

ОБСТАНОВКИ ОСАДКОНАКОПЛЕНИЯ В ТАТАРСКОМ ПРОЛИВЕ ЯПОНСКОГО МОРЯ

© 2025 Д.Д. Рукавишникова, К.А. Дозорова, Б.В. Баранов

Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, Россия, 117997; e-mail: bbaranov@ocean.ru

Поступила в редакцию 26.06.2025 г.; после доработки 16.10.2025 г.; принята в печать 25.12.2025 г.

Высокоразрешающие сейсмоакустические данные были получены в центральной части Татарского пролива Японского моря в 59-м рейсе научно-исследовательского судна «Академик М.А. Лаврентьев», который проводился в рамках международного проекта «Sakhalin Slope Gas Hydrates» летом 2012 г. Эти данные были использованы для выделения типов отраженного сигнала (эхотипов), картирования полей их распространения и определения обстановок осадконакопления. Последние включают в себя осадконакопление при слабых придонных течениях или их отсутствии на восточном борту пролива, подводную эрозию и переотложение осадков придонными течениями на западном борту пролива, перенос и отложение осадочного материала придонными течениями и турбидитными потоками с формированием контуритовых дрейфов и осадочных волн в центральной части пролива. Сделано предположение о направлении и относительных скоростях течений, повлиявших на осадконакопление на западном борту пролива и в его центральной части.

Ключевые слова: Татарский пролив, сейсмоакустическое профилирование, обстановки осадконакопления, придонные течения.

ВВЕДЕНИЕ

При сейсмических исследованиях, проведенных с целью оценки нефтегазового потенциала Татарского пролива, был получен большой объем данных, что позволило получить представление о строении осадочной толщи и фундамента этого региона (Варнавский, 1994; Геология., 2005; Грецкая и др., 2014; Ломтев и др., 2010; Харахинов, 2010). Во время этих работ использовался сейсмический метод отраженных волн в модификации общей глубинной точки (МОГТ) с пневматическим источником, который дает возможность получать разрезы осадочного чехла до глубины в несколько километров. Эти разрезы детально изучались в нижней и средней частях, тогда как верхняя часть исключалась из рассмотрения поскольку не представляла интереса для поиска залежей углеводородов. Кроме того, использованный сейсмический метод не обладал достаточным разрешением для изучения современных процессов осадконакопления в самых верхних частях сейсмических разрезов.

В 59-м рейсе научно-исследовательского судна (НИС) «Академик М.А. Лаврентьев»

(7–30 августа 2012 г.), проведенном в рамках международного проекта Sakhalin Slope Gas Hydrates (SSGH) в центральной части Татарского пролива была выполнена съемка с использованием метода высокоразрешающего сейсмоакустического профилирования (Operation Report, 2013). Этот метод широко используется для изучения эрозионных и седиментационных процессов, формирующих облик дна современных морей и океанов и дает возможность выделять обстановки осадконакопления, возникающие в водной среде при различных гидродинамических условиях (Мурдмаа и др., 2012; Carlino et al., 2013; Damuth, 1975, 1980; Damuth, Hayes, 1977; Klaus, Ledbetter, 1988; Llave et al., 2018; Mouchot et al., 2010; Murdmaa et al., 2021; Pratson, Laine, 1989; Rooij et al., 2003).

В настоящей работе на базе данных, полученных методом высокоразрешающего сейсмоакустического профилирования в 59-м рейсе НИС «Академик М.А. Лаврентьев» (2012 г.), приводится описание рельефа и строения самой верхней части осадочного чехла Татарского пролива. Для этого в соответствии с классификацией из работ (Damuth, 1975; Damuth, Hayes, 1977; Pratson, Laine, 1989) на сейсмоакустических

записях были выделены различные эхотипы (*англ. echotypes*), показано их распределение в пределах исследованного района и определены современные обстановки осадконакопления. Это дало возможность выделить участки дна с наличием придонных течений и качественно оценить их относительные скорости.

ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНА ИССЛЕДОВАНИЙ

Район исследований располагался в центральной части Татарского пролива, который разделяет Приморье и о. Сахалин, сообщаясь на севере с Охотским морем через узкий и мелкий пролив Невельского. На юг Татарский пролив, постепенно расширяясь, открывается в прилегающую часть Японского моря (рис. 1а).

Южная часть пролива в рельефе соответствует одноименному трогу, который простирается в юго-западном — северо-восточном направлении. Его глубина на широте 46° с.ш. равна 1800 м, севернее 49° с.ш. она уменьшается до 300 м. Западный борт трог является прямолинейным и параллельным его простиранию. Восточный борт состоит из сегментов, ориентированных в северо-восточном и северо-западном

направлениях. Район исследований охватывал сегмент восточного склона, ориентированный в северо-восточном направлении, центральную часть трог и его западный склон (рис. 1б).

Татарский трог образовался на гетерогенном складчатом основании в результате растяжения земной коры в средне-позднеолигоценное — позднемиоценовое время (Харахинов, 2010). В структуре его фундамента выделяется система грабенов, простирающихся в северо-восточном направлении и наложенных на меловые и палеогеновые структуры Восточно-Азиатской континентальной окраины. С формированием грабенов, по всей видимости, связана вулканическая активность позднемиоценового-плиоценового возраста. Трог заполнен осадками мощностью 6–8 км, значительный объем которых составляют отложения Палеоамура (Харахинов, 2010).

Современное осадконакопление в Татарском трог происходит в условиях замкнутого бассейна. Основными источниками сноса служат меловые и кайнозойские орогены прилегающей суши, которые поставляют относительно небольшие объемы терригенных осадков. Взвешенный материал также поступает за счет стока реки Амур, который оказывает основное влияние на структуру вод и донных осадков Амурского

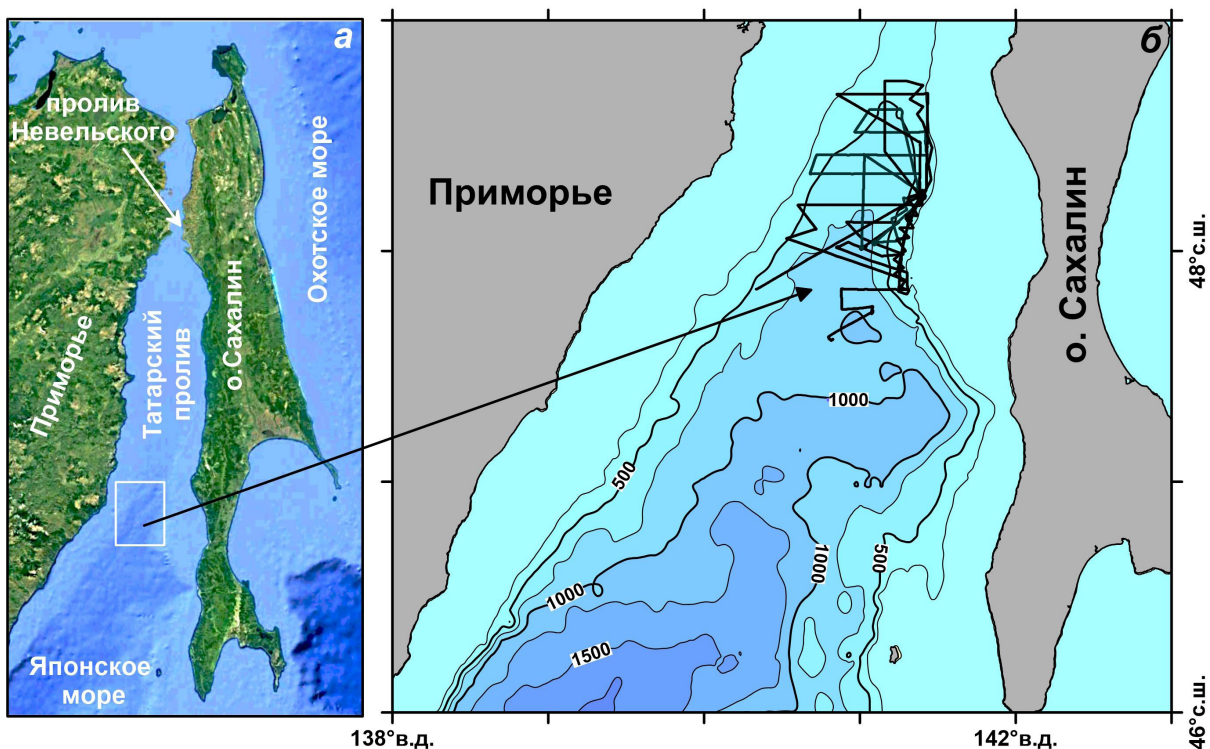


Рис. 1. Положение района исследований (прямоугольник) на снимке из Google Earth Pro (а); батиметрическая карта Татарского трог со схемой расположения сейсмоакустических профилей, изобаты проведены через 250 м (б). При составлении карты использовался грид проекта Shuttle Radar Topography Mission (SRTM: <http://srtm.usgs.gov/index.php>).

Fig. 1. Location of the study area (box) on Google Earth Pro image (а), bathymetric map of the Tatar Trough with location of seismoacoustic profiles, contour line interval is 250 m (б). The Shuttle Radar Topography Mission (SRTM: <http://srtm.usgs.gov/index.php>) grid was used to compile the map.

лимана, обменивающегося водой с Татарским проливом через пролив Невельского (Геология..., 2005; Харахинов, 2010).

Значительная роль в формировании структурного рисунка осадочного чехла бассейнов принадлежит разломам, которые подразделяются на несколько групп в зависимости от времени их возникновения с позднего палеогена до плиоцена и кинематики (сбросы, сдвиги и взбросы) (Геология..., 2005). В настоящее время кинематика активных разломов в Татарском трого контролируется трансформной границей между Амурской и Охотской плитами. Эта трансформная граница соответствует правосторонней зоне сдвига, которая прослеживается вдоль о. Сахалин и на отдельных участках имеет компоненты растяжения и сжатия (Сим и др., 2020).

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

В 59-м рейсе НИС «Академик М.А. Лаврентьев» сейсмоакустическое профилирование проводилось с использованием системы Geo Pulse Sub-bottom Profiler (США) с частотой 3.5 кГц и расчетной мощностью импульса до 10 кВт, интервал пропускного фильтра был равен 3–7 кГц. Съёмка проводилась на скорости 5.5–6.2 узла по нерегулярной системе профилей ряд из которых пересекал Татарский трог (рис. 1б), интервал возбуждения сигнала был равен 1.3–4.6 с, шаг между импульсами составлял 4–13 м. Максимальная глубина проникновения в осадки была равна 100 мс при разрешении до 2 мс. Для регистрации данных использовалась программа Geo Pro, запись файлов проводилась в формате segy (Operation Report, 2013).

Наряду с сейсмоакустическими исследованиями осуществлялась батиметрическая съёмка с использованием судового эхолота ELAC LAZ-72 E-V с рабочей частотой 12 кГц. Эхолот данного типа также использовался при батиметрической съёмке в 62-ом (2013 г.), 67-ом (2014 г.) и 70-ом (2015 г.) рейсах НИС «Академик М.А. Лаврентьев». Батиметрическая съёмка в этих рейсах проводилась по нерегулярной системе галсов и на отдельных полигонах. Скорость звука в воде принималась равной 1500 м/с, коррекция глубины по имеющимся скоростным разрезам водной толщи не проводилась. Для построения батиметрической карты района исследований и схемы распределения полей с различными экотипами использовалась программа Surfer 19.

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Полученные результаты основаны на обработке и анализе батиметрических и сейсми-

ческих данных, собранных авторами в рамках международного проекта Sakhalin Slope Gas Hydrates (SSGH). Был подготовлен улучшенный вариант батиметрической карты района исследований, при построении которого кроме данных 59-го рейса были использованы батиметрические данные, полученные в 62-ом, 67-ом и 70-ом рейсах НИС «Академик М.А. Лаврентьев», (Operation Report, 2014, 2015, 2016). Общая протяженность батиметрической съёмки, выполненной в этих рейсах, составила около 5000 км.

Данные высокоразрешающей сейсмоакустической съёмки, выполненной в центральной части Татарского трого в 59-м рейсе НИС «Академик М.А. Лаврентьев», были использованы для выделения экотипов и составления карты их распределения в пределах исследованного района. Общая протяженность сейсмоакустической съёмки составила 833 км (рис. 1б).

Батиметрические исследования. Батиметрические исследования позволили уточнить существующие цифровые карты рельефа Татарского трого, такие как Генеральная Батиметрическая Карта Океана, ГЕБКО (General Bathymetric Chart of the Ocean, GEBCO) (GEBCO, 2023) и карта проекта Shuttle Radar Topography Mission (SRTM: <http://srtm.usgs.gov/index.php>). Уточнение в первую очередь касалось дна трого, где были выделены ранее неизвестные формы рельефа.

Эти формы рельефа представлены западным и восточным валами, вытянутыми по простиранию трого в ЮЗ — СВ направлении. Валы протягиваются на расстояние около 80 км; ширина западного вала равна 10 км, а восточного — до 17 км, высота валов достигает 50 м. Валы имеют асимметричный профиль, так как их западные склоны являются более крутыми по сравнению с восточными (рис. 2).

На севере района исследований валы прилегают к западному склону трого, южнее они отделяются от его основания и друг от друга рвами, ширина которых достигает 3 км, а глубина до 50 м (рис. 2а). Восточный вал ограничивается осевым каналом, который расположен в центральной части трого и протягивается вдоль всего исследованного района. Поверхность западного вала является выровненной, в то время как поверхность восточного вала, особенно на юге района, имеет неровный холмистый рельеф с наличием каналов, расчленяющих поверхность вала (рис. 2б, профиль ВВ').

Осадочный чехол в трого достигает мощности нескольких км и полностью нивелирует неровности фундамента (Харахинов, 2010), и валы представляют собой осадочные формы рельефа. Сейсмические данные, полученные в 62-м рейсе НИС «Академик Мстислав Келдыш», дают основание рассматривать их в качестве

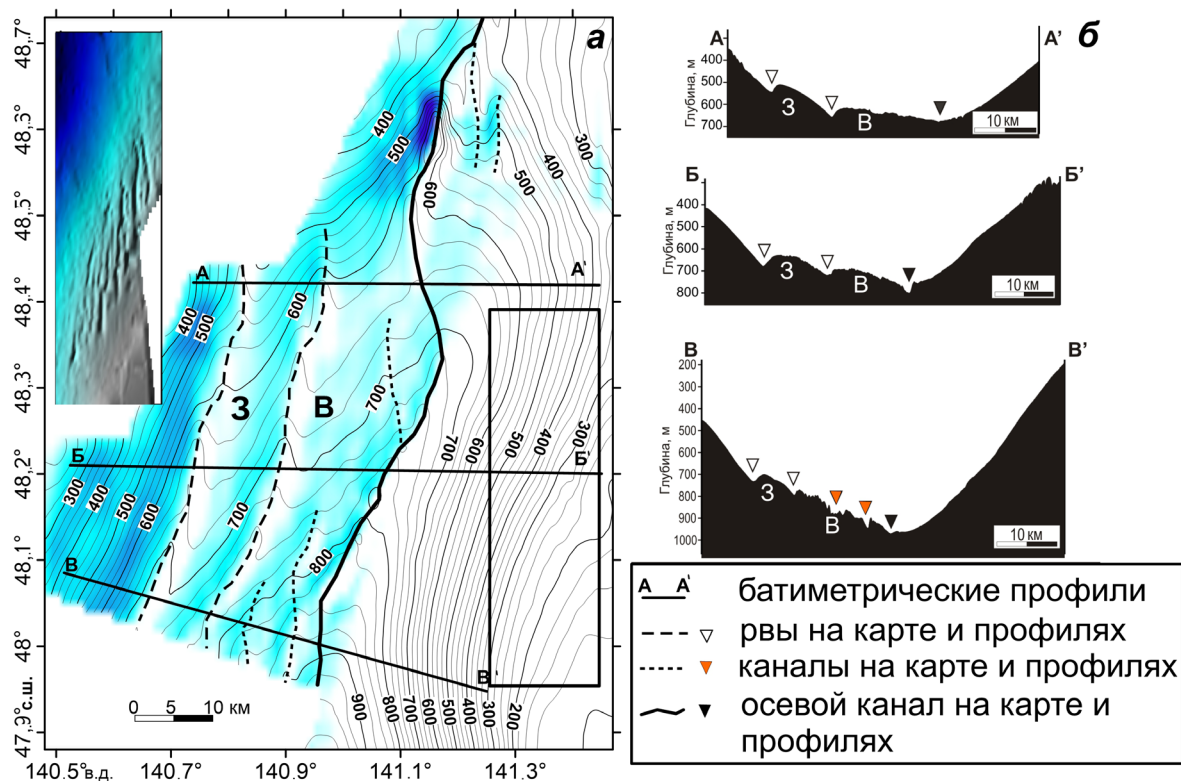


Рис. 2. *a* — теневая батиметрическая карта района исследований, построенная по данным, полученным в рейсах НИС «Академик М.А. Лаврентьев» по проекту SSGH. Подсветка с юго-востока, сечение изобат равно 25 м (Баранов и др., 2020, с изменениями). Прямоугольник маркирует положение карты, показанной на врезке; *б* — батиметрические профили, иллюстрирующие морфологию рельефа Татарского трога. З — западный вал, В — восточный вал. Положение профилей показано на рис. 2*a*.

Fig. 2. *a* — Shaded bathymetry map of the study area based on data obtained by RV «Akademik M.A. Lavrentiev» cruises under the SSGH Project. Illumination from south-east, contour line interval is 25 m (Baranov et al., 2020). The box marks the position of the map shown in the inset. See Fig. 2*a*. *б* — bathymetric profiles illustrating the Tatar Trough morphology. З — western swell, В — eastern swell. The position of the profiles is shown in Fig. 2*a*.

валоподобных контуритовых дрифтов (Баранов и др., 2020).

Ранее неизвестные формы рельефа были также обнаружены в верхней части восточного склона трога в интервале глубин 400–300 м (рис. 2, врезка). Они представлены многочисленными V-образными ложбинами шириной до 250 м и глубиной до 20 м. Ложбины простираются субпараллельно склону, отстоят друг от друга на расстоянии до нескольких сот метров, они могут кулисно надстраивать друг друга, достигая в длину до 10 км. В верхней части восточного склона эти формы рельефа встречаются в полосе длиной около 35 км при ширине 5 км, что дает основание считать их примечательной чертой морфологии этого участка трога. Подобного рода структуры были обнаружены на других континентальных склонах Мирового океана и предполагается, что они образуются в результате крипа, приводящего к разрывам в верхней части осадочного чехла (Lee, Chough, 2001; Loncke et al., 2009; Putans et al., 2010).

Сейсмоакустические исследования. Классификация эхотипов (*англ. echotype*) была разрабо-

тана в работах (Damuth, 1975, Damuth, Hayes, 1977; Pratson, Laine, 1989) и широко используется при анализе и интерпретации сейсмоакустических данных (Carlino et al., 2013; Kim et al., 2008; Lee et al., 2001; Llave et al., 2018). Термин эхотип близок к понятию термина сейсмофагия, отличаясь от него тем, что при выделении эхотипов используется акустическая характеристика отраженного сигнала не только от осадочных горизонтов, но и от дна. В связи с этим классификация эхотипов основана как на особенностях морфологии и акустических параметрах дна, так и на акустическом облике осадков в разрезе. Используя эту классификацию, по характеру отражений от дна, отчетливости, непрерывности и геометрии отражающих горизонтов разреза в пределах исследованной области нами было выделено восемь эхотипов (рис. 3). Эти эхотипы могут быть объединены в два класса, которые характеризуются ровным дном (I) или гиперболической/волнистой поверхностью дна (II).

Эхотипы района исследований. В первый класс входят эхотипы II–I3 характеризующиеся выровненным, плоским или наклонным дном,

ОБСТАНОВКИ ОСАДКОНАКОПЛЕНИЯ

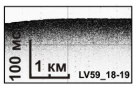
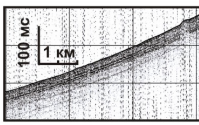
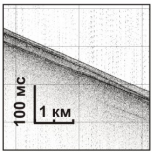
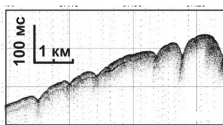
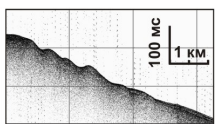
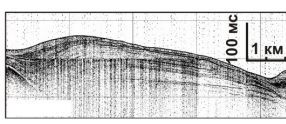
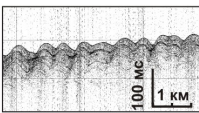
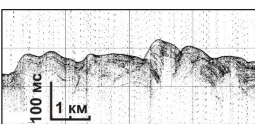
1	2	3	4	5	6
I	I1		Размытое яркое донное отражение без отражений в разрезе или с несколькими непротяженными нечеткими отражениями	Шельф, верхняя часть склона	Средне-грубозернистые осадки шельфа/области подводной эрозии (Damuth, 1975, 1980)
	I2		Отчетливое протяженное донное отражение и параллельно-слоистые отражения разреза	Восточный склон, дно трога к востоку от осевого канала	Пелагические/гемипелагические отложения (Damuth, 1975, 1980)
	I3		Отчетливое протяженное донное отражение и маломощный комплекс расходящихся ярких четких отражений, налегающий на толщу без отражений в разрезе	Западный склон	Мелкозернистые осадки, отлагающиеся с периодическими размывами (Сейсмическая стратиграфия..., 1982)
II	II1		Гиперболическая конфигурация донного отражения. Форма донного отражения от яркого размытого до яркого, протяженного. Рисунок отражений разреза от слоистого до однородного	Верхняя часть восточного склона, бровка шельфа	Системы разрывов, формирующиеся при растяжении на начальном этапе оползания водонасыщенных отложений (крип) (Damuth, 1975, Klaus, Ledbetter, 1988; Lee, Chough, 2001; Loncke et al, 2009)
	II2		Размытое яркое донное отражение волнистой формы без отражений разреза или с несколькими непротяженными нечеткими отражениями разреза.	Западный склон	Осадочные волны крупнозернистой размерности (Damuth, 1980, Сейсмическая стратиграфия..., 1982)
	II3		Четкое протяженное донное отражение волнистой формы; асимметричный, субпараллельный, рисунок отражений разреза. Длина волны равна 10-15 км, высота 30-40 метров;	Дно трога к западу от осевого канала	Осадочные тела (дрифты) сформированные под действием постоянно действующего придонного течения (Faugeres et al., 1999)
	II4		Регулярно-волнистое четкое, протяженное донное отражение с волнистым рисунком поддонных отражений. Длина волны около 400-600 метров, высота 5-10 метров.	Приосевая часть трога, дно к западу от осевого канала	Осадочные волны мелкозернистой размерности (Damuth, 1980, Сейсмическая стратиграфия..., 1982)
	II5		Четкое протяженное нерегулярно-волнистое донное отражение. Широкие, одиночные нерегулярные волнистые отражения разреза	Южная область трога к западу от осевого канала	Осадочные структуры, сформированные в сложной обстановке с переотложением и эрозией (Damuth, 1975) при нестабильных придонных течениях

Рис. 3. Основные классы и типы отраженного сигнала, выделенные в соответствии с классификацией из работы (Damuth, 1980) и со ссылками на работы других исследователей, перечисленные в колонке «интерпретация». Колонки: 1 — класс, 2 — тип, 3 — примеры, 4 — описание, 5 — местоположение, 6 — интерпретация. См. текст для более подробного описания эхотипов.

Fig. 3. Main classes and types of echo signal according to classification from the work (Damuth, 1980) and with references to the works of other researchers listed in the «interpretation» column. Columns: 1 — class, 2 — type, 3 — examples, 4 — description, 5 — location, 6 — interpretation. See the text for a more detailed description of echotypes.

они могут формироваться при осадконакоплении в различных гидродинамических условиях (рис. 3). Эхотип II обладает ярким размытым отражением от дна и отсутствием или наличием единичных отражающих границ в разрезе под горизонтальным или слабонаклонным дном. Этот эхотип характерен для грубозернистых отложений, приуроченных к шельфу или участкам подводной эрозии. Яркий отраженный сигнал от дна и отсутствие внутренних отражений обусловлено наличием на поверхности грубозернистого материала, такого как песок или гравий.

Эхотип I2 отличается протяженным и непрерывным отражением от дна и наличием внутренних рефлекторов с параллельной и субпараллельной конфигурацией, которые видны в разрезе до глубины проникновения акустического сигнала, равной 100 мс. Дно является наклонным и выровненным. Этот эхотип характерен для слоистых толщ средне- и тонкозернистых осадков.

Эхотип I3 характеризуется четким протяженным отражением от дна и расходящимися яркими протяженными отражающими горизонтами в разрезе, которые налегают на однородную неслоистую толщу, соответствующую эхотипу II. Дно ровное, наклонное. Мощности горизонтов между отражающими границами небольшие, мощность всего комплекса достигает первых десятков миллисекунд у подножия склона. Комплекс выклинивается в верхней части склона у бровки шельфа. Характеристика отраженного сигнала от дна и слоистый разрез указывают на мелко-среднезернистый состав осадков.

Второй класс объединяет эхотипы III–III5 с дном волнистого профиля (рис. 3), что свидетельствует об активных гидродинамических условиях при осадконакоплении, наличии разрывных нарушений и деформаций. Эхотип III характеризуется гиперболической конфигурацией акустического сигнала, отраженного от дна. Это обусловлено наличием на дне трещин, которые ограничивают поднятия высотой от 1 до 15 м и расстоянием между вершинами 500–2000 м. Рисунок отражений разреза аналогичен рисунку эхотипов II и I2: Конфигурация донного отражения свидетельствует о динамичной обстановке осадкообразования, возникающей на начальных стадиях оползания (крипа) осадочного чехла.

Эхотип II2 обладает волнистым, ярким, размытым отраженным сигналом от дна и отсутствием отражающих горизонтов в разрезе, Длина волны достигает 1000 м, а высота — 15 м. Форма отраженного сигнала от дна соответствует формам, типичным для осадочных волн, отсутствие отражающих горизонтов в разрезе обусловлено наличием грубозернистых осадков.

Эхотип III3 характеризуется крупными, полными, регулярными, асимметричными волнами

с протяженным четким отражением от дна и параллельными, субпараллельными ровными или волнистыми отражающими горизонтами в разрезе. Длина волны достигает 1500 м, а высота равна 30–40 м. Подобные структуры интерпретируются в качестве контуритовых дрейфов, сложенных отложениями контурных течений.

Эхотип II4 имеет четкий протяженный отраженный сигнал от дна, формирующий серию регулярных асимметричных осадочных волн длиной около 400 м и высотой от нескольких метров до первых десятков метров. В разрезе рефлекторы параллельны дну, мощность горизонта между рефлекторами на фланге волны, обращенном вверх по склону выше по сравнению с тем же горизонтом, но на фланге обращенном вниз (рис. 3), что является признаком «мигрирующих» волн.

Эхотип II5 характеризуется четкими, протяженными и нерегулярно-волнистыми отражениями от дна. Отражающие горизонты разреза могут быть параллельными или несогласными с рельефом дна. Эти формы микрорельефа, вероятно, были сформированы в сложной обстановке под действием нестабильных придонных потоков.

Интерпретация данных высокочастотного сейсмоакустического профилирования с использованием результатов опробования осадков показала, что существует зависимость между типами отраженного сигнала, размерностью осадка (ил, песок, гравий) и строением самой верхней части осадочного чехла. В свою очередь размерность и структура осадков в значительной степени определяются глубиной дна и гидродинамическим режимом бассейна, т.е. существующими там обстановками осадконакопления (Сейсмическая..., 1982; Damuth, 1975, 1980).

Распределение полей эхотипов. В пределах исследованного района распределение эхотипов подчиняется определенной зональности, при которой их поля вытянуты в северо-восточном направлении. Такая зональность обусловлена простиранием Татарского трога и сменой в субширотном направлении одного эхотипа другим в зависимости от глубины. В тоже время набор эхотипов не является одинаковым для восточного и западного бортов трога (рис. 4), что свидетельствует о наличии других факторов, дополнительно влияющих на их распределение.

На восточном борту трога эхотип II регистрируется в пределах протяженного поля, которое охватывает шельф и самую верхнюю часть склона (рис. 4). Этот эхотип соответствует областям подводной эрозии на шельфе и в верхней части склона, которые находятся в зоне влияния поверхностных течений и волнения. Ниже на склоне располагается протяженное поле

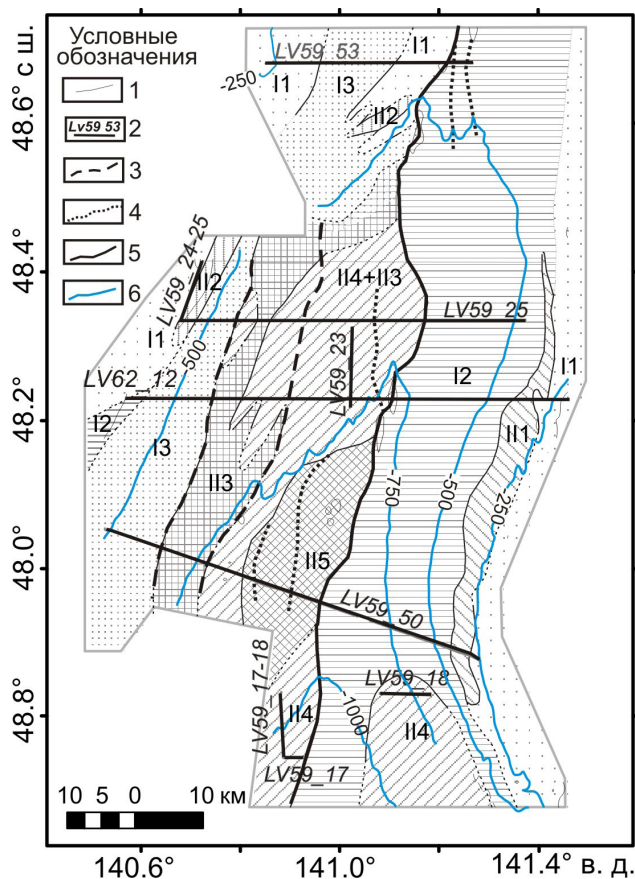


Рис. 4. Распределение полей экотипов II–III5 в пределах исследованного района. Обозначение и характеристику экотипов см. на рис. 3. 1 – границы между экотипами, пунктиром – предполагаемые; 2 – положение профилей разрезы которых приведены на рис. 5; 3 – контуритовые рвы; 4 – каналы; 5 – осевой канал; 6 – изобаты, проведенные через 250 м.

Fig. 4. Distribution of echotype fields II–III5 within the study area. Classification of echotypes see on Fig. 3. 1 – boundaries between echotypes, dashed where inferred; 2 – profiles shown on Fig. 5; 3 – contourite moats; 4 – channels; 5 – axial channel; 6 – contour lines drawn at 250 m intervals.

эхотипа II, которое имеет ширину более 20 км. Этот экотип регистрируется на континентальных склонах и склонах подводных возвышенностей и свидетельствует о наличии пелагических и/или гемипелагических осадков, накапливающихся в отсутствии придонных течений.

Западная граница поля проходит по осевому каналу, на его восточной границе между изобатами 250–300 м находится узкий вытянутый участок с экотипом III, что свидетельствует о начинающемся оползании осадочного материала. В южной части поля вблизи основания склона располагается область осадочных волн с экотипом IV (рис. 4).

Поле экотипа III занимает дно трога от осевого канала до подножья западного склона, и в рельефе дна приурочено к двум протяженным асимметричным валам (рис. 2, 4). Отражающие горизонты в разрезе имеют линзовидную форму, что дает основание подтвердить сделанный ранее вывод о том, что валы являются контуритовыми дрефтами (Баранов и др., 2020).

На дне трога выделяется несколько полей осадочных волн, соответствующих экотипам IV и V, которые располагаются в пределах контуритовых дрефтов (рис. 4). Проследить ориентировку длинных осей осадочных волн в пределах этих полей при данной детальности съемки не представляется возможным. В осевой части трога на юге исследованного участка вдоль подводных

каналов развиты волнообразные нерегулярные поднятия с экотипом V.

На западном борту два поля экотипа II охватывают шельф и верхнюю часть склона. Изолированное поле этого экотипа было также выделено в северной части западного борта на глубинах 350–500 м. Появление поля этого типа на глубинах до 500 м дает основание предположить наличие придонных течений, которые вымывают осадки мелкозернистой фракции. Об активном гидродинамическом режиме может также свидетельствовать наличие поля с экотипом III (рис. 4), сейсмические характеристики которого свидетельствуют о грубозернистых осадках, а волнистый рельеф указывает на активный гидродинамический режим осадконакопления.

На западном борту поле экотипа II с подошвенным налеганием перекрывается экотипом III, восточная граница которого приурочена ко рву, проходящему вдоль основания западного склона. На сейсмоакустических разрезах видно, что мощность осадков этого экотипа увеличивается с севера на юг.

Таким образом, положение полей различных экотипов в пределах исследованного района дает основание полагать, что оно контролируется глубиной на шельфе, склоне и центральной части трога и придонными течениями на западном склоне и ложе Татарского трога к западу от его оси.

ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ распределения экотипов дает возможность выделить обстановки осадконакопления, приуроченные к основным морфоструктурным элементам Татарского трога. Эти обстановки осадконакопления различаются по своему гидродинамическому режиму, который определяется наличием придонных течений и их скоростями.

Обстановка осадконакопления. Восточный, западный склоны трога и его центральная часть отличаются по набору экотипов (рис. 4), что дает

основание в пределах исследованного района выделить три обстановки осадконакопления с различными гидродинамическими режимами (рис. 5).

На восточном склоне трога современный осадочный чехол формируется в спокойных условиях и представлен пелагическими или гемипелагическими отложениями. Западный склон и дно трога, судя по наличию экотипов III–II5, находятся под воздействием придонных течений. В северной части западного склона вплоть до осевого канала наблюдается активная эрозия осадочного материала. Далее к югу западный склон подвержен периодической эрозии что, вероятно, связано с уменьшением скорости придонных течений. Придонные течения и турбидитные

потоки приводят к переносу и переотложению осадочного материала в центральной части трога с формированием контуритовых дрефтов и осадочных волн. Осадочные волны, вероятно, могут иметь смешанное происхождение, возникая за счет контурных течений и турбидитных потоков.

На дне трога располагаются поля экотипов II3–II5, что свидетельствует об активной гидродинамической обстановке и приводит к эрозии осадков, их переносу и формированию аккумулятивных форм рельефа, одними из которых являются контуритовые дрефты. Эти осадочные структуры особенно отчетливо выделяются в том случае, когда они протягиваются вдоль склона, представляют собой асимметричные валы и ограничиваются рвами.

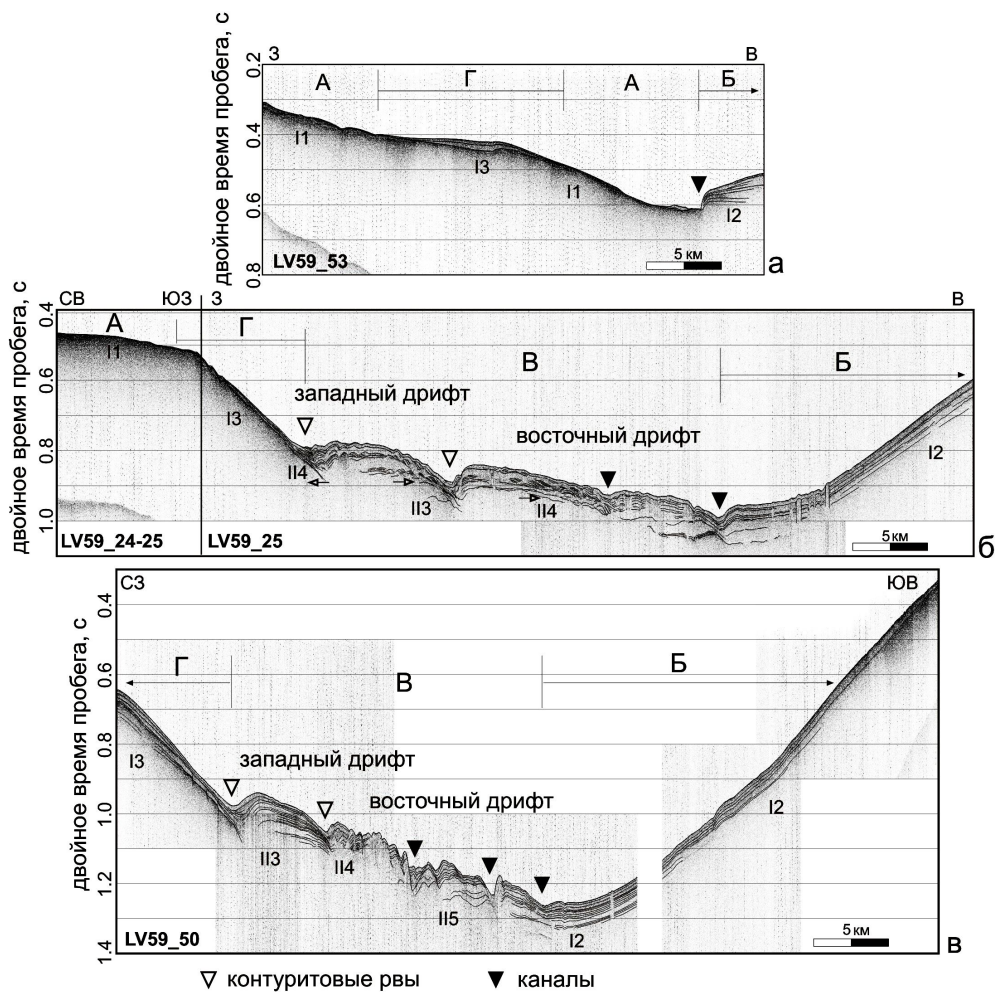


Рис. 5. Интерпретированные временные сейсмоакустические разрезы, на которых показано распределение экотипов и обстановок осадконакопления на бортах и в центральной части трога. Положение профилей см. на рис. 4. Характеристика экотипов II–II5 приводится на рис. 3. Обстановки осадконакопления: А — эрозия за счет придонных течений; Б — спокойная обстановка осадконакопления при слабых придонных течениях или их отсутствии; В — перенос и аккумуляция осадочного материала за счет придонных течений; Г — периодическая эрозия и аккумуляция осадочного материала.

Fig. 5. Interpreted seismoacoustic time cross-sections showing the distribution of echotypes and sedimentation environments on the flanks and in the central parts of the Tatar Trough. See Fig. 4 for location of cross-sections. The characteristics of echotypes II–II5 are shown in Fig. 3. Sedimentation environments: А — erosion caused by bottom currents, Б — stable sedimentation environment with weak bottom or no bottom currents, В — redeposition of sediments by bottom currents, Г — periodical erosion and accumulation of sedimentary material.

Контуритовые дрефты, осадочные волны и придонные течения. Два валоподобных контуритовых дрефта (англ. *mounted contourite drift*) на дне трога и пластерный дрефт (англ. *plastered drift*) на его западном склоне ранее были выделены на двух параллельных субмеридиональных разрезах непрерывного сейсмического профилирования (НСП) (Баранов и др., 2020; Baranov et al., 2024). Профили НСП были расположены на расстоянии 4-х км друг от друга и дали возможность определить строение осадочного чехла на ограниченной площади. С другой стороны данные, полученные при высокоразрешающей сейсмоакустической съемке, охватывали район, который протягивался с севера на юг на расстояние 90 км. Это дало возможность показать особенности строения самой верхней части осадочного разреза обнаруженных контуритовых дрефтов на всем их протяжении, выделить, используя классификацию из работ (Rebesco et al., 2014; Smilie et al., 2018), новый тип дрефтов и сделать качественный вывод об относительных скоростях придонных течений.

Район исследований на основании особенностей рельефа можно разделить на северную

и южную части. Северная часть по сравнению с южной расположена на меньших глубинах и корытообразная форма трога здесь выражена менее отчетливо. В северной части района на глубинах 350–500 м располагаются поля экотипов П1 и П3 (рис. 4), что свидетельствует о наличии эрозии в первом случае и периодической эрозии во втором. В тоже время в пределах поля экотипа П1 присутствуют осадочные тела, которые по морфологии, размерам и внутреннему строению (рис. 6, разрезы LV59_54 и LV59_54, врезки) интерпретируются как лоскутные дрефты (англ. *patch drift*). Эти осадочные тела расположены вблизи неровностей рельефа, на которых происходит понижение скорости придонного течения и аккумуляция осадочного материала. Лоскутные дрефты имеют небольшую площадь распространения (10–10³ км²) (Smillie et al., 2019); в нашем случае поперечные размеры наиболее крупного лоскутного дрефта не превышают 5 км при мощности 23 мс или 18 м (рис. 6, разрез LV59_54, врезка). Здесь и ниже для самой верхней части осадочного чехла при определении мощности в метрах используются скорости, равные 1600 м/с.

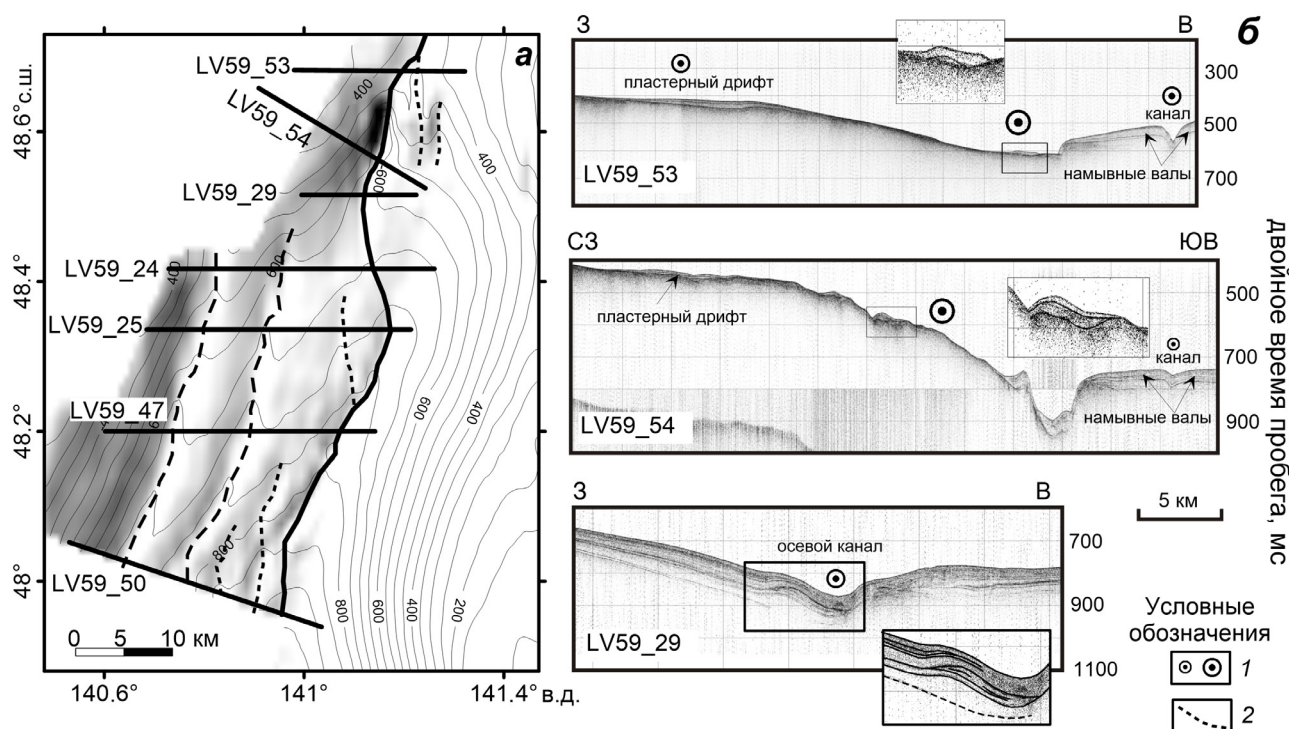


Рис. 6. а — теневая батиметрическая карта района с положением сейсмоакустических разрезов. Сечение изобат 100 м. Условные обозначения см. рис. 2а. б — фрагменты сейсмоакустических разрезов, расположенных в северной части района и на севере его южной части. На врезках в более крупном масштабе показаны лоскутные дрефты и восточный валоподобный дрефт. Положение разрезов показано на рис. 6а. 1 — придонные течения направлены к читателю (чем больше диаметр окружности, тем выше скорость течения), 2 — граница между до-дрифтовыми и дрефтовыми отложениями на врезке разреза LV59_29.

Fig. 6. а — shaded bathymetry map of study area and location of seismoacoustic cross-sections. Contour lines interval is 100 m. See Fig. 2a for the legend. б — fragments of seismoacoustic cross-sections in the northern part of the area and in the north of its southern part, insets show enlarged fragments of the profiles. 1 — bottom currents move towards the reader (the larger the circle diameter, the higher the current velocity); 2 — boundary between pre-drift and drift sediments in the inset of the LV59_29 section.

Лоскутные дрейфы формируются в обстановках среды с варьирующими скоростями придонных течений и отражают различные стадии эволюции аккумулятивных осадочных тел (Rebesco et al., 2014). Это может быть ранняя стадия формирования более крупного пластерного дрейфта в результате понижения скорости придонного течения или размывание пластерного дрейфта из-за повышения скорости с формированием лоскутных дрейфтов.

Пластерный дрейфт, соответствующий полю эохотипа I3, располагается выше по склону относительно лоскутных дрейфтов (рис. 6, разрезы LV59_53 LV59_54). Этот дрейфт также как и лоскутные дрейфы залегает на эрозионной поверхности и, вероятно, формируется за счет понижения скорости придонного течения, которое, по всей видимости, имеет струйный характер. Свидетельством этого является наличие канала с намывными валами в обстановке неактивного гидродинамического режима осадконакопления к востоку от осевого канала. Канал постепенно уменьшается в размерах и исчезает в южном направлении, что свидетельствует об уменьшении скорости течения, направленного с севера на юг (рис. 6, разрезы LV59_53 и LV59_54).

Формирование восточного контуритового дрейфта в основании склона начинается, как это видно на фрагменте сейсмоакустического разреза LV59_29, на севере южной части района (рис. 6). В осадочном чехле видимой мощности до 100 мс к западу от осевого канала серия рефлекторов формируют линзовидные пачки отложений дрейфта, которые прослеживаются до дна с возникновением на его поверхности небольшого вала (рис. 6б разрез LV59_29, врезка). Ниже по разрезу выделяется несогласие, которое разделяет до-дрейфовые и дрейфовые отложения. Профиль заканчивается после пересечения восточного дрейфта. Западный дрейфт, возможно, зарождается на этой же широте.

Южнее, начиная с профиля LV59_24, западный и восточный валоподобные дрейфты отчетливо выделяются на разрезах, поскольку имеют характерную для этих аккумулятивных форм рельефа морфологию и строение осадочного чехла. Некоторое искажение в эту классическую картины вносит, особенно для южной части восточного дрейфта, наличие осадочных волн, которые соответствуют эохотипам П4 и П5.

Существующая детальность выполненной батиметрической съемки не позволяет однозначно установить простирание осадочных волн. Тем не менее, предполагается, что волны в пределах полей, расположенных на контуритовых дрейфтах, могут быть ориентированы в субширотном направлении. Этот вывод основан на том, что в пределах единого поля осадочные

волны выделяются на разрезе, ориентированном в субмеридиональном направлении, но имеют сглаженные очертания на профиле, простирающимся с запада на восток (рис. 7а)

На субмеридиональных разрезах в пределах полей осадочных волн на контуритовых дрейфтах видно, что мощности между отдельными отражающими горизонтами больше на фланге волны обращенной вверх по склону по сравнению с флангом направленным вниз (рис. 7а, 7б). Это может указывать на то, что миграция волн происходит вверх по склону в направлении противоположном направлению придонного течения (Сейсмическая..., 1982; Wynn, Masson, 2008).

В тоже время поле осадочных волн (эохотип П4), расположенное в южной части восточного склона в интервале глубин 900–500 м (рис. 4), может указывать на перенос осадочного материала турбидитными потоками. На сейсмическом разрезе LV59_18, ориентированном в субширотном направлении по восстанию склона, отчетливо выделяются осадочные волны, и это может свидетельствовать о том, что они ориентированы параллельно простиранию склона (рис. 7в). Как и предыдущих двух случаях, мощность горизонта между отражениями осадочных волн больше на фланге волны, обращенном вверх по склону, что свидетельствует о том, осадочные волны мигрируют вверх по склону, т.е. в направлении противоположном перемещению турбидитного потока.

Дрейфты ограничиваются с запада контуритовыми рвами и несогласно сочленяются со склоном и друг с другом (рис. 8). В первом случае несогласие разделяет до-дрейфовые и дрейфовые отложения (рис. 8, разрез LV59_24 и врезка), во втором — маркирует контакт между отложениями западного и восточного дрейфтов (рис. 8, разрез LV59_25 и врезка). На самом северном из этой серии разрезов в контуритовом рве западного дрейфта выделяется осадочный горизонт мощностью 10 мс или 8 м. Этот горизонт, постепенно утоняясь, продолжается на склон до изобаты 470 м, выше которой находится поле осадочных волн (рис. 8, разрез LV59_24 и врезка). На следующих разрезах мощность осадочного горизонта в контуритовом рве слегка увеличивается, достигая 13.5 мс (11 м) на самом южном профиле LV59_50 (рис. 8). С севера на юг этот горизонт начинает все больше перекрывать западный склон и валоподобные контуритовые дрейфты. На севере он охватывает на склоне интервал глубин 500–450 м, а на юге расположен между изобатами 700–350 м и является верхним горизонтом эохотипа I3, т.е. представляет собой осадочную единицу пластерного контуритового дрейфта. Это свидетельствует о том, что в настоящее время основная струя контурного течения

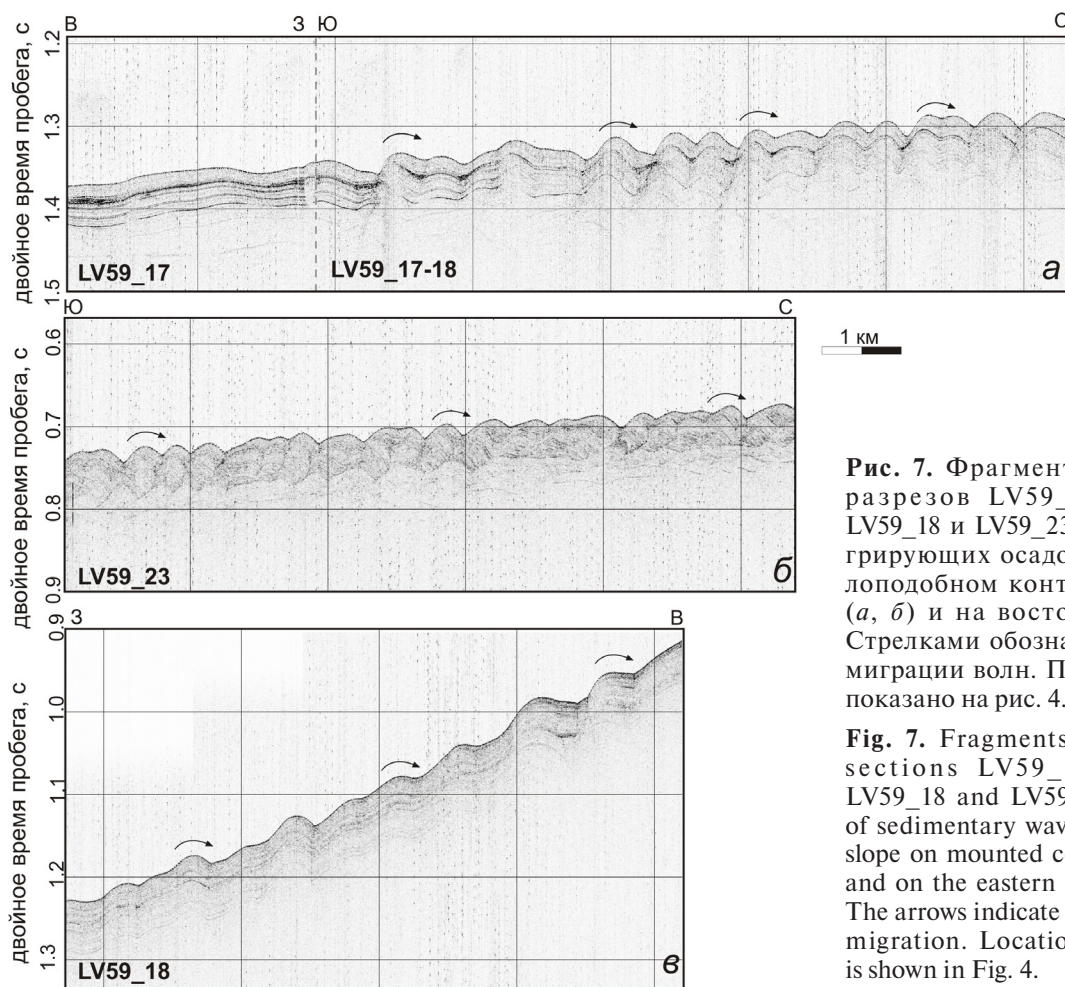


Рис. 7. Фрагменты сейсмических разрезов LV59_17, LV59_17-18, LV59_18 и LV59_23 с примерами мигрирующих осадочных волн на валообразном контуритовом дрifte (а, б) и на восточном склоне (в). Стрелками обозначено направление миграции волн. Положение разрезов показано на рис. 4.

Fig. 7. Fragments of seismic cross-sections LV59_17, LV59_17-18, LV59_18 and LV59_23 with examples of sedimentary waves migrating up the slope on mounted contourite drift (a, b) and on the eastern (Sakhalin) slope (v). The arrows indicate the direction of wave migration. Location of cross-sections is shown in Fig. 4.

сместился на западный склон, где происходит формирование пластерного дрифта.

Осадочный горизонт, заполняющий контуритовый ров и протягивающийся на западный склон и контуритовый дрифт представляет собой пост-дрифтовые отложения и его мощность на самом южном разрезе LV59_50 составляет 13.5 м или 11 м. Современные скорости осадконакопления за последние 100–200 лет, равные 0.20–0.22 см/год, были установлены по радиоизотопному датированию неравновесного ^{210}Pb для колонки, отобранной мультикорером на западном склоне Татарского трога южнее нижней рамки нашего района исследований (Аксентов и др., 2023).

Таким образом, если предположить, что скорости осадконакопления за время накопления горизонта мощностью 11 м были аналогичны современным, то возраст пост-контуритовых отложений будет составлять 5000–5500 лет. Это может свидетельствовать о том, что с этого времени скорость придонного течения в контуритовых рвах уменьшилась и основная его струя переместилась выше по склону в пределы пластерного дрифта.

На основании сейсмоакустических данных, показанных в настоящей статье, и данных

НСП представленных ранее (Баранов и др., 2020; Baranov et al., 2024) можно утверждать, что в пределах Татарского трога располагаются аккумулятивные осадочные тела (контуритовые дрифты) формирование которых происходит за счет придонного течения. Придонное течение затрагивает западный склон трога и его дно к западу от оси. В результате его активности на дне трога были сформированы два валообразных контуритовых дрифта. Дрифты простираются параллельно западному склону на расстояние более 50 км, имея общую ширину до 25 км и площадь, превышающую 1200 км².

Сейсмический облик валообразных контуритовых дрифтов Татарского трога представлен чередованием акустически слоистых и акустически прозрачных горизонтов. Подобная картина обусловлена вариациями количества поступающего осадочного материала и его размерности при изменении гидрологических условий. Одной из причин изменений гидрологических условий в Татарском проливе могли быть эвстатические колебания уровня моря (Carlson, 2011), когда при его понижении/повышении происходило уменьшение/увеличение обмена водными массами между Амурским лиманом и Татарским заливом.

0 5 10 км

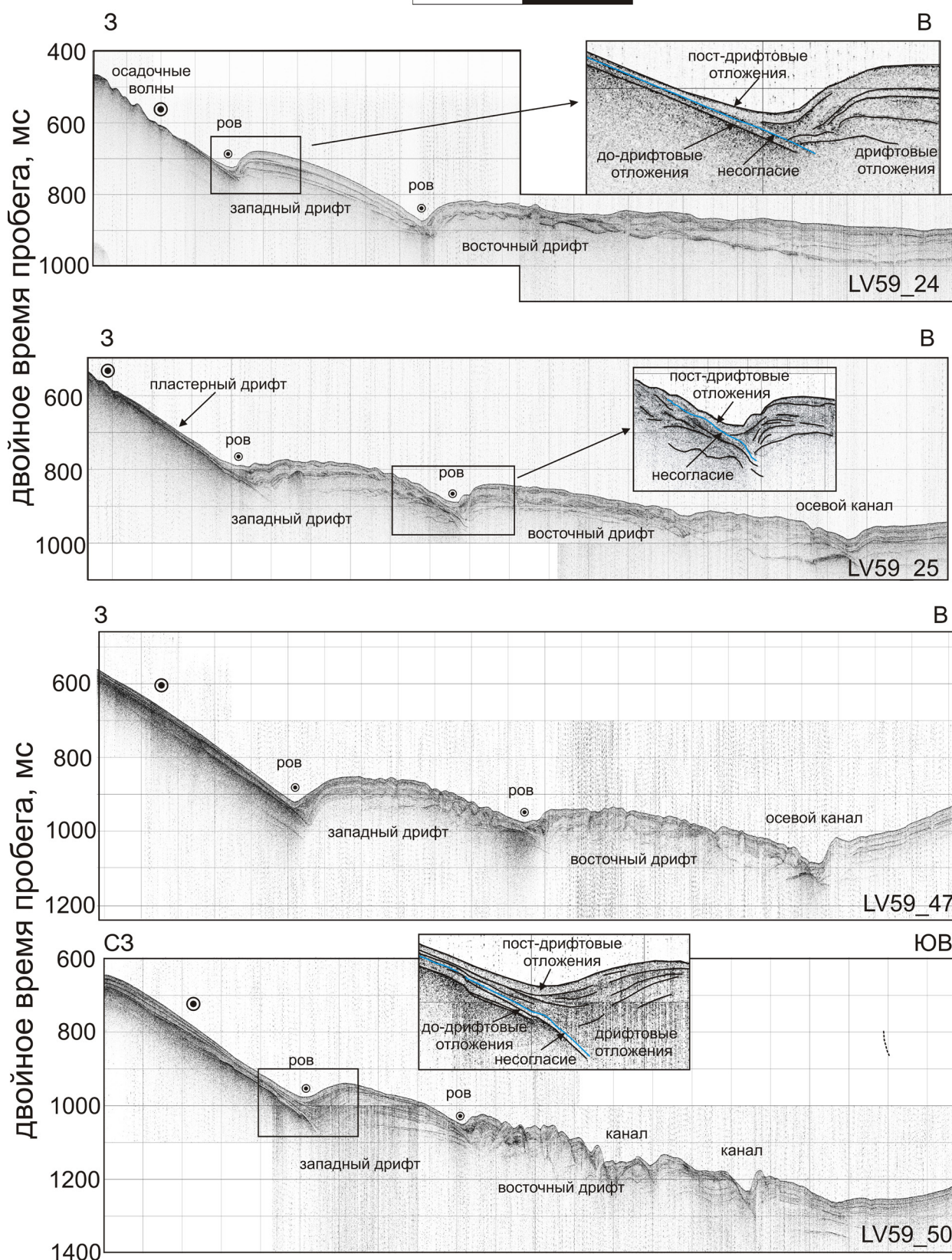


Рис 8. Фрагменты сейсмоакустических разрезов, иллюстрирующие строение верхней части контуритовых дрефтов с севера на юг в исследуемом районе. Положение разрезов показано на рис. 6а, их описание приведено в тексте.

Fig. 8. Fragments of seismoacoustic cross-sections showing structure of the upper part of contourite drifts from north to south in the study area. Location of sections is shown in Fig. 6a, see the text for their description.

Вариации в гидрологических условиях и количестве осадочного материала, по-видимому, были также связаны с периодической миграцией за последние 2.5 млн лет дельты Палеоамура, как в сторону Татарского пролива, так и в сторону Сахалинского залива (Nicholson et al., 2016). В первом случае расположение палеodelьты в самом проливе обеспечивало вынос больших объемов воды и осадков в Татарский пролив.

В настоящее время валоподобные контуритовые дрефты не активны, поскольку они перекрыты тонким слоем осадков, что свидетельствует о низкой скорости контурного течения вдоль основания западного склона Татарского трога. Это предположение подтверждается изучением современного процесса осадконакопления в Татарском трого, который рассматривается в качестве застойной зоны, где происходит формирование отложений нефелоидного терригенного материала (Лихт, 2002). Исследование распространения плюма реки Амур также показало, что в настоящее время вынос его вод вместе с терригенным осадочным материалом происходит, в основном в Сахалинский залив, а не в Татарский пролив (Осадчиев, 2017).

ВЫВОДЫ

Анализ разрезов самой верхней части осадочного чехла Татарского трога, полученных при высокоразрешающей сейсмоакустической съемке в 59-м рейсе НИС «Академик М.А. Лаврентьев» (2012 г.), позволил выделить восемь типов отраженного сигнала (эхотипов). Используя в качестве основы батиметрическую карту, составленную по данным батиметрической съемки, полученным в 59-ом 62-ом (2013 г.), 67-ом (2014 г.) и 70-м (2015 г.) рейсах НИС «Академик М.А. Лаврентьев», показано распределение полей эхотипов и выделены области, различающиеся по гидродинамическому режиму. Границей между этими областями является канал, проходящий по оси трога. К востоку от канала современный осадочный чехол на дне трога и его склоне формируется в отсутствие придонных течений или их скорость является слишком низкой для эрозии и переноса осадочного материала.

К западу от осевого канала на дне и склоне трога располагаются осадочные аккумулятивные тела, такие как контуритовые дрефты и осадочные волны, сформированные под воздействием придонных контурных течений. Два крупных валоподобных контуритовых дрефта, вероятно, образовались в течении четвертичного времени и ранее, что свидетельствует о длительной активности придонного течения, которое при формировании дрефтов распалось на две струи,

приуроченные к контуритовым рвам. Строение осадочного чехла контуритов свидетельствует, что за этот период происходили неоднократные изменения, которые могли быть связаны с вариациями скоростей контуритовых течений или количеством переносимого им осадочного материала. Одно из таких изменений произошло 5000–5500 лет назад и было вызвано смещением струи контурного течения от валоподобных контуритовых дрефтов вверх по склону с формированием пластерного дрефта.

Таким образом, в пределах исследованного района Татарского трога придонные течения существуют, по крайней мере, с раннечетвертичного времени и охватывают только часть дна и склон к западу от оси трога. В придонном контурном течении в это время происходили изменения, как скорости, так и положения его струй, последнее из которых произошло в голоцене.

Данные, представленные в настоящей статье, были получены в рамках корейско-российско-японского проекта SSGH, финансируемого Японским обществом содействия науки (Japan Society for the Promotion of Science), гранты КАКЕННІ 232540083 и КАКЕННІ 22540485 и Корейским институтом полярных исследований (Korea Polar Research Institute), грант PN12020. С российской стороны эти исследования проводились Тихоокеанским океанологическим институтом им. В.И. Ильичева ДВО РАН и Институтом океанологии им. П.П. Ширшова РАН. Авторы выражают искреннюю благодарность членам научного состава экспедиции 59-го рейса НИС «Академик М.А. Лаврентьев» и других рейсов в рамках проекта SSGH за сотрудничество при исследованиях, материалы которых представлены в настоящей работе.

Работа выполнена в рамках государственного задания Минобрнауки России для ИО РАН (тема № FMWE-2024-0018).

Список литературы [References]

- Аксентов К.И., Мельгунов М.С., Алаторцев А.В. и др.* Первые данные о современных скоростях осадконакопления в южной части Татарского пролива Японского моря // Доклады Российской академии наук. Науки о Земле. 2023. Т. 508. № 2. С. 232–236. <https://doi.org/10.31857/S2686739722602241> [*Aksentov K.I., Melgunov M.S., Alatorcev A.V. et al.* First data on modern sedimentation rates in the southern part of the Tatar Strait of the Sea of Japan // Doklady Earth Sciences. 2022. V. 507. P. 414–417. <https://doi.org/10.1134/s1028334x22601717>].
- Баранов Б.В., Лобковский Л.И., Рукавишников Д.Д. и др.* Контуритовые дрефты в Татарском проливе Японского моря // Доклады Российской академии наук. Науки о Земле. 2020. Т. 491. № 1. С. 63–67. <https://doi.org/10.31857/S2686739720030019> [*Baranov B.V., Lobkovsky L.I., Rukavishnikova D.D.*

- et al.* Conturite drifts in the Tatar Strait, Sea of Japan // Doklady Earth Sciences. 2020. V. 491. № 1. P. 160–163. <https://doi.org/10.1134/S1028334X20030010>].
- Варнавский В.Г.* Геодинамика кайнозойских нефтегазовых осадочных бассейнов активных континентальных окраин // М.: Наука, 1994. 208 с. [*Varnavsky V.G.* Geodynamics of Cenozoic petroleum sedimentary basins on active continental margins // Moscow: Nauka, 1994. 208 p. (in Russian)].
- Геология и полезные ископаемые России. Арктические и Дальневосточные моря. Книга 2. Дальневосточные моря // Санкт-Петербург: Издательство ВСЕГЕИ, 2005. 304 с. [Geology and natural resources of Russia. Arctic and Far East seas. Book 2. Far East seas. // St.-Petersburg: VSEGEI Press, 2005. 304 p. (in Russian)].
- Грецкая Е.В., Петровская Н.А., Рыбак-Франко Ю.В.* Сейсмостратиграфическая схема Охотского моря и Татарского пролива // Геология нефти и газа. 2014. Вып. 6. С. 19–24 [*Gretskaya E.V., Petrovskaya N.A., Rybak-Phranko Yu.V.* Seismostratigraphic scheme of the Okhotsk Sea and Tatar Strait // *Geologiya Nefti i Gaza*. 2014. V.6. P. 19–24 (in Russian)].
- Дубина В.А., Файман П.А., Жабин И.А. и др.* Течения Охотского моря по спутниковым данным и результатам численного моделирования // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2012. Т. 9. № 1. С. 206–212 [*Dubina V.A., Faiman P.A., Zhabin I.A. et al.* The Okhotsk Sea currents: satellite imagery and numerical simulation // *Modern problems of the remote sensing of the Earth from space*. 2011. V. 9. № 1. P. 206–212 (in Russian)].
- Лихт Ф.Р.* Литодинамическая дифференциация донных отложений в седиментационных бассейнах разного морфоструктурного типа (на примере Татарского пролива) // Условия образования донных осадков и связанных с ними полезных ископаемых в окраинных морях. Владивосток: Дальнаука, 2002. С. 5–24 [*Likht F.R.* Lithodynamic differentiation of bottom deposits in sedimentation basins of different morphostructural type (on example of the Tatar Strait) // *Conditions of bottom sediments and related natural resources generation in the marginal seas*. Vladivostok: Dal'nauka, 2002. P. 5–24 (in Russian)].
- Ломтев В.Л., Патрикеев В.Н., Сеначин В.Н.* К строению Татарского трога (Японское море): новые подходы // Геология и полезные ископаемые мирового океана. 2010. № 3. С. 65–75 [*Lomtev V.L., Patrikeev V.N., Senachin V.N.* On Tatar Trough structure (Sea of Japan): new approach // *Geology and mineral resources of the World ocean*. 2010. № 3. P. 65–75 (in Russian)].
- Мурдмаа И.О., Левченко О.В., Маринова Ю.Г.* О четвертичных сейсмических континентального подножия Атлантического океана // Литология и полезные ископаемые. 2012. № 5. С. 427–450 [*Murdmaa I.O., Levchenko O.V., Marinova J.G.* Quaternary seismic facies of the Atlantic continental rise // *Lithology and mineral resources*. V. 47. № 5. 2012. P. 379–400. <https://doi.org/10.1134/S0024490212050069>].
- Осадчиев А.А.* Распространение плюма реки Амур в Амурском лимане, Сахалинском заливе и Татарском проливе // Океанология. 2017. Т. 57. № 3. С. 417–424. <https://doi.org/10.7868/S0030157417020150> [*Osadchiev A.A.* Spreading of the Amur River plume in the Amur Liman, Sakhalin Gulf and the Strait of Tatar // *Oceanology*. 2017. V. 57. № 3. P. 376–382. <https://doi.org/10.1134/S0001437017020151>].
- Сейсмическая стратиграфия. М.: Мир, 1982. 846 с. [Seismic stratigraphy // U.S.A. Oklohoma: American Association of Petroleum Geologists. 1977. 516 p.].
- Сим Л.А., Каменев П.А., Богомолов Л.М.* Новые данные о новейшем напряженном состоянии земной коры острова Сахалин (по структурно-геоморфологическим индикаторам тектонических напряжений) // Геосистемы переходных зон. 2020. Т. 4. № 4. С. 372–383. <https://doi.org/10.30730/gtr.2020.4.4.372-383> [*Sim L.A., Kamenev P.A., Bogomolov L.A.* New data on modern stress pattern of the Sakhalin Island Earth crust (basing on structural-geomorphologic indicators of tectonic stress) // *Geosistemy perekhodnykh zon*. 2020. V. 4. № 4. P. 372–383 (in Russian)].
- Харахинов В.В.* Нефтегазовая геология Сахалинского региона. М.: Научный мир, 2010. 275 с. [*Kharakhinov V.V.* Petroleum geology of the Sakhalin Region. Moscow: Nauchnyi Mir, 2010. 275 p. (in Russian)]
- Carlino M.F., Di Stefano A., Budillon F.* Seismic facies and seabed morphology in a tectonically controlled continental shelf: The Augusta Bay (offshore eastern Sicily, Ionian Sea) // *Marine Geology*. 2013. V. 335. P. 35–51 <http://dx.doi.org/10.1016/j.margeo.2012.10.009>
- Carlson A.E.* Ice sheets and sea level in Earth's past // *Nature Education Knowledge*. 2011. 3(10):3.
- Baranov B.V., Dozorova K.A., Moroz E.A. et al.* Contourites in the Seas of Russia // *Oceanology*. 2024. Vol. 64. Suppl. 1. P. S155–S169. <https://doi.org/10.1134/S0001437024700966>
- Damuth J.E.* Echo character of the Western Equatorial Atlantic Floor and its relationship to the dispersal and distribution of terrigenous sediments // *Marine Geology*. 1975. V. 18. P. 17–45.
- Damuth J.E., Hayes D.E.* Echo character of the east Brazilian continental margin and its relationship to sedimentary processes // *Marine geology*. 1977. V. 24. P. 73–95.
- Damuth J.E.* Use of high-frequency (3.5–12 kHz) echograms in the study of near-bottom sedimentation processes in the deep-sea: a review // *Marine Geology*. 1980. V. 38. P. 51–75.
- Faugères J.C., Stow D.A.V., Imbert P. et al.* Seismic features diagnostic of contourite drifts // *Marine Geology*. 1999. V. 162. P. 1–38.
- GEBCO Compilation Group (2023) // GEBCO 2023 Grid. <https://doi.org/10.5285/f98b053b-0cbc-6c23-e053-6c86abc0af7b>
- Kim D.C., Lee G.S., Lee G.H. et al.* Sediment echo types and acoustic characteristics of gas-related acoustic anomalies in Jinhae Bay, Southern Korea // *Geosciences Journal*. 2008. V. 12. № 1. P. 47–61. <https://doi.org/10.1007/s12303-008-0007-8>
- Klaus A, Ledberier M.T.* Deep-sea sedimentary processes in the Argentine Basin revealed by high-resolution seismic records (3.5 kHz echograms) // *Deep-Sea Research*. 1988. V. 35. №. 6. P. 899–917.
- Lee S.H., Chough S.K.* High-resolution (2±7 kHz) acoustic and geometric characters of submarine creep deposits

- in the South Korea Plateau, East Sea // *Sedimentology*. 2001. V. 48. P. 629–644.
- Llave E., Jané G., Maestro A. et al.* Geomorphological and sedimentary processes of the glacially influenced northwestern Iberian continental margin and abyssal plains // *Geomorphology*. 2018. V. 312. P. 60–85. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2018.03.022>
- Loncke L, Gaullier V., Droz L. et al.* Multi-scale slope instabilities along the Nile deep-sea fan, Egyptian margin: A general overview // *Marine and Petroleum Geology*. 2009. V. 26. P. 633–646.
- Mouchot N., Loncke L., Mahieux G. et al.* Recent sedimentary processes along the Makran trench (Makran active margin, off Pakistan) // *Marine Geology*. 2010. V. 271. P. 17–31. <https://doi.org/10.1016/j.margeo.2010.01.006>
- Murdmaa I., Ivanova E.* The Ioffe Drift // Springer. 2021. 195 p. <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-030-82871-4>
- Nicholson U., van der Es B., Clift P. D. et al.* The sedimentary and tectonic evolution of the Amur River and North Sakhalin Basin: new evidence from seismic stratigraphy and Neogene-Recent sediment budgets // *Basin Research*. 2016. V. 28. P. 273–297. <https://doi.org/10.1111/bre.12110>
- Operation Report of Sakhalin Slope Gas Hydrate Project 2012, R/V Akademik M.A. Lavrentiev Cruise 59 // Incheon: Korea Polar Research Institute, 2013. 163 p.
- Operation Report of Sakhalin Slope Gas Hydrate Project 2013, R/V Akademik M. A. Lavrentyev Cruise 62 // Kitami: Kitami Institute of Technology, 2014. 110 p.
- Operation Report of Sakhalin Slope Gas Hydrate Project II, 2014, R/V Akademik M. A. Lavrentyev Cruise 67 // Incheon: Korea Polar Research Institute, 2015. 121 p.
- Operation Report of Sakhalin Slope Gas Hydrate Project II, 2015, R/V Akademik M. A. Lavrentyev Cruise 70 // Kitami: Kitami Institute of Technology, 2016. 119 p.
- Pratson L.F., Laine E.P.* The relative importance of gravity-induced versus current-controlled sedimentation during the Quaternary along the mid-east U.S. outer continental margin revealed by 3.5 kHz echo character // *Marine Geology*. 1989. V. 89. P. 87–126.
- Putans V.A., Merklin L.R., Levchenko O.V.* Sediment Waves and Other Forms as Evidence of Geohazards in Caspian Sea // *International Journal of Offshore and Polar Engineering*. 2010 V. 20. №. 4. P. 1–4.
- Rebesco M., Hernández-Molina F.J., Rooij D.V. et al.* Contourites and associated sediments controlled by deep-water circulation processes: State-of-the-art and future considerations // *Marine Geology*. 2014. V. 352. P. 111–154. <https://doi.org/10.1016/J.MARGE0.2014.03.011>
- Rooij D.V., Mol B.D., Huvenne V. et al.* Seismic evidence of current-controlled sedimentation in the Belgica mound province, upper Porcupine slope, southwest of Ireland // *Marine Geology*. 2003. V. 195. P. 31. [https://doi.org/10.1016/S0025-3227\(02\)00681-3](https://doi.org/10.1016/S0025-3227(02)00681-3)
- Smillie Z., Stow D., Esentia I.* Deep-Sea Contourites Drifts, Erosional Features and Bedforms // *Encyclopedia of Ocean Sciences*. Third Edition. 2019. V. 4. P. 97–110. <https://doi.org/doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.11590-8>
- SRTM (Shuttle Radar Topography Mission project). <http://srtm.usgs.gov>
- Wynn R.B., Stow D.A.V.* Classification and Characterization of Deep-water Sediment Waves // *Marine Geology*. 2002. V. 192. P. 7–22. [https://doi.org/10.1016/S0025-3227\(02\)00547-9](https://doi.org/10.1016/S0025-3227(02)00547-9)

SEDIMENTATION ENVIRONMENT IN THE TATAR STRAIT OF THE SEA OF JAPAN

D.D. Rukavishnikova, K.A. Dozorova, B.V. Baranov

*Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia, 117997;
e-mail: drukavishnikova@gmail.com*

Received Yune 26, 2025; revised October 16, 2025; accepted December 25, 2025

High-resolution seismoacoustic data were obtained in the central Tatar Strait of the Sea of Japan in 59-th cruise of Research Vessel «Akademik M.A Lavrentiev» conducted as a part of the international «Sakhalin Slope Gas Hydrates» project in the summer of 2012. The data was used to identify types of reflecting signals echotypes, map their distribution fields, and determine sedimentation environments. These environments include sedimentation with weak or no bottom currents on the eastern side of the strait, underwater erosion and redeposition by bottom currents on its western flank; transportation and deposition of sediments by bottom currents and turbidite flows with the formation of contourite drifts and sedimentary waves in the central part of the strait. An assumption has been made about the direction and relative velocities of currents that influenced sediment accumulation on the western side of the strait and in its central part.

Keywords: Tatar Strait, seismoacoustic profiling, sedimentation environments, bottom currents.