осадконакопление, а современный режим циркуляции океанских вод установился в позднем плиоцене примерно 3.0 млн лет назад. Контуритовые фации в разрезе пробуренных скважин не отмечены, по-видимому, из-за недостаточно детального пробоотбора верхних осадочных толщ при глубоководном бурении. Лишь

в пелагических известковых илах в основании западного склона раннемиоценового-четвертичного возраста выявлены песчаные прослои, которые рассматриваются как возможные турбидиты.

Сейсмопрофилирование является основным и первоначальным методом выявления контуритовых структур, потом выполняется пробоотбор для литолого-стратиграфического изучения слагающих их осадков и измерение придонных течений [5, 6]. Большой объем сейсмопрофилирования на возвышенности Риу-Гранди выполнен при выборе мест скважин DSDP, но никакие контуритовые структуры в итоговых публикациях не упоминаются, хотя здесь предполагается активное воздействие придонных течений на процессы осадконакопления [11]. Единственный пример возможных контуритовых осадочных структур на возвышенности Риу-Гранди приведен пока только в работе [12], где по данным съемки с многолучевым эхолотом на ее своде выделены формы рельефа дна, похожие на осадочные волны. Сами эти авторы указывают на необходимость изучения осадочных волн сейсмическим профилированием. Высокоразрешающая сейсмоакустическая съемка в 32 (2010 г.) и 52 рейсах НИС “Академик Иоффе” (2016 г.) (рис. 1) впервые выявила на возвышенности Риу-Гранди осадочные структуры, которые могли быть образованы контурными придонными течениями.

В средней части возвышенность Риу-Гранди разделяется на два сегмента трогом Крузейру-ду-Сул СЗ–ЮВ-простираения, который является грабеном, образованным активным тектонизмом в среднем эоцене [13]. На профиле АИ-52 (рис. 1) наблюдаются структуры, которые предположительно можно отнести к контуритовым. В тонкослоистой волнистой осадочной толще мощностью 10–15 м восточного борта трогом развита серия четких асимметричных ундуляций пачки субпараллельных рефлекторов, которые конформно отображаются в волнистой морфологии дна (рис. 2). Высота этих ундуляций около 5 м и длина волн (расстояние между гребнями) ~1 км. Вершины их сводов мигрируют в сторону склона вверх по разрезу, что типично для осадочных волн [5, 6]. В центральной части днища трогом дно подстилается акустически прозрачными осадками мощностью до 30 м, которые сильными рефлекторами разделяются на несколько линз. Аналогичные линзы, но стратифицированных осадков, развиты в основании его западного борта. А самая верхняя линза образует здесь уплощенное поднятие высотой несколько метров. На профиле нис “Фред Мур” (1979 г.) (архив MGDS) в основании западного склона трогом Крузейру-ду-Сул четко выделяется похожее осадочное тело мощностью около 150 м и длиной примерно 5 км (рис. 2). Подобное осадочное тело наблюдается в районе трогом Крузейру-ду-Сул южнее скв. 516 на профиле

нис “Вима” [10]. Возможно, эти линзовидные образования являются небольшими контуритовыми пластерными дрефтами.

Осадочные волны и небольшие контуритовые дрефты в трогом Крузейру-ду-Сул, по-видимому, образованы ветвью контурного течения распространяющихся через него в северном направлении Антарктических Промежуточных Вод. Это подтверждают выделенные здесь наблюдения с доплеровским измерителем течений [12]. Один из механизмов образования осадочных волн эти авторы связывают с региональной антициклонической циркуляцией водных масс течения ААПВ. Согласно альтернативному механизму, разрушение внутренних волн создает активную турбулентность вблизи дна, которая приводит к перетолжению осадков в виде осадочных волн. Ранее волнистую структуру слоистых осадков мощностью до 85 м в трогом Крузейру-ду-Сул на записях сейсмопрофилографа “Парасаунд” 17 рейса НИС “Академик Сергей Вавилов” (2003 г.) объясняли недавней тектонической активностью, а наблюдаемые ундуляции интерпретировали как молодые складчатые деформации [13]. Однако из анализа данных сейсмопрофилирования сделан вывод, что тектонические и вулканические процессы, сформировавшие наклонные блоки фундамента в осевой части трогом Крузейру-ду-Сул, были активны до среднего миоцена, после чего образование разломов прекратилось [10]. Сейсмоакустические данные рейса АИ52 подтвердили, что это, скорее, контуритовые осадочные волны, сформированные не тектоническими, а седиментационными процессами.

Сейсмоакустическое профилирование 52 рейса НИС “Академик Иоффе” выявило некоторые различия морфологии и структуры донных отложений на северном и южном склонах возвышенности Риу-Гранди. Шероховатый облик крутого северного склона с более расчлененным рельефом дна, по-видимому, создает слагающие его оползневые отложения и гравититы с непрозрачной и хаотической “комковатой” внутренней акустической структурой (рис. 3). Подобные участки на крутых склонах возвышенности рассматривали как признаки эрозии или неотложения из-за активности донных течений вниз по склону разной природы [10]. В основании склона дно становится более пологим и ровным, а в подстилающих отложениях прослеживаются непрерывные протяженные рефлекторы. Здесь можно предположить иной характер процессов рельефообразования и осадконакопления. Типичные контуритовые осадочные структуры на профиле АИ-52 здесь скорее не наблюдаются. Однако небольшие пологие аккумулятивные осадочные тела, выступающие в рельефе дна, участки стратифицированных осадков с гладкими параллельными рефлекторами и непрерывные рефлекторы

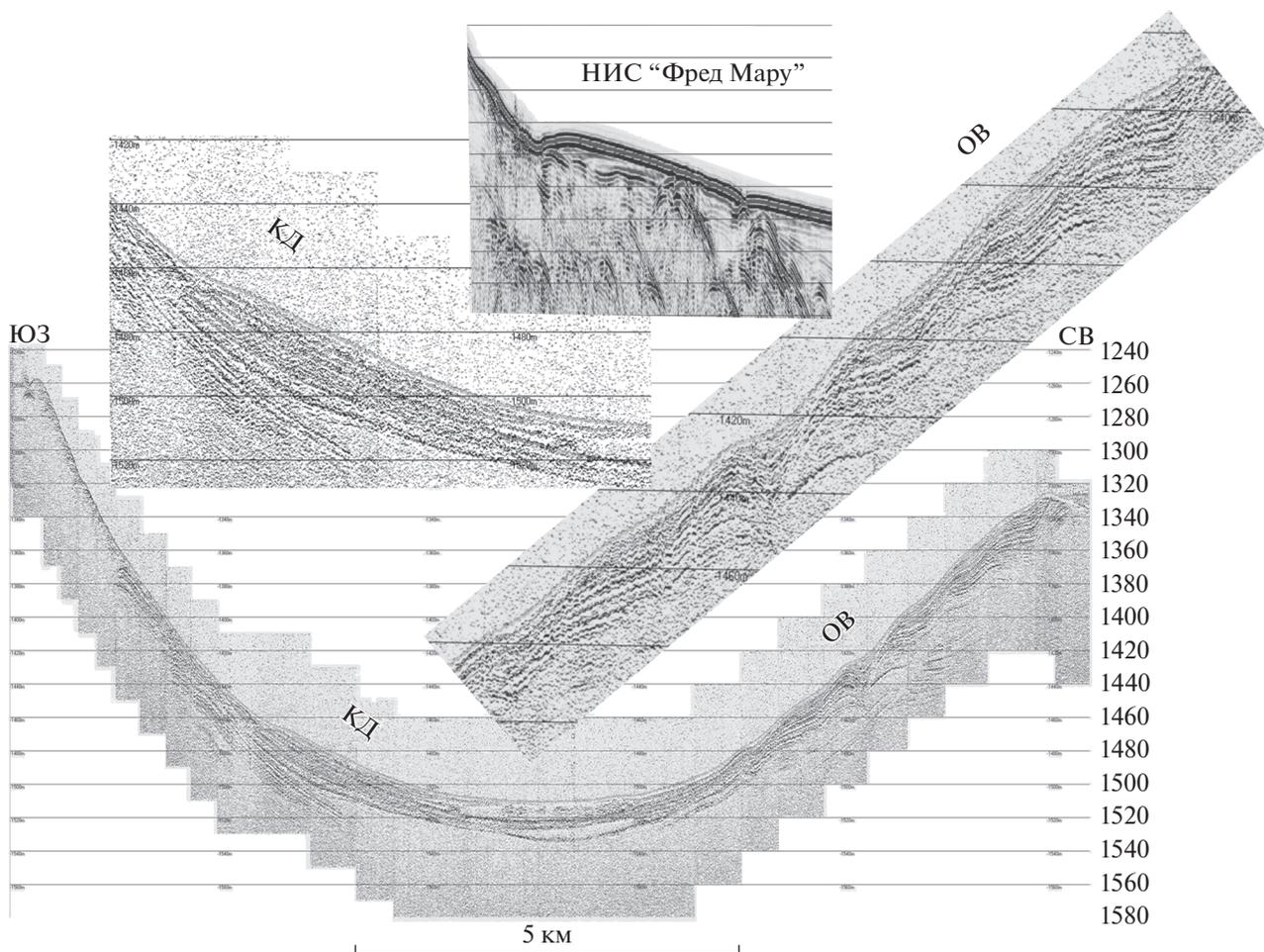


Рис. 2. Фрагмент профиля 52 рейса НИС “Академик Иоффе” в трое Крузейру-ду-Сул на вершине возвышенности Риу-Гранди. Положение показано на рис. 1. Детально показаны осадочные волны и контуритовый дрефт, а также фрагмент многоканального сейсмопрофиля НИС “Фред Мару” (архив MGDS) с подобным контуритовым дрефтом.

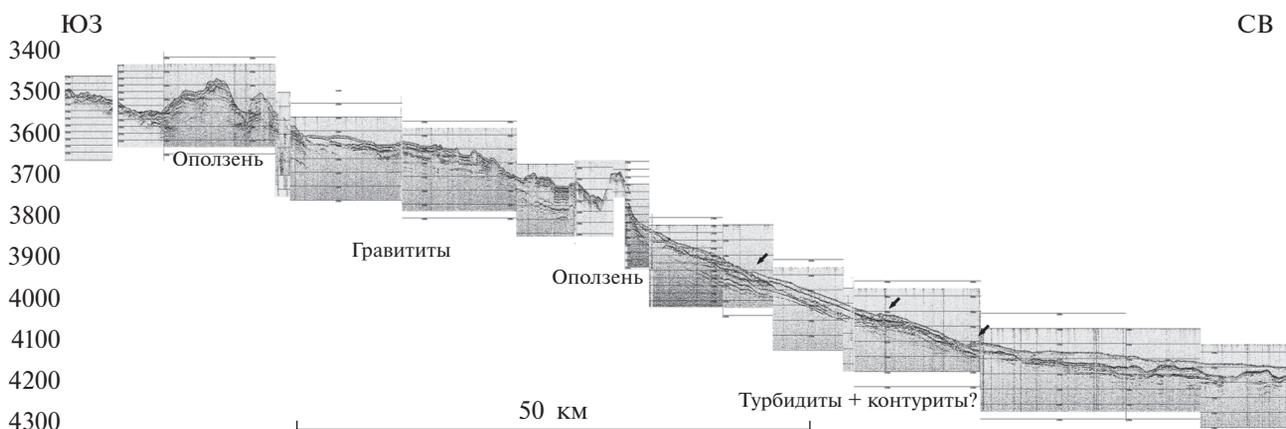


Рис. 3. Фрагмент профиля 52 рейса НИС “Академик Иоффе” в нижней части северного склона возвышенности Риу-Гранди. Стрелками показаны пологие аккумулятивные осадочные тела в его основании. Положение см на рис. 1.

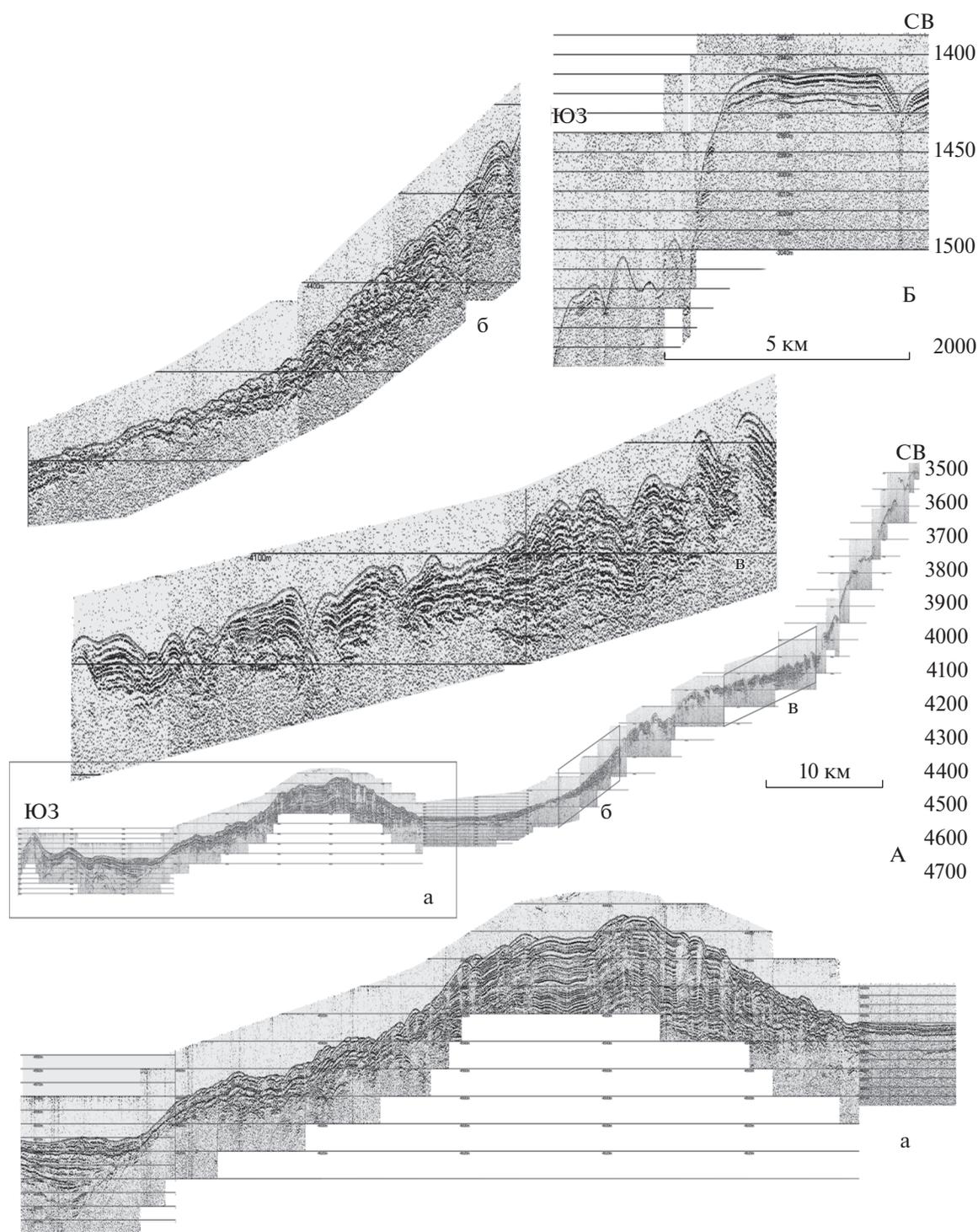


Рис. 4. А – фрагмент профиля 52 рейса НИС “Академик Иоффе” в нижней части южного склона возвышенности Риу-Гранди. Положение показано на рис. 1. Детально показаны участки: смешанная турбидито-контуритовая осадочная система (а), отложения плотных потоков неконсолидированных осадков (б), регулярные гряды параллельно слоистых осадков с конформными внутренними рефлекторами, частично контуритовые (в). Б – участок в верхней части склона, похожий на контуритовую террасу с эрозионным каналом.

внутри акустически прозрачных осадков допускают влияние контурного придонного течения. Известно, что одна из ветвей идущего с юга дон-

ного течения НЦПВ и УГВ после выхода их канала Вима поворачивает на восток и идет по широтному разлому Риу-Гранди вдоль подножия воз-

вышенности [8, 9]. Взаимодействие плотностных потоков вниз по склону с этим донным контурным течением могло формировать смешанную турбидито-контуритовую осадочную систему в основании северного склона возвышенности Риу-Гранди.

На ее южном склоне на профиле АИ-52 (рис. 4) можно также наблюдать признаки вторичной переработки осадочных отложений, отсутствие которых ранее отмечалось [9]. Оползневые гряды хаотического заполнения и протяженные эрозионные поверхности в средней части южного склона, по-видимому, сформированы плотностными потоками вниз по склону. Наиболее наглядно это подтверждают участки профиля с хаотической структурой, которую создают многочисленные близко расположенные гиперболические отражающие границы (участок (б) на рис. 4). Такая структура типична для отложений плотностных потоков неконсолидированных осадков. На южном склоне возвышенности Риу-Гранди развитие контуритовых отложений более вероятно, чем на северном. Они могут частично слагать регулярные гряды параллельно-слоистых осадков с конформными внутренними рефлекторами (участок (в) на рис. 4). В верхней части склона участок с горизонтальной поверхностью дна обрывается в сторону котловинным крутым уступом высотой более 100 м (рис. 4Б), по-видимому, являющимся одним из бенчей на склонах возвышенности Риу-Гранди, образованных придонным течением [10]. С другой стороны, этот участок со слабо волнистой тонкослоистой осадочной толщей видимой мощностью до 20 м ниже выровненной поверхности дна ограничен неглубоким эрозионным рвом. В целом этот участок южного склона на границе ВЦПВ и САГВ похож на контуритовую террасу, которые широко развиты по границам водных масс на континентальной окраине Южной Америки [например, 14]. Возможно, здесь на склон воздействовали подобные донные течения.

В основании южного склона находится аккумулятивное осадочное тело высотой более 150 м и протяженностью порядка 20 км (участок (а) на рис. 4). Протяженные участки конформных параллельно-слоистых осадков мощностью до 80 м в его средней части могут иметь контуритовую природу. На флангах этой насыпи развиты стратифицированные отложения мощностью до 40–50 м, более напоминающие отложения плотностных потоков, отмеченные выше по склону. Регулярная волнистая морфология дна южнее этой насыпи, внутренняя структура слоистых ундуляций размерами несколько километров и высотой до 40 м предполагает активное влияние донных течений на процессы осадконакопления и рельефообразования. В основании южного склона возвышенности Риу-Ганди, возможно, также существует смешанная турбидито-контуритовая осадочная

система, отличающаяся по своему строению и генезису от развитой в основании северного. В целом роль плотностных потоков вниз по склону здесь ниже, тогда как роль контурного течения НЦПВ, наталкивающегося на возвышенность, напротив, выше.

Для проверки контуритовой природы структур, выявленных нами на возвышенности Риу-Гранди сейсмоакустическим профилированием в рейсах НИС “Академик Иоффе”, необходимо выполнить их детальную съемку с многолучевым эхолотом и высокоразрешающим сейсмопрофилографом типа “SES-2000 deep”.

ИСТОЧНИКИ ФИНАНСИРОВАНИЯ

Работа выполнена в рамках проекта РНФ № 18–17–00227 (Левченко О.В., Борисов Д.Г.), В.Н. Либина выполняла сбор и обработку данных сейсмопрофилирования в рамках государственного задания (тема № 0149–2019–0006).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Борисов Д.Г., Мурдмаа И.О., Иванова Е.В. и др. // Океанология. 2013. Т. 53. № 4. С. 517–528.
2. Левченко О.В., Мурдмаа И.О. Океанология. 2013. Т. 53. № 1. С. 139–144.
3. Левченко О.В., Мурдмаа И.О., Иванова Е.В. и др. // ДАН. 2014. Т. 458. № 4. С. 480–485.
4. Мурдмаа И.О., Левченко О.В., Маринова Ю.Г. // Литология и полезные ископаемые. 2012. № 5. С. 427–450.
5. Rebesco M., Camerlenghi A. (Eds). Contourites. Elsevier, Amsterdam. 2008. 666 p.
6. Rebesco M, Hernández-Molina F.J., Van Rooij D., et al. // Marine Geology. 2014. V. 352. P. 111–154.
7. Reid J.L., et al. // J. Phys. Oceanogr. 1977. V. 7. № 1. P. 62–91.
8. Johnson D.A. In Init. Rep. DSDP. 1983. V. 72. P. 15–35.
9. Johnson D.A. In Init. Rep. DSDP. 1983. V. 72. P. 977–994.
10. Barker P.F., Buffler R.T., Gamboa L.A. In Init. Rep. DSDP.V.72.1983b. P. 499–517.
11. Barker P. F., Carlson R. L., Johnson D. A., et al. Init. Repts. DSDP. V.72: Washington (U.S. Govt. Printing Office). 1983a. 1124 p.
12. Lisniewski M.A., Harlamov V., Frazão E.P., et al. In: 2017 IEEE/OES Acoustics in Underwater Geosciences Symposium (RIO Acoustics). 2017. P. 1–5.
13. Пейве А.А., Турко Н.Н., Цуканов Н.В. и др. // ДАН. 2004. Т. 397. № 4. С. 511–516.
14. Preu B, Hernandez-Molina F.J., Violante R., et al. // Deep-Sea Res. P. I. 2013. V. 75. P. 157–174

SEISMIC EVIDENCES OF CONTOURITES ON RIO GRANDE RISE, SOUTH-WEST ATLANTIC

O. V. Levchenko^{a,#}, Corresponding Member of the RAS L. I. Lobkovsky^a, D. G. Borisov^a, and N. V. Libina^a

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

[#] *E-mail: ollevses@mail.ru*

Several features probably formed by contour bottom currents are recognized on the Rio Grande Rise by high-resolution seismic survey in the transatlantic profiles of 32 and 52 cruises of *RV Academic "Ioffe"* carried out by Shirshov Institute of Oceanology. Deposits of mixed turbidite-contourite sedimentary systems near base of its southern and northern slopes seem to be formed as a result of interaction of gravitational flows down-slope and the along-slope deep-water current of Lower Circumpolar Deep Water+Weddell Sea Deep Water. Sediment waves and disputable small plaster contourite drifts in the Cruzeiro-do-Sul Trog on its top are probably formed by the circulation of the Antarctic Intermediate Water.

Keywords: contour bottom currents, mixed turbidite-contourite sedimentary systems, South-West Atlantic