

## ЭРОЗИОННО-АККУМУЛЯТИВНЫЕ ПРОЦЕССЫ В СЕВЕРНОМ СЕКТОРЕ КОНТУРИТОВОЙ СИСТЕМЫ КОНТИНЕНТАЛЬНОГО СКЛОНА ПАТАГОНИИ

**И.О. Мурдмаа, А.Г. Росляков, Д.Г. Борисов**

*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 20.11.2018, одобрена к печати 15.12.2018

Цикл из двух статей посвящен изучению процессов эрозии дна и аккумуляции осадков в северном секторе ранее выделенной контуритовой системы континентального склона Патагонии, на 46–42° ю.ш., на глубинах от 2100 до 5200 м. В первой статье данного цикла приведена генетическая интерпретация оригинальных сейсмоакустических профилей высокого разрешения, полученных с помощью параметрического эхолота-профилографа «SES 2000 deer» при проникновении акустического сигнала в толщу осадков с предположительным возрастом до позднего миоцена, на глубину до 60 м ниже поверхности дна. Выделены сейсмофации контуритов и гравититов, а также эрозионные структуры, вырытые под действием вдольсклоновых контурных течений и гравитационных потоков, стекающих вниз по склону по подводным каньонам под действием силы тяжести. Показано, что гравититы, отложенные гравитационными потоками, служат источником осадочного материала для накопления контуритовых дрефтов. Преобладание эрозии над аккумуляцией на изученном участке континентального склона объясняется дефицитом поступающего с суши терригенного материала и большой интенсивностью динамики придонных вод, включая контурные течения, внутренние волны, бентические штормы, а также гравитационные потоки по каньонам.

**Ключевые слова:** сейсмопрофилирование, сейсмофации, латеральная седиментация, придонные течения, контуритовая терраса, дрефт, континентальное подножие, каньоны, Аргентинская котловина, Атлантический океан

### Введение

В результате интенсивных геолого-геофизических исследований последних десятилетий классическая схема пассивных континентальных окраин, включающая шельф, крутой континентальный склон, пологое осадочное тело континентального подножия (continental rise) и приконтинентальные абиссальные равнины, претерпела существенные изменения (Hernández-Molina et al., 2008; Rebesco et al., 2014; Hernández-Molina et al., 2016). Выяснилось, что морфология всех элементов этой схемы существенно осложнена как эрозионными (подводные каньоны, протяженные контуритовые каналы, короткие рвы, террасы), так и аккумулятивными (от полей осадочных волн до гигантских осадочных валов и хребтов) формами рельефа. Преимущественно осадочная природа расчлененного рельефа пассивных

континентальных окраин теперь уже хорошо обоснована обширным фактическим материалом и теоретическими построениями контуритовой парадигмы. Роль тектоники сводится, в основном, к созданию фундамента, на котором разворачиваются гравитационные (поперек склона, под действием силы гравитации) и контуритовые (вдоль склона, под действием придонных течений) процессы эрозии, транспорта и отложения осадков. Роль сейсмических толчков, редких на пассивных окраинах, здесь не рассматривается.

Континентальная окраина Аргентины, между Мальвинским (Фолклендским) плато на юге ( $49^{\circ}$  ю.ш.) и  $42^{\circ}$  ю.ш. на севере, была детально исследована геофизическими методами, начиная с 70-х гг. прошлого века, как яркий пример одной из крупнейших в Мировом океане эрозионно-аккумулятивных контуритовых систем, приуроченных к пассивным континентальным окраинам (Hernandez-Molina et al., 2009, 2010; Muñoz et al., 2012, 2013; Preu et al., 2013). На ее примере было показано, как после открытия пролива Дрейка и установления глубоководной циркумполярной антарктической системы течений в среднем миоцене, развивалась существующая в настоящее время контуритовая система. Главным ее динамическим фактором были и остаются движущиеся на север придонные потоки разных вод антарктического происхождения, прижатые к склону силой Кориолиса. Частные контуритовые подсистемы сочетаются с гравититовыми системами, главным образом, служащими источниками терригенного материала для контуритов. Реже встречаются небольшие самостоятельные тела гравититов.

По батиметрическим данным и результатам многоканальной сейсмической съемки контуритовая система континентального склона Аргентины делится примерно по  $46^{\circ}$  ю.ш. на два сектора (Hernández-Molina et al., 2010). Южный сектор, который в данной статье не рассматривается, можно условно назвать «террасовым», поскольку там наиболее выразительными контуритовыми морфоструктурами являются пять контуритовых террас (см. рис. 1). Северный «каньонный» сектор, которому посвящена настоящая работа, расположен, в основном, между параллелями  $46$  и  $42^{\circ}$  ю.ш. Он характеризуется наличием нескольких крупных сложно разветвленных подводных каньонов и множества мелких каньонов, а также выклиниванием террас южного сектора, развитием контуритовых дрейфов и каналов. Названия крупных форм рельефа обоих секторов приведены на рис. 1 (по Hernández-Molina et al., 2010).

В первой статье настоящего цикла дана генетическая интерпретация фрагментов сейсмоакустических профилей высокого разрешения, демонстрирующих разные проявления эрозионно-аккумулятивной деятельности вдольсклоновых контурных течений и спускающихся по каньонам гравитационных потоков. Во второй статье данного цикла рассмотрены вопросы литологии и биостратиграфии верхнего (четвертичного) слоя донных отложений, вскрытых четырьмя колонками в 37-м рейсе НИС «Академик Иоффе». Делаются выводы о процессах латеральной седиментации в северном секторе контуритовой системы.

В 33-м (2010 г.), 37-м (2012 г.) и 53-м (2017 г.) рейсах НИС «Академик Иоффе» с помощью высокоразрешающего параметрического эхолота-сейсмопрофилографа

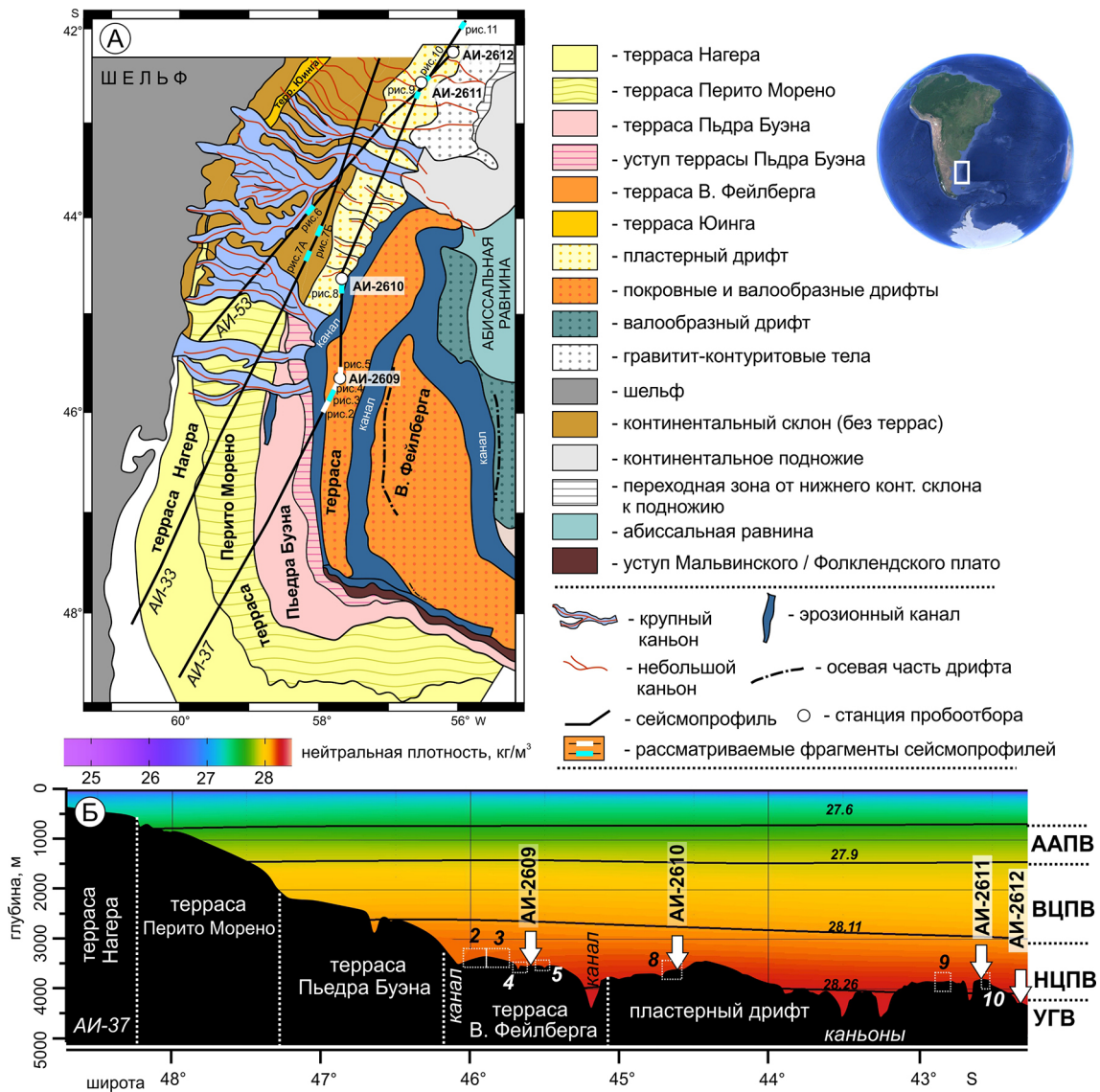


Рис. 1. Эрозионно-аккумулятивная контуритовая система континентального склона Патагонии. (А) Фрагмент упрощенной геоморфологической схемы континентальной окраины на юго-западе Аргентинской котловины (по Hernandez-Molina et al., 2010 с изменениями). (Б) Батиметрический профиль по маршруту 37-го рейса НИС «Академик Иоффе» (по данным высокочастотного канала профилографа «SES 2000 deep»), с распределением нейтральной плотности вод по разрезу водной толщи (World Ocean Atlas, 2009). Квадратами на батиметрическом профиле показано положение фрагментов сейсмопрофилей, представленных на рис. 2–11. Положение района исследования показано на врезке справа сверху.

«SES-2000 deer» были получены сейсмоакустические профили высокого разрешения, ориентированные приблизительно вдоль континентального склона северного сектора контуритовой системы Патагонии (см. рис. 1). Профили проходят в диапазонах глубин 2100–5200 м. В данной работе рассмотрены характерные примеры сейсмических фаций эрозионных и аккумулятивных форм латеральной седиментации, внутренняя акустическая структура которых не раскрыта при ранее проведенном (Hernandez-Molina et al., 2009, 2010) многоканальном сейсмопрофиле-

нии меньшего вертикального разрешения. Это позволило раскрыть новые детали механизма формирования относительно молодых, предположительно неогеновых и четвертичных, сейсмофаций второго порядка осложняющих структуру крупных форм, изображенных на карте рис. 1А, модифицированной из (Hernández-Molina et al., 2009, 2010).

### **Современная гидрологическая обстановка**

Поверхностные, промежуточные и глубинные воды в районе исследования имеют антарктическое происхождение и движутся в генеральном направлении на север вблизи континентального склона. Поверхностная циркуляция контролируется Мальвинским / Фолклендским течением, которое в районе залива Ла-Плата сталкивается с теплым Бразильским течением. В зоне их слияния формируется большое количество мощных вихрей, энергия которых может передаваться через всю водную толщу, что приводит к бентическим штормам (напр., Piola, Matano, 2001). Результатом бентических штормов может быть глубокая эрозия донных отложений, взмучивание и переотложение осадков (Thran et al., 2018). Положение зоны слияния Бразильского и Мальвинского течений меняется в пределах 35–45° ю.ш. Промежуточные и глубинные воды представлены соответственно Антарктической промежуточной водой (ААПВ), Верхней (ВЦПВ) и Нижней Циркумполярной водой (НЦПВ) и Глубинной водой моря Уэдделла (УГВ) (Reid, 1989; Reid, 1996). Условные границы между водами соответствуют изолиниям нейтральной плотности  $\theta = 27.6, 27.9, 28.11, 28.26$  кг/м<sup>3</sup> (Mogozov et al., 2010) и прослеживаются на глубинах ~800, 1500, 2500 и 4000 м соответственно (рис. 1Б, согласно World Ocean Atlas, 2009 (Locarini et al., 2009; Antonov et al., 2009)). Течение ААПВ движется вдоль склона примерно до 40° ю.ш., а затем поворачивает на восток, формируя большой антициклонический круговорот. Циркумполярные воды и УГВ распространяются на север в сложной системе круговоротов.

### **Методика сейсмоакустического профилирования**

Сейсмоакустическое профилирование, результаты которого использованы в данной работе, выполнялось попутно в перегонных рейсах 33, 37, 53 НИС «Академик Иоффе» из Европы или Канады в Ушуайя (Аргентина) и обратно с минимальным отклонением от рекомендованного маршрута (Мурдмаа и др., 2012; Левченко, Мурдмаа, 2013). Выбранные для изучения фрагменты профилей ориентированы примерно вдоль склона, а небольшие поперечные отрезки сняты, в основном, с целью выбора точек станций для отбора колонок. Профилирование выполнялось с использованием узколучевого параметрического профилографа высокого разрешения «SES–2000 deer» производства «Innomar Technologie GmbH» (Германия). Основные технические характеристики профилографа приведены в предшествующих публикациях (напр., Мурдмаа и др., 2012; Левченко, Мурдмаа, 2013). Глубина

исследования (ниже дна) составляет, по документации прибора, до 200 м, но меняется в зависимости от физических свойств осадков. Фактически в пределах района работ проникновение в толщу осадков составляло от нуля (жесткое дно) до 50–60 м (неконсолидированные тонкозернистые илы). Вертикальное разрешение – до 15 см, что подтверждено нашей практикой (Murdmaa et al., 2012). Скорость звука в воде и в неконсолидированных осадках принята равной 1500 м/с.

При сопоставлении фрагментов сейсмоакустических профилей на рисунках 2–11, следует обратить внимание на различие масштабов, подобранных с целью большей наглядности изображения геоморфологических объектов. Поскольку отношение вертикального масштаба к горизонтальному везде резко увеличено (до 50 раз), уклоны дна на рисунках искажены соответственно.

### Сейсмоакустические фации

Поскольку строгая генетическая интерпретация сейсмоакустических профилей высокого разрешения (до первых десятков сантиметров) глубоководных отложений пока не разработана, мы решили при характеристике записей «SES 2000 deer», полученных на континентальном склоне Патагонии, пользоваться термином сейсмоакустические фации (сокращенно сейсмофации). Под сейсмофацией понимается обобщенный образ наблюдаемой записи, отличный от соседней по профилю или в разрезе. Понятие «сейсмофация» увязывает между собой особенности волновой картины на сейсмических разрезах с литологическими и физическими параметрами изучаемых осадочных толщ. Разные типы сейсмофаций (т.е. акустических образов донных отложений) отличаются конфигурацией отражающих границ, их частотными и амплитудными характеристиками. Естественно предположить, что латеральная сейсмофациальная изменчивость отражает изменения какого-нибудь параметра или совокупности параметров обстановки осадконакопления.

Вертикальная смена сейсмофаций в разрезе выражает изменения режима седиментации. При этом надо иметь в виду, что отражающие границы в разрезе (здесь и ниже названные рефлекторами) не всегда соответствуют границам разных литологических типов осадков или стратиграфическим рубежам (например, перерывам). Рефлекторы могут быть обусловлены малозаметными изменениями физических свойств осадков, связанные с диагнезом или даже интерференцией акустических сигналов, отраженных тонкослоистыми (ламинированными) текстурами. Поэтому термин «акустически стратифицированная» толща (сейсмофация) не обязательно отражает реальную слоистость, хотя часто совпадает с ней в обобщенном виде.

Два первых фрагмента профиля АИ-37 характеризуют, согласно нашей интерпретации, юго-западный склон (рис. 2), гребень и северо-восточный склон (рис. 3) пологого валообразного контуритового дрефта. Он расположен между двумя ветвями главного вдольсклонового контуритового канала и возвышается над поверхностью тер-

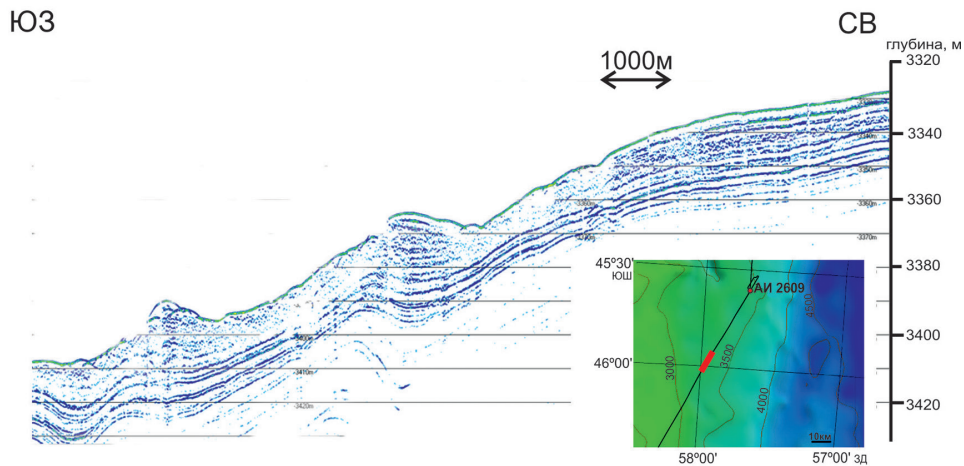


Рис. 2 Фрагмент сейсмоакустического профиля АИ-37, показывающий юго-западный склон контуритового дрефта на террасе Фейлберга с зачаточными осадочными волнами, в которых сочетаются акустически прозрачные гравититовые и параллельно стратифицированные контуритовые сеймофации. Положение фрагмента см. на рис. 1.

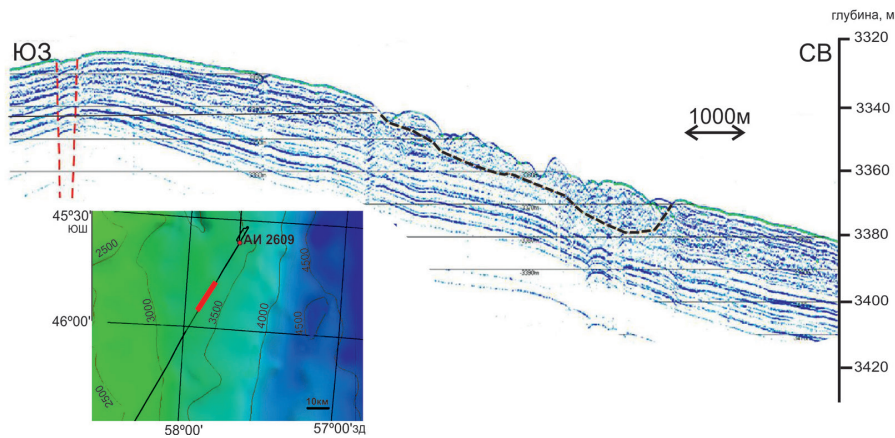


Рис. 3. Фрагмент сейсмоакустического профиля АИ-37, показывающий гребень и северо-восточный склон того же дрефта, который на рис. 2. Черной штриховой линией выделена эрозивная поверхность, на котором залегают тела оползневых отложений. Красными штриховыми линиями показаны предполагаемые разрывные нарушения. Положение фрагмента см. на рис. 1.

расы Фейлберга (см. рис. 1) на относительную высоту около 60 м. Субмеридионально вытянутый дрефт пересечен профилем, вероятно, диагонально, под небольшим углом к его простиранию, что создает ложное впечатление о пологости его склонов.

Во внутреннем строении дрефта четко выделяется верхняя акустически стратифицированная пачка мощностью 20–30 м, залегающая согласно с рельефом дна и содержащая десяток рефлекторов, выдержанных вдоль профиля в гребневой части дрефта. Расстояния между рефлекторами минимальны на гребне (около 2 м) и увеличиваются к подножию (до 3 м или более).

Поверхность юго-западного склона дрефта осложнена двумя небольшими (зачаточными?) осадочными волнами (рис. 2). Их высота менее 10 м, а расстояние между вершинами составляет 3400 м. Форма и внутреннее строение асимметричны. Склоны, обращенные вниз, т.е. против предполагаемого придонного течения, пологие и сложены акустически прозрачными осадками, так же как ложбины между волнами, возможно, оползавшими. Более крутые склоны, обращенные вверх, т.е. по течению, представлены обрывками фоновой стратифицированной, вероятно, контуритовой сейсмофации. Переход от акустически прозрачной (оползневой?) сейсмофации к стратифицированной (контуритовой?) резкий, напоминает эрозионный. Во внутреннем строении волн прослеживается их смещение вверх по склону дрефта, типичное для контуритовых осадочных волн (Rebesco et al., 2014).

На северо-восточном склоне дрефта (рис. 3), в 6 км к северу от фрагмента профиля юго-западного склона (изображенного на рис. 2), стратифицированная сейсмофация нарушена типичной акустической структурой сползания неконсолидированных осадков: мелкими неупорядоченными неровностями микрорельефа дна, хаотичными обрывками низкоамплитудных рефлекторов и наличием подстилающей поверхности скольжения. В верхней по склону части оползневой тела, представляющей собой зону растяжения, мощность его всего несколько метров, тогда как в головной части (зоне сжатия) она достигает 15–20 м.

Нижняя граница стратифицированной пачки (сейсмофации) с нижележащими акустически прозрачными отложениями четкая, возможно представляет собой поверхность несогласия и стратиграфического перерыва. Под ней с трудом можно разглядеть обрывки каких-то древних рефлекторов. Не исключено, что они принадлежат захороненным палеоген-неогеновым «гигантским дрефтам», описанным в (Hernandez-Molina et al., 2010).

В любом случае, вытянутый немного наискосок вдоль склона дрефт представляет собой аккумулятивное тело последнего этапа развития генеральной контуритовой системы континентальной окраины Патагонии. Оно накапливалось благодаря поступлению осадочного материала гравитационными (плотностными) потоками по каньонам, разгружающимся либо прямо на террасу Фейлберга, либо в ограничивающие ее контуритовые каналы с последующим вдольсклоновым переносом контурными придонными течениями. Судя по современной глубине над гребнем (3330 м), дрефт намывается потоком нижних циркумполярных антарктических вод. Взмученный осадочный материал, скорее всего, поступает снизу, из западной ветви контуритового канала, эродируемого плотными глубинными водами моря Уэдделла (см. рис. 1Б).

Основные эрозионные процессы в северном секторе контуритовой системы связаны с гравитационными потоками, устремляющимися вниз по континентальному склону через густую сеть подводных каньонов с множеством «притоков» (см. рис. 1А). На рис. 4 приведен пример эрозионных и сопряженных аккумулятивных форм одного из каньонов, устье которого открывается на террасу Фейлберга к северу от описанного выше дрефта.

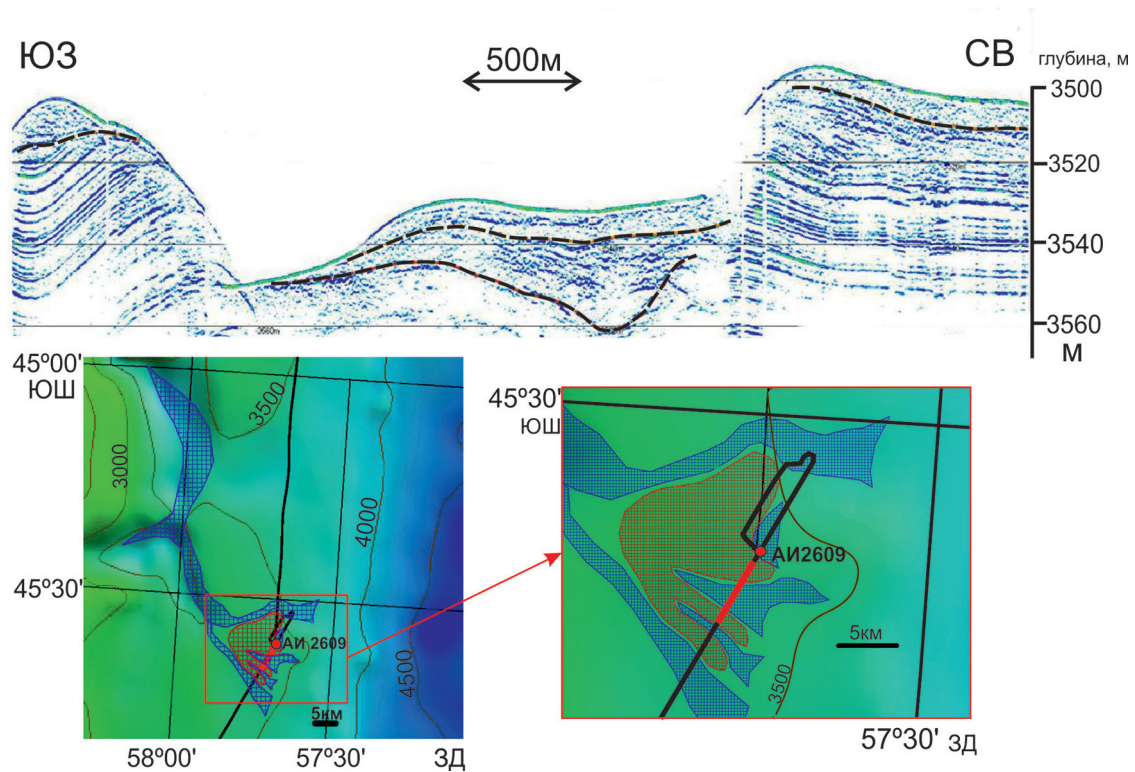


Рис. 4. Фрагмент сейсмоакустического профиля АИ-37, показывающий эрозионный врез (русло каньона?) в толще стратифицированной сейсмофации контуритов у устья каньона на террасе Фейлберга. Осадочное заполнение русла, представленное гравититами и возможно контуритами, смещено к северо-восточному (правому по отношению к направлению потоков) борту. В нем выделяется две поверхности несогласия (цветные штриховые линии), вероятно отделяющие друг от друга отложения трех стадий схода гравитационных потоков. В эродированных бортах русла обнажаются параллельно стратифицированные сейсмофации контуритов. Положение фрагмента см. на рис. 1.

Фрагмент профиля демонстрирует эрозионный врез отрога каньона относительной глубиной 30–50 м и шириной неровного дна (вдоль профиля) около 3 км, в бортах которого обнажается фоновая стратифицированная сейсмофация, вероятно, контуритов. Волнообразная геометрия параллельных рефлекторов в останце юго-западного борта подтверждает такое предположение. Под дном каньона выделяются две пачки осадочного заполнения, разделенные неровной эрозионной поверхностью, свидетельствующей о прерывистости накопления гравититов, отложенных, скорее всего, потоками полужидкого ила, либо плотного придонного нефелоидного слоя. Сходные гравититы с хаотичными неровными обрывками рефлекторов покрывают стратифицированную сейсмофацию над бровкой бортов, отражая последний этап деятельности гравитационных потоков по каньону.

Далее на север профиль пересекает тело гравититов с увеличивающейся к северу мощностью от 30 до 50 м и шириной (по профилю) около 5 км, с крутыми склонами и неровной, почти горизонтальной, вершинной поверхностью (рис. 5). Оно резко несогласно залегает на полого вогнутой гладкой поверхности параллельно стратифицированной сейсмофации предполагаемых контуритов. С обеих сторон



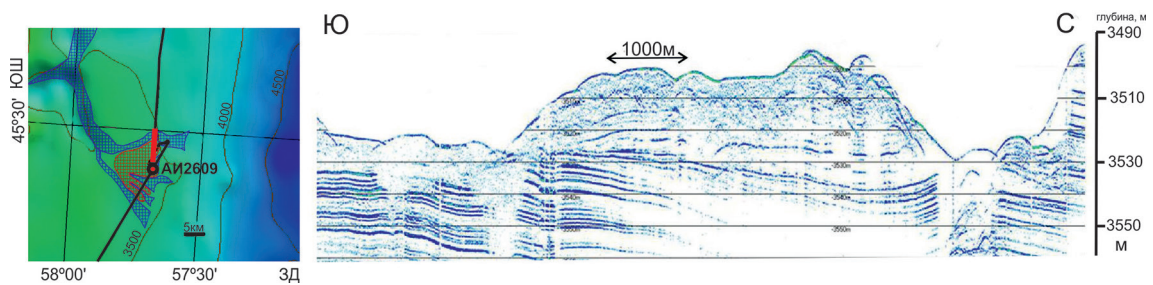


Рис. 5. Останец гравититов несогласно залегающих на гладкой поверхности стратифицированной сейсмофации контуритов, с обеих сторон ограниченный эрозионными врезам, дно которых покрыто поверхностным слоем акустически прозрачных гравититов (вероятно сползшихся мягких осадков). Положение фрагмента профиля АИ-37 см. на рис. 1.

гравититовое тело фациально сменяется акустически прозрачными отложениями с бугристой поверхностью, которые мы интерпретируем как оползневые. Они также залегают несогласно на эродированной поверхности нижележащих стратифицированных контуритов.

По одному пересечению трудно судить о морфологии тела гравититов, но мы предполагаем, что это останец, сохранившийся на обширной эрозионной поверхности огибающих его гравитационных потоков. Внутренняя акустическая структура с неровными обрывающимися рефлекторами, частично срезанными северным склоном и менее явно – южным, не противоречат такой интерпретации. Она же подтверждает гравититовую природу самих отложений, подвергшихся последующей эрозии на каком-то этапе развития эрозионно-гравититовой системы каньонов на контуритовой террасе Фейлберга, с последующими проявлениями оползания неконсолидированных осадков.

Несколько иное сочетание эрозионных и аккумулятивных процессов выявлено сейсмоакустическими профилями АИ-33 и АИ-53 в средней части тех же каньонов выше на континентальном склоне (см. рис. 1).

Профиль АИ-53 (рис. 6) прошел косо вниз вдоль террасированного юго-восточного борта отрога крупного каньона (см. карту на рис. 1) от бровки на глубине около 2100 м до локального перегиба рельефа дна на глубине 2300 м. Как видно на врезке к рис. 6, русло каньона находится примерно на километр глубже. Серия узких террас врезана эрозией гравитационными потоками в юго-восточный борт каньона, о чем свидетельствуют обнажения параллельно стратифицированной сейсмофации, по-видимому, контуритов. Серия террас отражает последовательность этапов донной и боковой эрозии. Самая верхняя терраса слева на рис. 6, возможно, представляющая бровку юго-восточного борта каньона, образована пачкой с двумя–тремя сильными рефлекторами общей мощностью 6–8 м, которая экранирует акустические отражения под ней. Возможно, что эти рефлекторы представлены слоями песка (песчаных контуритов?). Примечательно, что профиль вскрыл суммарный разрез подводного обнажения акустически стратифицированных отложений общей мощностью до 200 м.

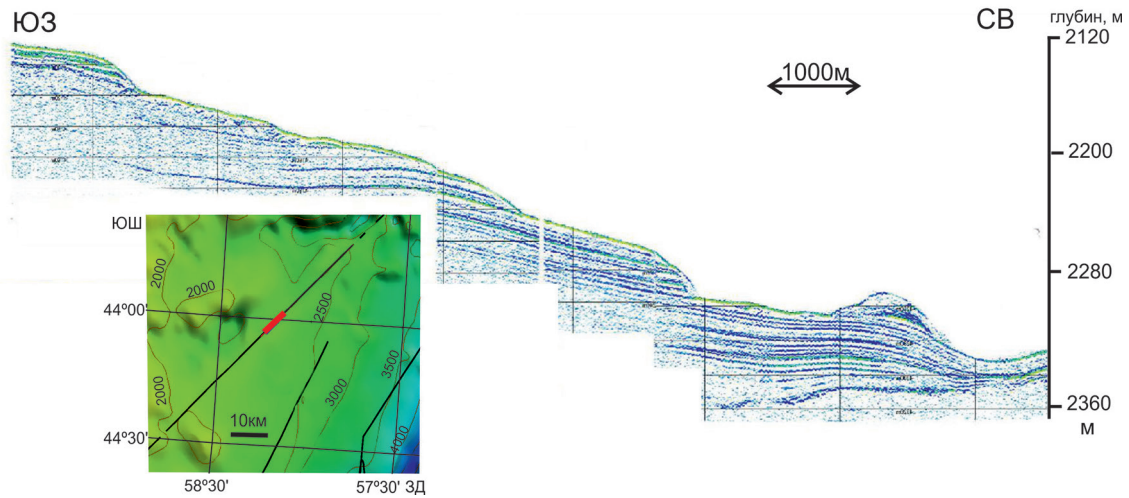


Рис. 6. Фрагмент сейсмоакустического профиля АИ-53 вдоль южного террасированного борта крупного каньона в средней части континентального склона. Борт каньона врезан в толщу параллельно стратифицированной сейсмофации контуритов видимой мощностью более 200 м. Современные осадки на террасах практически отсутствуют, кроме бровки каньона и возможно небольшого волнообразного тела на нижней террасе. Положение фрагмента см. на рис. 1А.

На глубине около 2500 м, на не террасированном участке континентально-го склона, между каньонами, профиль АИ-33 (см. рис. 1) пересек два однотипных полого холмообразных контуритовых дрифта (рис. 7А, Б). Батиметрическая схема (врезка к рис. 7) показывает, что оба фрагмента профиля относятся к краю относительно пологой террасоподобной площадки над более крутым склоном. По глубине эта площадка приблизительно соответствует террасе Пьедра Буэна южного сектора контуритовой системы (см. рис. 1Б).

Оба дрифта отделены от крутого склона пологим рвом (англ. moat), глубина которого (относительно вершин дрифтов) составляет 40–50 м. Не исключено, что это два пересечения одного и того же валообразного дрифта. Согласно интерпретации авторов, взмученный в периоды усиления контурного течения осадок перетлагался из рва в тело дрифта, направо по отношению к направлению потока (по механизму экмановского переноса). Однако признаки глубокой эрозии (с угловым несогласием) выявлены только на южном фрагменте профиля (см. рис. 7А). На северном фрагменте (см. рис. 7Б) стратифицированная сейсмофация продолжается от дрифта через ров на основной склон, но с уменьшенным расстоянием между рефлекторами, что, вероятно, указывает на частичное вымывание осадков без явной эрозии. Кроме того, сам дрифт приобретает форму пластерного, а под ним вырисовываются рефлекторы древнего холмообразного дрифта, захороненного под пластерным. В целом это, скорее всего, свидетельствует о постепенном ослаблении интенсивности эродирующей деятельности контурного течения. Кроме того, в процессе перемыва осадков из рва и подножия склона играют важную роль сила Кориолиса, сила трения, а также уклон склона (Preu et al., 2013).

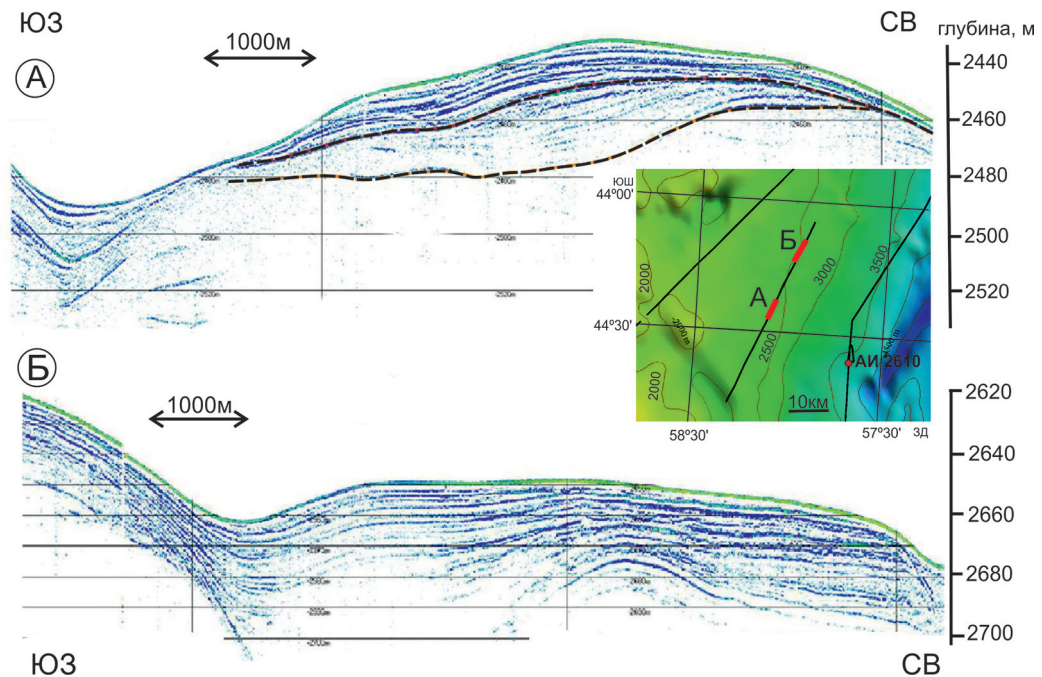


Рис. 7. Два контуритовых дрефта (или два пересечения одного валообразного дрефта), на сейсмоакустическом профиле АИ-33 в средней части континентального склона, отделенные от крутого склона пологим рвом (moat). (А) – южный фрагмент, показывающий зону эрозии между рвом и дрефтом, а также перерывы (поверхности несогласия, отмеченные пунктирными линиями) в аккумулятивном теле дрефта. Более глубоководный северный фрагмент (Б) демонстрирует непрерывную последовательность рефлекторов с увеличением расстояния между ними от склона и рва слева к пластерному дрефту справа, под которым вырисовываются контуры захороненного холмообразного дрефта. Положение фрагментов профиля АИ-53 см. на рис. 1А.

Профиль АИ-37 после поворота на станции АИ-2609 продолжается в северном направлении, пересекает контуритовый канал и выходит на акустические структуры пластерных дрефтов, выделенных в (Hernández et al., 2009, 2010), которые рассечены подводными каньонами (см. рис. 1А). После станции АИ-2610 судно следовало с сейсмоакустическим промером вдоль пояса пластерных контуритовых дрефтов на северо-восток, на глубинах от 3350 м на относительно пологих участках дна до 4510 м в каньонах, относительная глубина которых превышает 500 м. К северу от станции АИ-2612 глубина постепенно увеличивается до 5200 м.

Фрагмент сейсмоакустического профиля (рис. 8) демонстрирует неровный рельеф поверхности дна и неупорядоченно волнистую внутреннюю структуру тонко стратифицированной толщи контуритов пластерного дрефта на глубину до 50 м под дном. Профиль прошел по западной бровке (прирусловому валу?) эрозионного контуритового канала глубиной более 550 м (врезка к рис. 8), отрог которого виден в левой части профиля. Конфигурация рефлекторов на восточном борту этого отрога канала свидетельствует об аккумуляции контуритов в прирусловом вале. Довольно

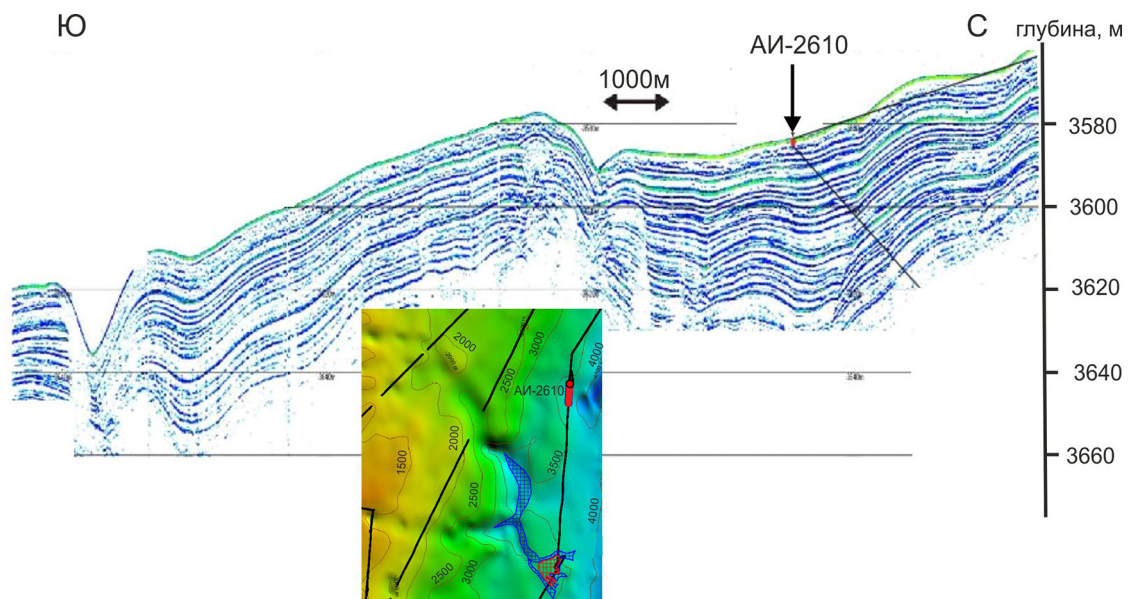


Рис. 8. Неупорядочно волнистая внутренняя акустическая структура тонко параллельно стратифицированной сейсмофации контуритов подножия крупного пластерного дрифта, выделенного по (Hernandez-Molina et al., 2010). Положение фрагмента профиля АИ-37 см. на рис. 1.

крутой уклон дна и согласно залегающих с ним рефлекторов стратифицированной сейсмофации, вероятно, указывает на пересечение профилем нижнего (восточного) склона пластерного дрифта.

Далее профиль АИ-37 проходит на северо-восток через серию пластерных дрифтов, разделенных двумя крупными и несколькими мелкими каньонами. Стекающие по каньонам гравитационные потоки (скорее всего, потоки густой суспензии или полужидкого ила) в крутых участках склона эродировали дно, а в пологих отлагали гравититы. Наши сейсмоакустические профили выявили эрозионные поверхности с глубокими врезами также внутри гравититов, интерпретированные как границы между геологически мгновенными событиями схода гравитационных потоков (см. рис. 1).

Пример этапов чередования эрозии и аккумуляции контуритов пластерного дрифта приведен на фрагменте сейсмоакустического профиля АИ-37 (рис. 9). Батиметрический уровень пластерного дрифта севернее двух пересекающих его каньонов значительно глубже (3800–3860 м), чем в юго-западной части пояса этих контуритовых структур. Обращает на себя внимание глубокое (более 60 м) проникновение акустического сигнала под поверхность дна, что указывает на относительно тонкозернистый состав осадков стратифицированной сейсмофации контуритов.

На рис. 10 приведен пример, вероятно, контуритовых осадочных волн, захороненных под покровом гравититов изменчивой мощности. Батиметрическая схема (врезка к рис. 10) указывает на возможное присутствие здесь небольшого каньона, врезанного в относительно крутой склон, по которому могли течь гравитационные потоки. Гравититы залегают с признаками эрозии на поверхности волнообразно

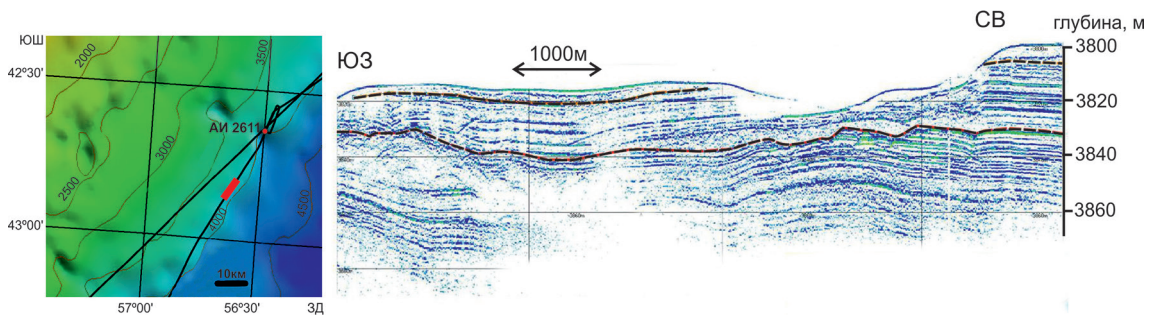


Рис. 9. Параллельно стратифицированная сейсмофация контуритов подножия крупного пластерного дрифта по (Hernandez-Molina et al., 2010), нарушенная эрозионными поверхностями несогласия (штриховые линии), включая современный эрозионный врез, а также несогласно залегающим акустически прозрачным телом оползневых отложений в южной части профиля. Положение фрагмента профиля АИ-37 см. на рис. 1.

залегающей стратифицированной пачки контуритов мощностью 15–20 м. Внутри гравититов выделяется эрозионная граница, разделяющая два события схода гравитационных потоков. В основании акустического разреза на рис. 10 выявлена почти прозрачная толща с едва заметными обрывками волнообразных рефлекторов, по-видимому, согласно залегающих под вышележащими отложениями. Однако четкая граница с вышележащей стратифицированной пачкой указывает на резкое изменение акустических свойств осадков (уплотнение?). Акустически прозрачный участок в толще стратифицированных контуритов вероятно отражает сейсмофацию оползания этих же контуритов.

Последний фрагмент рассматриваемого профиля АИ-37 (рис. 11) показывает полого выпуклый дрифт на дне контуритового канала (глубина до 5200 м) на подножии континентального склона, переходящего в абиссальную равнину. Характерный для пассивных континентальных окраин осадочный шлейф подножия (continental rise) здесь полностью отсутствует.

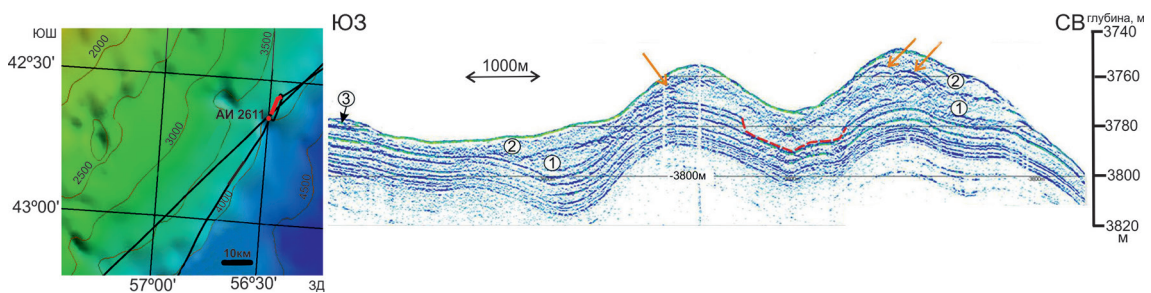


Рис. 10. Контуритовые (?) осадочные волны на подножии крупного пластерного дрифта, выделенного по (Hernandez-Molina et al., 2010), несогласно перекрытые, вероятно, сейсмофацией отложений гравитационных осадочных потоков трех фаз (цифры в кружках 1 – 3). Цветной штриховой линией показан эрозионный врез в пачку параллельно стратифицированных контуритов под гравититами. Стрелками показаны дифракционные эффекты в гравититах, обусловленные неровным рельефом их поверхности. Положение фрагмента профиля АИ-37 см. на рис. 1.

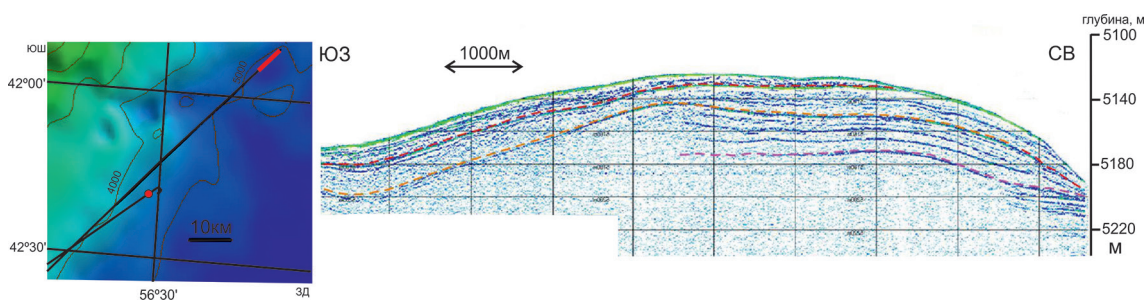


Рис. 11. Контуритовый дрейф на дне канала, вытянутого вдоль подножия континентального склона. Более пологий юго-западный склон, по-видимому, содержит плотные слои, выраженные в виде двух сильных рефлекторов, интерпретированных как поверхности эрозии (цветные штриховые линии), которые экранируют акустические сигналы. Под более крутым противоположным северо-восточным склоном дрейфта развита параллельно стратифицированная сейсмофа́ция вероятно мягких тонкозернистых контуритов с проникновением акустического сигнала на глубину до 50 м от поверхности дна.

На рис. 11 ясно видна асимметрия внутреннего строения дрейфта, хотя его морфология по одному пересечению профилем не выяснена. Юго-западный склон, обращенный против придонного течения, более пологий и отличается меньшим проникновением в толщу осадков под дном (до 30 м). Два сильных рефлектора разделяют полупрозрачные пласты, возможно, гравититов, эрозия которых контурным течением могла служить источником осадочного материала для накопления контуритов на противоположном склоне. Северо-восточный склон более крутой, а под ним залегает типичная согласная с поверхностью дна параллельно стратифицированная сейсмофа́ция аккумуляции контуритов видимой мощностью до 50 м. На северо-восточном склоне дрейфта заметно угловое несогласие со срезанием рефлекторов ранней генерации эрозионной поверхностью в подошве пачки рефлекторов поздней генерации. Неровный сильный рефлектор, который прослеживается как общая эрозионная поверхность, указывает на две стадии накопления контуритового дрейфта, разделенные периодом эрозии, очевидно связанной с усилением придонного (контурного) течения.

### Обсуждение результатов и заключение

Проведенный анализ сейсмофа́ций по фрагментам сейсмоакустических профилей высокого разрешения позволяет детализировать морфологию поверхности и внутреннюю акустическую структуру некоторых крупных элементов северного сектора Аргентинской контуритовой системы, выявленных в результате батиметрической съемки и многоканального сеймопрофилирования меньшего вертикального разрешения (Hernández-Molina et al., 2009, 2010). Тем самым удалось уточнить последовательность и гипотетические механизмы функционирования контуритовых и гравититовых эрозионно-аккумулятивных систем второго порядка на верхних нескольких десятках метров разреза структур первого порядка, пересеченных нашими профилями (см. рис. 1). К ним относятся: 1) северная часть обширной конту-

ритовой террасы Фейлберга на глубинах 3300–3500 м (см. рис. 2–5); средняя часть континентального склона с рассекающими ее каньонами на глубинах 2100–2700 м (см. рис. 6–7А, Б); 3) серия пластерных контуритовых дрифтов с рассекающими их каньонами на глубинах 3500–4000 м (см. рис. 8–10) и контуритовый канал вдоль подножия континентального склона на глубине 5100–5200 м (см. рис. 11).

Описанные в данной статье контуритовые системы функционируют в настоящее время под действием контурных течений верхних и нижних циркумполярных антарктических вод и глубинных вод моря Уэдделла (см. рис. 1Б). Придонные течения всех названных вод движутся вдоль континентального склона с юго-запада на северо-восток. Нет никаких оснований предполагать, что это генеральное направление контурных течений менялось в отрезке геологического времени, охваченного нашими сейсмоакустическими профилями, вероятно, с конца миоцена и поныне. Однако, полученные сейсмоакустические данные о смене этапов аккумуляции и эрозии контуритов указывают на резкие изменения скоростей придонных течений на всех рассмотренных уровнях глубин. Пока нет данных о возрасте этих событий и их синхронности или диахронности, но сам факт установления изменчивости скоростей контурных течений согласуется с общими теоретическими положениями контуритовой парадигмы (Rebesco et al., 2014).

Каньоны, секущие контуритовые террасы и дрифты, геологически моложе крупных контуритовых структур. Время и условия их заложения в данном районе не известны, но обычно принято считать, что эрозионные процессы на континентальном склоне усиливались в эпохи низкого гляцио-эвстатического стояния уровня Мирового океана, т.е. в ледниковые периоды или точнее – во время дегляциаций. Насколько такая закономерность справедлива для данного региона, неясно. Решение проблемы выходит за рамки данной статьи. Здесь важно отметить, что в недавнем геологическом прошлом каньоны были путями прохождения гравитационных потоков высокой плотности, служившими источником осадочного материала для контуритов. В то же время текущая вниз по руслу каньонов суспензия как «тяжелая жидкость» могла существенно усиливать эродирующий эффект мощных, но редких геологически мгновенных гравитационных потоков высокой плотности, благодаря их практически непрерывной деятельности в масштабе геологического времени.

Согласно современным представлениям (ссылки из английского фрагмента выше), террасы южного сектора генеральной контуритовой системы созданы под действием придонных течений, возможно, при участии бентических штормов и внутренних волн на условных границах водных масс в стратифицированной по плотности водной толще океана. При этом продукты эрозии переносились круговоротами течений в виде суспензии и постепенно заполняли ложбины (рвы) между древними гигантскими дрифтами и уступами террас. Такая модель процесса иллюстрирована, например, для террасы Фейлберга профилем многоканального сейсмопрофилирования (рис. 4 из Hernández-Molina et al., 2010). После достижения динамического равновесия между эрозией и аккумуляцией, эрозия склона прекратилась и на террасе начали формироваться новые холмообразные контуритовые

дрифты второго порядка, возвышающиеся над ее пологой наклонной поверхностью. Один из таких дрифтов пересечен нашим профилем АИ-37 и на его гребне в рейсе 46 НИС «Академик Иоффе» взята колонка донных осадков (Иванова и др., 2016). Подобная модель может объяснить происхождение дрифта на северном продолжении террасы Фейлберга (см. рис. 2, 3). Как видно на рис. 1Б, в настоящее время терраса омывается нижними циркумполярными антарктическими водами вблизи их нижней границы с подстилающими глубинными водами моря Уэдделла (УГВ на рис. 1Б). В недавнем геологическом прошлом именно на уровне этой границы, вероятно, выработывалась сама терраса.

Можно предположить, что наблюдаемая приуроченность террас к границам водных масс с увеличенным градиентом плотности обусловлена скоплением здесь повышенных концентраций взвеси. Возникающий таким образом тонкий придонный слой суспензии повышенной плотности и вязкости, прижатый силой Кориолиса к склону слева по отношению к движению придонного течения, должен усиливать эффект боковой эрозии при формировании террасы. Разумеется, это пока только гипотеза, требующая теоретической и экспериментальной проверки.

Кроме дрифта на террасе Фейлберга (см. рис. 2, 3), параллельно стратифицированные сейсмофации аккумуляции контуритов слагают останцы от эрозии на той же террасе (см. рис. 4) и подстилают в разрезе гравититы (см. рис. 5). Они выявлены на средней части континентального склона между каньонами (см. рис. 7) и в эрозионных ступенях борта крупного каньона (см. рис. 6). Здесь контуриты накопились под влиянием потоков верхних циркумполярных антарктических вод (ВЦПВ на рис. 1Б). Контуритовая природа дрифта на дне канала подножия континентального склона (см. рис. 11) также несомненна. Дрифт накопился, очевидно, под действием придонного течения глубинных вод моря Уэдделла (УГВ на рис. 1Б).

Накопление контуритов в нескольких дрифтах прерывалось эрозией, связанной с усилением придонных течений. Об этом свидетельствуют неровные эрозионные поверхности внутри контуритовой сейсмофации, иногда с заметными угловыми несогласиями и признаками срезания структур нижней пачки параллельно стратифицированной верхней пачкой (см. рис. 7, 11).

Однако, проявления эрозий, наблюдаемые в фрагментах профиля как на террасе Фейлберга, так и в других элементах контуритовой системы, согласно интерпретации авторов, в основном связаны с деятельностью гравитационных осадочных потоков, спускающихся по подводным каньонам. Эрозионно-аккумулятивная деятельность гравитационных потоков на континентальных склонах пассивных окраин хорошо изучена в рамках турбидитной (гравититной в более широком смысле) парадигмы, господствовавшей в морской седиментологии во второй половине прошлого века. Здесь мы остановимся кратко только на некоторых особенностях гравитационных процессов, специфичных для данного региона исследования.

Хотя континентальный склон в северном секторе генеральной контуритовой системы буквально изрезан сетью крупных каньонов с многочисленными притоками и множеством мелких каньонов (см. рис. 1А), морфологически выраженных



фэнов перед их устьями нет. Турбидиты вообще не отмечены ни в литературных источниках, ни при анализе представленных здесь сейсмоакустических данных. Осадочный шлейф на подножии континентального склона (continental rise) практически отсутствует. Совокупность перечисленных фактов приводит к выводу о дефиците терригенного осадочного материала, подвергающегося переотложению контурными течениями и гравитационными потоками. Вопрос будет подробнее рассмотрен во второй статье настоящего цикла.

Вторая причина слабого развития гравититов на данном участке континентального склона – высокие скорости контурных течений на всех рассмотренных батиметрических уровнях континентального склона. В результате, почти весь биогенно-терригенный осадочный материал, в основном тонкозернистый, вынесенный гравитационными потоками по каньонам, быстро перемывается контурными течениями и либо образует небольшие дрифты, либо рассеивается в составе придонного нефелоидного слоя западной части Аргентинской котловины. Тем самым контуритовая система континентального склона Патагонии вполне оправдывает свое название даже на северной периферии, где она выклинивается.

Авторы выражают благодарность капитанам и экипажам рейсов 33, 37 и 53 НИС «Академик Иоффе» за помощь в проведении сейсмопрофилирования и отбора колонок донных осадков. Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда по Проекту № 18-17-00227, включая анализ и генетическую интерпретацию сейсмофаций контуритов, а также гравититов, характеристику эрозионно-аккумулятивной контуритовой системы в целом (Мурдмаа И.О., Борисов Д.Г.). Обработка сейсмоакустических профилей, подбор и изготовление иллюстраций выполнены в рамках Госзадания № 0149-2018-0016 (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., Лapidус 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.
- Левченко О.В., Мурдмаа И.О. Комплексные исследования вдоль трансатлантического разреза Ушуая (Аргентина) – пролив Ла-Манш, 33-й рейс научно-исследовательского судна “Академик Иоффе” // *Океанология*. 2013. Т. 53. № 1. С. 279–284.
- Мурдмаа И.О., Левченко О.В., Маринова Ю.Г. О четвертичных сейсмофациях континентального подножия Атлантического океана // *Литология и полезные ископаемые*. 2012. № 5. С. 427–450.
- Antonov J.I., Seidov D., Boyer T.P., Locarnini R.A., Mishonov A.V., Garcia H.E., Baranova O.K., Zweng M.M., Johnson D.R. World Ocean Atlas 2009, Volume 2: Salinity. S. Levitus, Ed. NOAA Atlas NESDIS 69, Washington, D.C.: U.S. Government Printing Office, 2010. 184 p.
- Hernández-Molina F.J., Llave E., Stow D.A.V. Continental Slope Contourites // Rebesco M., Camerlenghi A. (Eds.), Contourites. Developments in Sedimentology, 60. Amsterdam: Elsevier, 2008. P. 379–408. [https://doi.org/10.1016/S0070-4571\(08\)10019-X](https://doi.org/10.1016/S0070-4571(08)10019-X).

- Hernández-Molina F.J., Paterlini M., Somoza L., Violante R., Arecco M.A., de 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. <https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2010.04.003>.
- Hernandez-Molina F.J., Paterlini M., Violante R., Marshall P., de Isasi M., Somoza L., Rebesco M.* Contourite depositional system on the Argentine slope: An exceptional record of the influence of Antarctic water masses // *Geology*. 2009. Vol. 37. P. 507–510. <https://doi.org/10.1130/G25578A.1>.
- Hernández-Molina F.J., Wåhlin A., Bruno M., Ercilla G., Llave E., Serra N., Rosón G., Puig P., Rebesco M., Van Rooij D., Roque D., González-Pola C., Sánchez F., Gómez M., Preu B., Schwenk T., Hanebuth T.J.J., Sánchez Leal R.F., García-Lafuente J., Brackenkridge R.E., Juan C., Stow D.A.V., Sánchez-González J.M.* Oceanographic processes and morphosedimentary products along the Iberian margins: A new multidisciplinary approach // *Marine Geology*. 2016. Vol. 378. P. 127–156. <https://doi.org/10.1016/j.margeo.2015.12.008>.
- 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., Acosta J., Cristobo J., Druet M., Uchupi E.* Geomorphology and shallow structure of a segment of the Atlantic Patagonian margin // *Earth-Science Review*. 2013. Vol. 121. P. 73–95. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2013.03.002>.
- Muñoz A., Cristobo J., Rios P., Druet M., Polonio V., Uchupi E., Acosta J.* Sediment drifts and cold-water coral reefs in the Patagonian upper and middle continental slope // *Marine and Petroleum Geology*. 2012. Vol. 36. P. 70–82. <https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2012.05.008>.
- Murdmaa I.O., Borisov D.G., Demidova T.A., Ivanova E.V., Levchenko O.V., Marinova Y.G., Mutovkin A.D., Putans V.A., Humbs P., Skolotnev S.G., Peyve A.A.* Very high resolution seismic profiling at the Brazil Margin // *Eos Transactions*. 2012. Vol. 93. No. 25. P. 233–234. <https://doi.org/10.1029/2012EO250002>.
- Piola A.R., Matano R.P.* Brazil And Falklands (Malvinas) Currents // Steele, J.H., Thorpe, S.A., Turekian, K.K. (Eds.), *Encyclopedia of Ocean Sciences*. Elsevier, London: 2001. P. 340–349. <https://doi.org/10.1006/rwos.2001.0358>.
- Preu B., Hernández-Molina F.J., Violante R., Piola A.R., Paterlini C.M., Schwenk T., Voigt I., Krastel S., Spiess V.* Morphosedimentary and hydrographic features of the northern Argentine margin: The interplay between erosive, depositional and gravitational processes and its conceptual implications // *Deep-Sea Research: Part I Oceanographic Research Papers*. 2013. Vol. 75. P. 157–174. <https://doi.org/10.1016/j.dsr.2012.12.013>.
- Rebesco M., Hernández-Molina F.J., Van Rooij D., Wåhlin A.* Contourites and associated sediments controlled by deep-water circulation processes: State-of-the-art and future considerations // *Marine Geology*. 2014. Vol. 352. P. 111–154. <https://doi.org/10.1016/j.margeo.2014.03.011>.
- Reid J.L.* On the total geostrophic circulation of the South Atlantic Ocean: Flow patterns, tracers, and transports // *Progress in Oceanography*. 1989. Vol. 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 // Wefer G., Berger W.H., Siedler G., Webb D.J. (Eds.), *The South Atlantic*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 1996. P. 13–44. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-80353-6\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-642-80353-6_2).
- Thran A.C., Dutkiewicz A., Spence P., Müller R.D.* Controls on the global distribution of contourite drifts: Insights from an eddy-resolving ocean model // *Earth and Planetary Science Letters*. 2018. Vol. 489. P. 228–240. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2018.02.044>.

## EROSION-DEPOSITIONAL PROCESSES IN THE NORTHERN PART OF THE CONTOURITE SYSTEM ON THE PATAGONIAN CONTINENTAL SLOPE

I.O. Murdmaa, A.G. Roslyakov, D.G. Borisov

*Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, 117997, Moscow,  
Nakhimovskii prospekt, 36, e-mail: [murdmaa@mail.ru](mailto:murdmaa@mail.ru)*

Submitted 10.11.2018, accepted 15.12.2018

Series of two papers are dedicated to study of erosional and depositional processes in the northern part of the previously distinguished contourite system on the Patagonian continental slope between 46–42° at a water depth range of 2100–5200 m. The first paper is focused on interpretation of high-resolution seismoacoustic data collected using the parametric echo-sounder SES 2000 deep with acoustic penetration of 60 mbsf. Analysis of seismic data revealed seismic facies of contourites and gravities as well as erosional features formed under the influence of gravity flows (gravity-driven processes) moving downslope through the canyon system. It was demonstrated that gravities deposited by gravity flows represent a source of sediment material for contourite drift formation. Domination of erosion over deposition in the study area might be explained by the intense dynamics of bottom waters, including contour currents, internal waves, benthic storms and gravity flows.

**Keywords:** seismic profiling, seismic facies, lateral sedimentation, bottom currents, contourite terrace, drift, continental rise, canyons, Argentine basin, Atlantic Ocean

### 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>.
- Levchenko O.V. and Murdmaa I.O.* Multidisciplinary investigations along the transatlantic transect Ushuaia (Argentine)-La Manche Strait: Cruise 33 of the R/V Akademik Ioffe. *Oceanology*, 2013, Vol. 53, No. 2, pp. 252–257, <https://doi.org/10.1134/S0001437013010104>.
- Murdmaa I.O., Levchenko O.V., and Marinova J.G.* Quaternary seismic facies of the atlantic continental rise. *Lithology and Mineral Resources*, 2012, Vol. 47, No. 5, pp. 379–400, <https://doi.org/10.1134/S0024490212050069>.
- Antonov J.I., Seidov D., Boyer T.P., Locarnini R.A., Mishonov A.V., Garcia H.E., Baranova O.K., Zweng M.M., and Johnson D.R.* World Ocean Atlas 2009, Volume 2: Salinity. S. Levitus, Ed. NOAA Atlas NESDIS 69, Washington, D.C.: U.S. Government Printing Office, 2010, 184 p.
- Hernández-Molina F.J., Llave E., and Stow D.A.V.* Continental Slope Contourites. Ed. by Rebesco M., Camerlenghi A., Contourites. *Developments in Sedimentology*, 60, Amsterdam: 2008, pp. 379–408, [https://doi.org/10.1016/S0070-4571\(08\)10019-X](https://doi.org/10.1016/S0070-4571(08)10019-X).
- Hernández-Molina F.J., Paterlini M., Somoza L., Violante R., Arecco M.A., de 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, <https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2010.04.003>.
- Hernandez-Molina F.J., Paterlini M., Violante R., Marshall P., de Isasi M., Somoza L., and Rebesco M. Contourite depositional system on the Argentine slope: An exceptional record of the influence of Antarctic water masses. *Geology*, 2009, Vol. 37, pp. 507–510, <https://doi.org/10.1130/G25578A.1>.
- Hernández-Molina F.J., Wåhlin A., Bruno M., Ercilla G., Llave E., Serra N., Rosón G., Puig P., Rebesco M., Van Rooij D., Roque D., González-Pola C., Sánchez F., Gómez M., Preu B., Schwenk T., Hanebuth T.J.J., Sánchez Leal R.F., García-Lafuente J., Brackenkridge R.E., Juan C., Stow D.A.V., and Sánchez-González J.M. Oceanographic processes and morphosedimentary products along the Iberian margins: A new multidisciplinary approach. *Marine Geology*, 2016, Vol. 378, pp. 127–156, <https://doi.org/10.1016/j.margeo.2015.12.008>.
- Morozov E.G., Demidov A.N., Tarakanov R.Y., and Zenk W. Abyssal Channels in the Atlantic Ocean. Dordrecht: Springer Netherlands, 2010, <https://doi.org/10.1007/978-90-481-9358-5>.
- Muñoz A., Acosta J., Cristobo J., Druet M., and Uchupi E. Geomorphology and shallow structure of a segment of the Atlantic Patagonian margin. *Earth-Science Review*, 2013, Vol. 121, pp. 73–95, <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2013.03.002>.
- Muñoz A., Cristobo J., Rios P., Druet M., Polonio V., Uchupi E., and Acosta J. Sediment drifts and cold-water coral reefs in the Patagonian upper and middle continental slope. *Marine and Petroleum Geology*, 2012, Vol. 36, pp. 70–82, <https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2012.05.008>.
- Murdmaa I.O., Borisov D.G., Demidova T.A., Ivanova E.V., Levchenko O.V., Marinova Y.G., Mutovkin A.D., Putans V.A., Humbs P., Skolotnev S.G., and Peyve A.A. Very high resolution seismic profiling at the Brazil Margin. *Eos Transactions*, 2012, Vol. 93, No. 25, pp. 233–234, <https://doi.org/10.1029/2012EO250002>.
- Piola A.R. and Matano R.P. Brazil And Falklands (Malvinas) Currents. Ed. by Steele J.H., Thorpe S.A., Turekian K.K., Encyclopedia of Ocean Sciences, London: Elsevier, 2001, pp. 340–349, <https://doi.org/10.1006/rwos.2001.0358>.
- Preu B., Hernández-Molina F.J., Violante R., Piola A.R., Paterlini C.M., Schwenk T., Voigt I., Krastel S., and Spiess V. Morphosedimentary and hydrographic features of the northern Argentine margin: The interplay between erosive, depositional and gravitational processes and its conceptual implications. *Deep-Sea Research: Part I Oceanographic Research Papers*, 2013, Vol. 75, pp. 157–174, <https://doi.org/10.1016/j.dsr.2012.12.013>.
- Rebesco M., Hernández-Molina F.J., Van Rooij D., and Wåhlin A. Contourites and associated sediments controlled by deep-water circulation processes: State-of-the-art and future considerations. *Marine Geology*, 2014, Vol. 352, pp. 111–154, <https://doi.org/10.1016/j.margeo.2014.03.011>.
- Reid J.L. On the total geostrophic circulation of the South Atlantic Ocean: Flow patterns, tracers, and transports. *Progress in Oceanography*, 1989, Vol. 23, pp. 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. Ed. by Wefer G., Berger W.H., Siedler G., Webb D.J., The South Atlantic. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 1996, pp. 13–44, [https://doi.org/10.1007/978-3-642-80353-6\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-642-80353-6_2).

*Thran A.C., Dutkiewicz A., Spence P., Müller R.D.* Controls on the global distribution of contourite drifts: Insights from an eddy-resolving ocean model. *Earth and Planetary Science Letters*, 2018, Vol. 489, pp. 228–240, <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2018.02.044>.