

## РАЗРУШЕНИЕ ДЕЛЬТЫ РЕКИ ТУМАННОЙ В ГОЛОЦЕНОВОЕ ВРЕМЯ И ФОРМИРОВАНИЕ ПРИПОВЕРХНОСТНЫХ СКОПЛЕНИЙ ГАЗА НА ШЕЛЬФЕ ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ЗАЛИВА ПЕТРА ВЕЛИКОГО (ЯПОНСКОЕ МОРЕ)

*В.Н. Карнаух, Е.Н. Суховеев*

*ФГБУН Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН, ул. Балтийская 43,  
г. Владивосток, 690041; e-mail: karnaukh@poi.dvo.ru, sukhoveev@poi.dvo.ru*

Поступила в редакцию 6 апреля 2023 г.

Представлены результаты батиметрических и сейсмоакустических исследований шельфа западной части залива Петра Великого. На шельфе выделено пять затопленных береговых линий, образованных в позднем плейстоцене–голоцене. Обнаружено, что значительную часть шельфа занимает зона нерегулярной седиментации, которая подстилается эрозионной поверхностью, погребенной под отложениями приливно-отливных дельт в областях активного осадконакопления и обнажающейся на морском дне в пределах области активной современной эрозии. Процессы абразии и формирования зоны нерегулярной седиментации на шельфе активизировались примерно 11500–11700 лет назад. На шельфе залива обнаружены акустические аномалии, связанные с присутствием газа в осадках, и газовые факелы в толще воды. Выполнена классификация типов аномалий и составлена карта их площадного распространения. Сделан вывод, что спусковой механизм, обеспечивающий миграцию газа в осадки и водную толщу, связан с группой факторов: послеледниковым изменением уровня моря, процессами абразии, метеорологическим и гидрологическим режимами.

**Ключевые слова:** приповерхностные скопления газа, дельта р. Туманной, изменения уровня моря в голоцене, залив Петра Великого.

### ВВЕДЕНИЕ

Реки являются основным поставщиком большого количества осадочного материала на шельф, глубоководный склон и дно морей. Дельта реки образуется в месте впадения водного потока в морской бассейн в результате взаимодействия речного стока, морского волнения, приливов и течений. Отложения дельты составляют значительную часть осадочного чехла на шельфе и материковом склоне. В осадках шельфа часто наблюдаются различные приповерхностные скопления газа [7, 24, 30]. Их распознавание основано на наличии акустических особенностей, таких как акустическая «мутность», «покров», «колонны», «завеса» и т.д. [26, 29, 30]. Важное значение придается изучению и выделению сейсмоакустическими методами зон повышенного порового давления в осадках, когда поровая вода содержит растворенный газ, находящийся под более высоким давлением, чем сумма гидростатического и литостатического давлений. Предполагается, что эти зоны представлены столбо-

образными акустическими пустотами [26]. Другим индикатором избыточного порового давления может являться наличие локальных возвышений морского дна над прозрачными зонами. На стабильность приповерхностных скоплений газа в мелководных районах, их разрушение и миграцию газа к морскому дну влияет давление в газонасыщенных отложениях [23], разрушение осадочной толщи движущимися флюидами, избыточное давление поровой воды и действие на газосодержащие осадки так называемой «гидравлической помпы» [30]. Спровоцировать миграцию газа могут различные внешние силы: землетрясения и цунами, штормовые волны и приливы, колебания атмосферного давления и активность внутренних волн.

Информация о приповерхностных скоплениях газа на шельфе Японского моря немногочисленна [24]. Сообщалось о приповерхностных скоплениях газа в илах шельфа Корейского полуострова [25, 32, 33]. Изучение скоплений газа на шельфе северо-западной части Японского моря началось после обнаружения различных приповерхностных акустических

аномалий газовой природы в позднелайстоцен-голоценовых илистых отложениях в Амурском заливе (северная часть залива Петра Великого) в экспедициях Тихоокеанского океанологического института ДВО РАН (ТОИ ДВО РАН) [30]. В западной части залива Петра Великого на сейсмоакустических профилях также были обнаружены приповерхностные скопления газа [12, 13], а на записях эхолотов обнаружены газовые факелы [6]. В настоящей работе выполнено обобщение имеющихся сейсмических и сейсмоакустических данных, полученных в экспедициях ТОИ ДВО РАН в период 2001–2022 гг. с целью уточнения строения шельфа западной части залива Петра Великого, выделение и классификация приповерхностных скоплений газа, оценка состояния осадочной дельты р. Туманной и анализ океанологических и метеорологических данных для определения триггерного механизма миграции газа в осадках.

#### ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ И ОКЕАНОГРАФИЧЕСКАЯ ОБСТАНОВКА

Залив Петра Великого расположен в северо-западной части Японского моря и характеризуется наличием обширного мелководного шельфа (рис. 1, а). В северо-западной части Япономорского региона нет крупных рек. Здесь со склонов Сихотэ-Алиня, Восточно-Маньчжурских и Северо-Корейских гор стекают небольшие реки длиной 50–150 км. Только р. Туманная резко выделяется из ряда этих рек. Эта река, также известная как река Тумэн (корейское произношение Туманган), представляет собой водоток длиной 550 км, берущий начало на склонах горы Пэктусан. Дельта реки занимает обширные низменные озерно-болотистые прибрежные районы, осложненные многочисленными старицами и озерами, расположенными на высоте 2–8 м над уровнем моря.

По тектоническому положению западная часть залива и прилегающие к нему участки суши относятся к южному краю (называемому Западно-Приморской зоной) Ханкайского массива [1]. В Западно-Приморской зоне краевые части массива интенсивно переработаны, перекрыты терригенно-вулканогенными формациями и интродуцированы гранитоидами палеозойских и мезозойских этапов тектоно-магматической активизации. Фундамент на участке шельфа предположительно сложен осадочными породами (песчаники, алевролиты, углеродистые алевролиты с линзами черного угля) пермского возраста, гранитоидами поздней перми и ранней юры, а также вулканическими образованиями позднего триаса и эоцена.

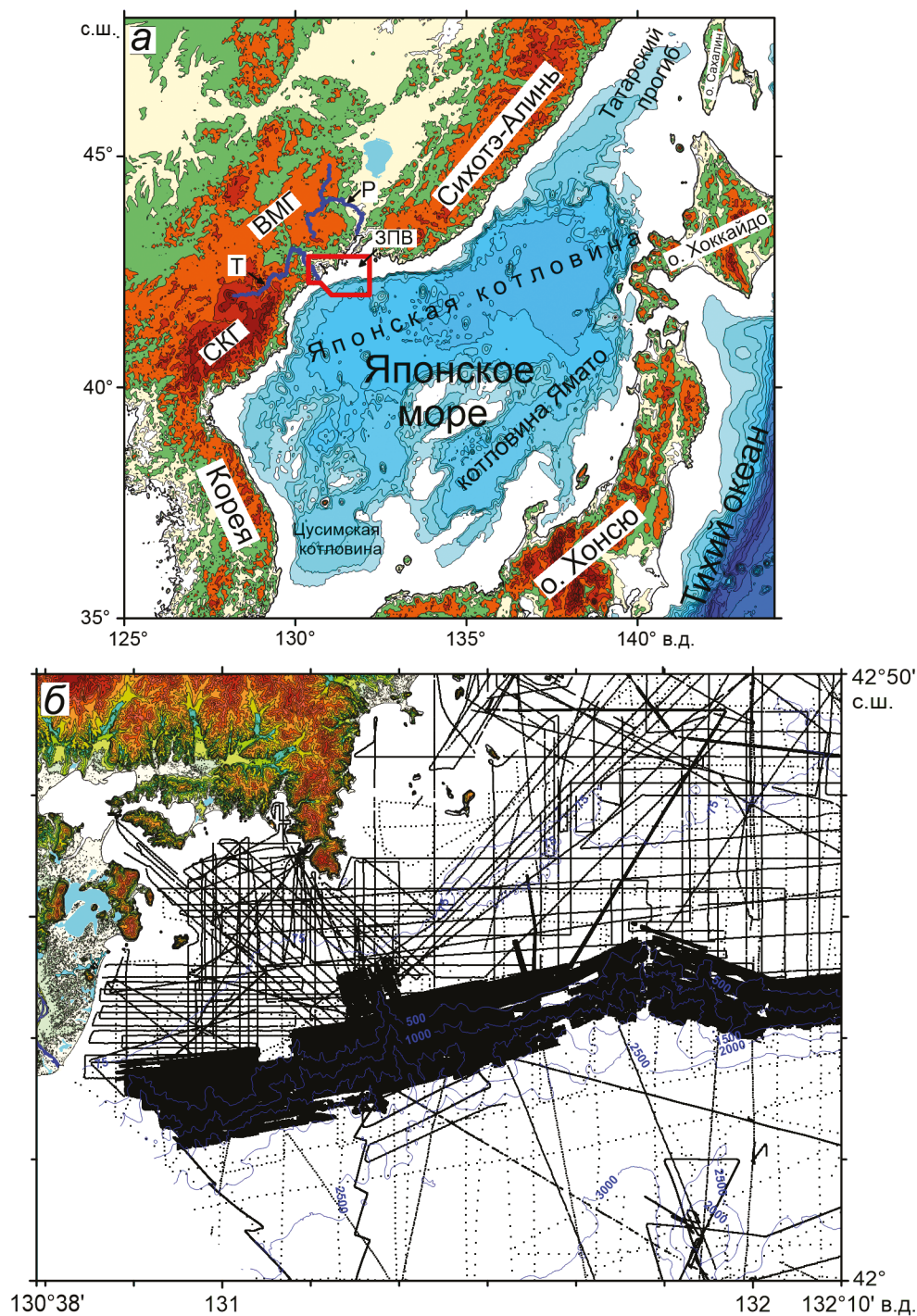
Западная часть залива Петра Великого представляет собой бассейн, открытый водам Японского моря. Изменения уровня моря и циркуляция воды в

заливе контролируются характером ветра, циклоническими/антициклоническими погодными системами (повышение/понижение давления на 1 гПа приводит к понижению/повышению уровня моря на 1 см), штормовыми волнами и приливами. Циркуляция ветра является основным фактором, который контролирует динамику воды в заливе. Над заливом преобладают северные и южные ветры [16, 27]. Максимальная скорость ветра достигает 26 м/с. В зимний сезон здесь нет стабильного ледяного покрова, волны движутся с севера и запада и их высота может достигать 5.8 м [15]. Летом преобладают волны, движущиеся с юга, а их высота достигает 9 м [18]. Высота приливов в заливе составляет 0.2–0.5 м [16]. Атмосферное давление колеблется в течение года от 981 до 1039 ГПа [27]. Ветер, колебания атмосферного давления и приливы могут привести к повышению или понижению местного уровня моря, которое может достигать 0.6–1.0 м [16]. Воды залива подвержены влиянию холодного Приморского течения, которое движется из северной части Японского моря [22]. Глубинные воды из Японской котловины периодически вторгаются в залив в условиях апвеллинга. Сочетание всех этих факторов является причиной формирования здесь придонных течений со скоростями 0.3–1.0 м/с [15, 21].

Структура морской воды в заливе очень изменчива. Летом здесь выделяются два слоя воды с разной соленостью и температурой. В поверхностном слое вода нагревается до температуры 20–24 °C [5]. Ниже глубины 50 м температура воды колеблется от +5 °C до +1 °C. Зимой водная толща характеризуется равномерным распределением температуры, и заметная стратификация воды отсутствует. Наличие скачков температуры и солености летом, приливная активность, придонные течения и периодические вторжения глубинных вод способствуют образованию внутренних волн. Внутренние волны обычно формируются в районе бровки шельфа и характеризуются длиной волны 1.5–2.0 км и амплитудой 3–5 м [17]. По мере уменьшения глубины моря длина внутренних волн уменьшается до 200–500 м, а амплитуда увеличивается до 5–10 м.

#### ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

В данном исследовании использованы результаты морских батиметрических, сейсмических и сейсмоакустических работ. Батиметрические данные (рис. 1, б) были получены с помощью однолучевых и многолучевых эхолотов. Однолучевые эхолоты представлены GARMIN GPSMAP 420s, ELAC LAZ-72AV и ГЭЛ-3. Многолучевой эхолот представлен моделью SeaBeam 3050. Сейсмические работы проводились методом непрерывных профильных наблюдений с

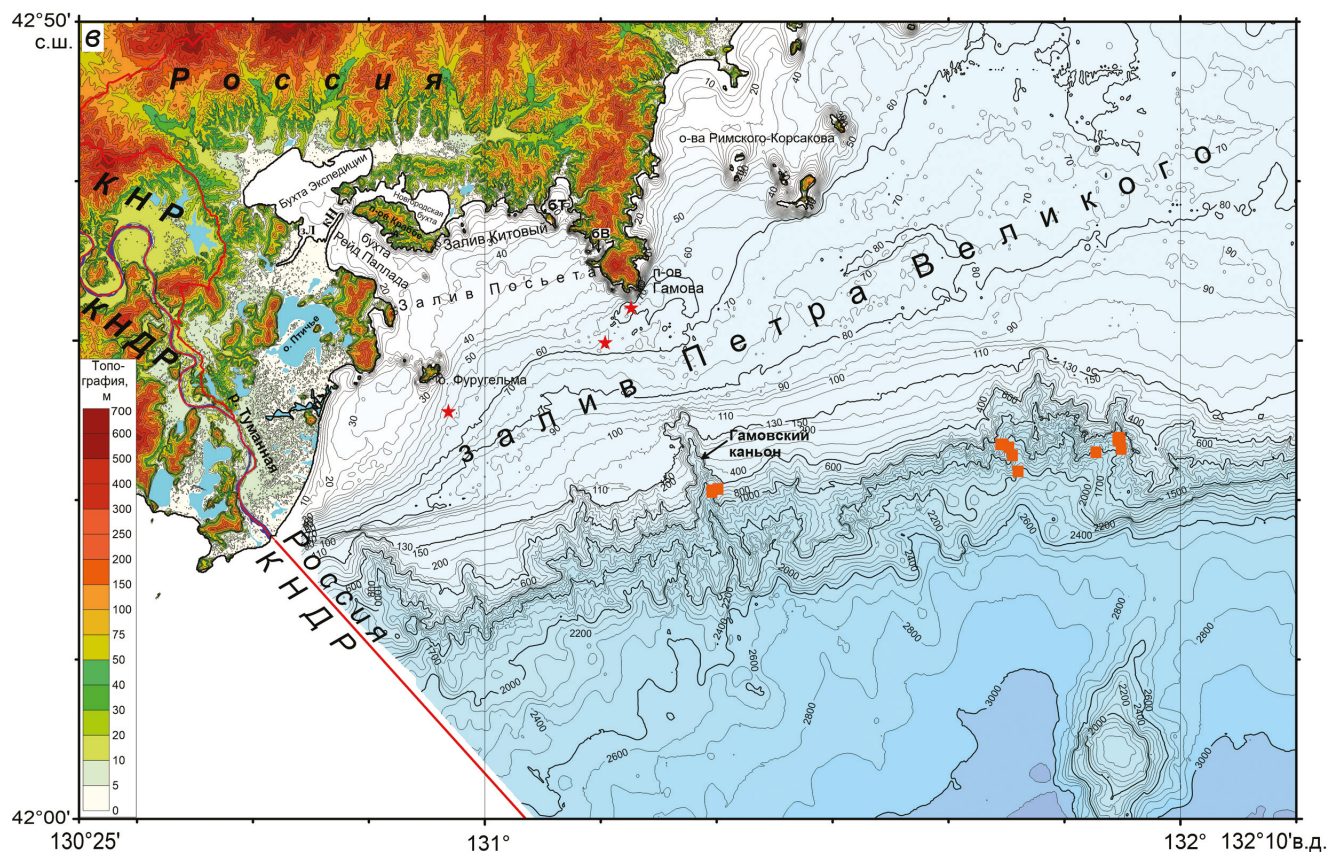


**Рис. 1.** Расположение района работ в Японском море (показан красным контуром) (а) и положение батиметрических профилей в западной части залива Петра Великого (б).

На 1а: ЗПВ – залив Петра Великого. ВМГ – Восточно-Маньчжурские горы. СКГ – Северо-Корейские горы. Т – р. Туманная. Р – р. Раздольная.

На 1б: профили с однолучевым эхолотом показаны черными одинарными и пунктирными линиями. Районы работ с многолучевым эхолотом обозначены черными областями.





**Рис. 1.** Карта рельефа дна (сетка 0.1') западной части залива Петра Великого и прилегающей части Японской котловины (в).

В интервале глубин 5–100 м изобаты проведены через 5 м. Глубже 200 м изобаты проведены через 100 м. Между глубинами 100 и 200 м показаны изобаты 110, 130 и 150 м. Красными прямоугольниками показано положение станций драгирования пород аргиллитовой толщи [4]. Расположение океанологических станций показано красными звездочками [14, 20]. БТ – бухта Троицы, БВ – бухта Витязь, ЗЛ – залив Лебединый, КН – коса Назимова.

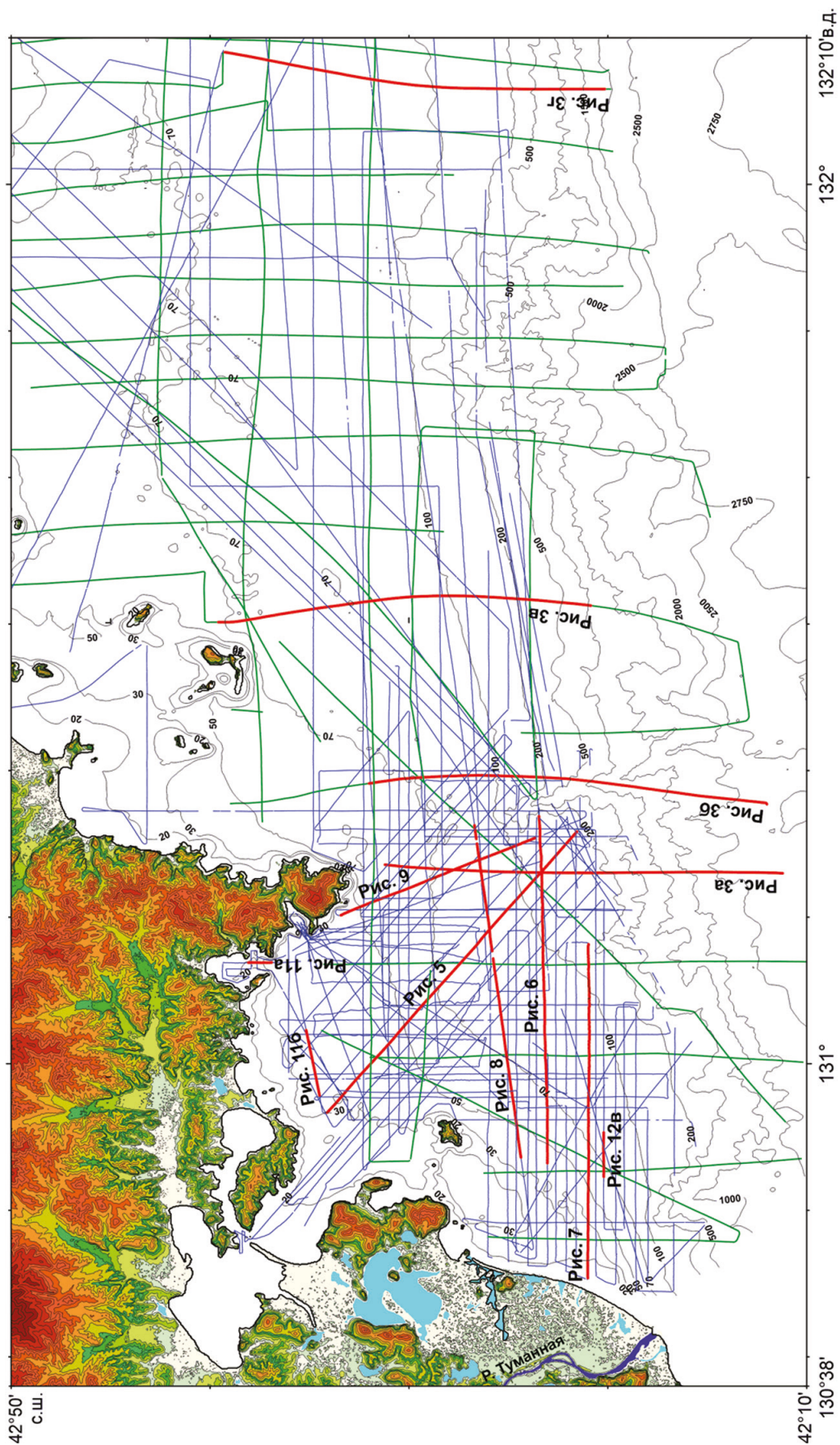
использованием одноканальной сейсмической косы и пневмоисточника объемом 3 л [10]. Сейсмоакустические исследования выполнялись по аналогичной методике с помощью высокочастотного профилографа «GeoPulse Subbottom Profiler» (рис. 2). Использовался сигнал с частотой 3.5 кГц.

#### РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТ

Шельф западной части залива Петра Великого представлен поверхностью, наклоненной к югу и осложненной отдельными впадинами и поднятиями (рис. 1, в). Бровка шельфа расположена в интервале глубин 125–135 м. В целом ширина шельфа увеличивается в северо-восточном направлении от 8, до, примерно, 50 км. В интервале глубин 65–70 м располагается уступ, который делит шельф на внутреннюю и внешнюю части. Вытянутые впадины глубиной 30–40 м расположены в заливе Китовый и к юго-западу от о. Фуругельма. Другая впадина глубиной до 75 м

расположена к югу от п-ва Гамова. Ширина внешнего шельфа увеличивается в северо-восточном направлении с 2–3 до, примерно, 22 км. Эта особенность нарушается между о. Фуругельма и каньоном Гамова. Здесь наблюдается локальное расширение внешнего шельфа до 18 км. Несколько каньонов пересекают континентальный склон. Самый большой из них – каньон Гамова. Еще одна крупная система каньонов расположена на склоне в районе 131°50' в.д. Также большой каньон расположен недалеко от устья р. Туманной. Вершинные части каньонов начинают формироваться на глубинах 90–105 м. Часть Японской котловины, прилегающая к заливу Петра Великого, характеризуется наличием обширного континентального подножия. Подножие располагается в интервале глубин моря от 2200 до, примерно, 3 300 м, а его ширина составляет 50–90 км. Подножие наиболее хорошо выражено в части котловины, прилегающей к устью р. Туманной и каньону Гамова.





**Рис. 2.** Карта расположения сейсмоакустических профилей, полученных с помощью высокочастотного профилографа (тонкие синие линии). Профили одноканального непрерывного сейсмического профилирования с пневмоисточником показаны толстыми зелеными линиями. Примеры профилей, показанные на рисунках 3, 5–9, 11 и 12, обозначены толстыми красными линиями.

Акустический фундамент (АФ) шельфа погружается в направлении Японской котловины (рис. 3, 4). В пределах внутреннего шельфа поверхность АФ относительно ровная и обычно располагается на глубинах 0.2–0.4 с (здесь и ниже приведено значение двойного времени распространения волны). Поверхность АФ внешнего шельфа характеризуется изрезанным рельефом и располагается на глубинах 0.4–1.4 с. Здесь выделяется несколько узких впадин глубиной до 1.1 с. Примечательной особенностью структуры фундамента является наличие цепочки локальных поднятий в районе бровки шельфа и верхней части склона. В восточном направлении эти поднятия примыкают к обширному наклонному блоку АФ. Эти отличительные особенности строения фундамента шельфа залива определяют характеристики распределения мощности осадочных отложений. Мощность осадков в верхней части континентального склона достигает 1.5 с. На большей части шельфа толщина осадков составляет около 0.2–0.7 с, редко до 1.0 с.

Общая структура плиоцен-голоценовых отложений в западной части шельфа залива Петра Великого демонстрируется сейсмоакустическими профилями на рис. 5–9. Наши профили показывают, что на шельфе выделяется пять ступеней, образованных в результате колебаний уровня моря в позднем плейстоцене и голоцене. Их распознавание основано на особенностях рельефа дна и строении осадочных отложений. На ступенях распознаются основные элементы затопленных древних береговых линий – береговой вал (барьер), лагуна, нижняя береговая линия (относится к той части морского дна и осадочной среде, которая находится ниже основания повседневной волны), реликтовое материковое побережье. Номенклатура основных прибрежных барьерных систем дана в соответствии с [35]. Первая береговая линия расположена на глубинах 105–108 м, вторая на 67–87 м, третья на 53–63 м, четвертая на 27–43 м и пятая на 17–25 м. Наиболее хорошо сохранилась четвертая линия. Ее барьер распознается в интервале глубин воды 25–40 м и прослеживается от устья р. Туманной через о. Фуругельма до б. Витязя. Поверхность морского дна в лагунах обычно плоская или слегка холмистая. Эта особенность резко нарушается в части лагуны третьей линии, расположенной к югу от полуострова Гамова (рис. 9). Через узкий канал, расположенный на глубине около 65 м, эта лагуна соединена с внешним шельфом. Поверхность дна в лагуне осложнена трогами и холмами высотой до 6 м, что свидетельствует об активной гидрологической обстановке в настоящее время.

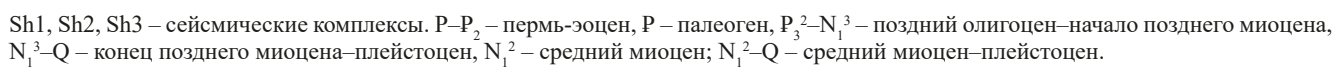
Примечательной особенностью строения шельфа является существование широкой зоны нерегу-

лярной седиментации в частях шельфа, где морские глубины превышают 45–60 м (рис. 5–9). Эта зона характеризуется наличием как областей активного осадконакопления и формирования приливно-отливных дельт, так и областей современной эрозии и отсутствия отложения осадков. Объединяющей особенностью для обеих областей является наличие общей обширной эрозионной поверхности, которая подстилает области активного осаднения и обнажается на морском дне в области современной эрозии. Амплитуда эрозионного среза на границе между этими участками достигает 8–10 м (рис. 6, 8). В направлении континента внешняя граница зоны нерегулярной седиментации приблизительно соответствует основанию береговой линии 3. Юго-западный и северо-восточный края этой зоны покрыты осадками приливно-отливных дельт толщиной до 11 м (предполагается, что скорость звука в осадках составляет 1600 м/с). Между ними, а это на участке внешнего шельфа между каньоном Гамова и о. Фуругельма (рис. 10), поверхность эрозии обнажается на морском дне, в голоценовое время отложение осадков здесь не происходило, а преобладали процессы разрушения осадочного чехла и переотложения осадочного материала. Затопленные древние береговые линии здесь полностью разрушены и не распознаются.

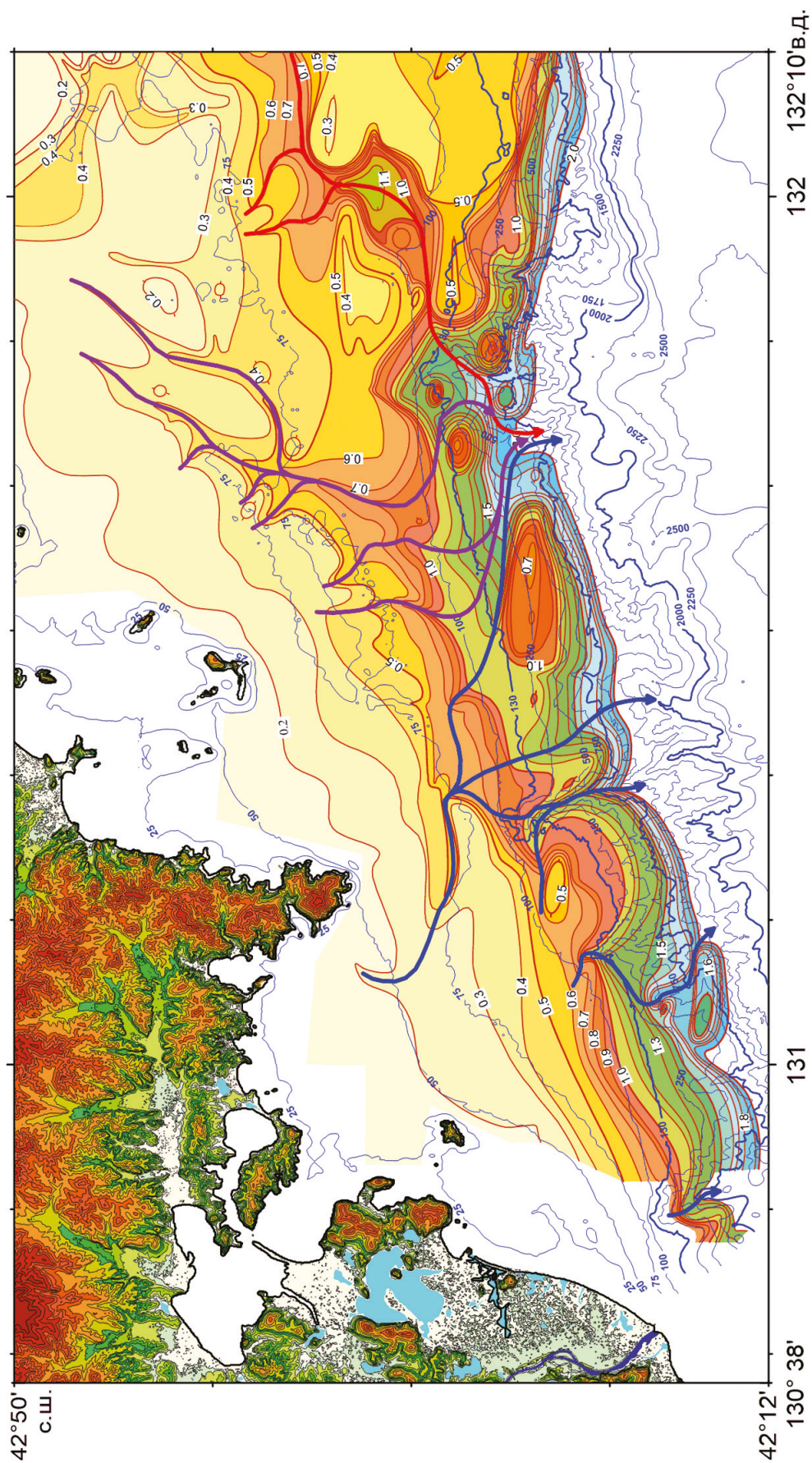
На склонах береговых валов, обращенных к морю, распознаются отливно-приливные дельты, а на склонах, обращенных к суше, выделяются приливно-отливные дельты. Эти объекты имеют толщину до 5 м и ширину 1–2 км. Иногда на океанской стороне барьера наблюдается рисунок бокового наращивания (рис. 5, 6), что указывает на последовательный рост/выдвижение пластов осадочных тел в латеральном направлении. Узкие долины глубиной до 10 м и шириной первые сотни метров распознаются на вершинах барьеров и на их склонах (рис. 5, 6). Мы полагаем, что эти структуры соответствуют захороненным приливно-отливным каналам. Иногда у основания лагун первой и второй береговых линий встречаются узкие ложбины глубиной до 8 м и шириной до 1 км (рис. 6–9). Вероятно, что эти структуры соответствуют погребенным притокам или рукавам реки Палео-Туманная. Часто к этим ложбинам со стороны берега примыкают уступы высотой 8–12 м, которые могут соответствовать ярам (речным обрывам).

В западной части залива Петра Великого обнаружены многочисленные приповерхностные скопления газа в донных отложениях. Эти скопления на основании их акустического облика, формы и размеров были классифицированы на несколько типов: «покров», «колонны», «мутность» и «столбы» (рис. 5–8, 11). Описание их акустического облика подробно приве-





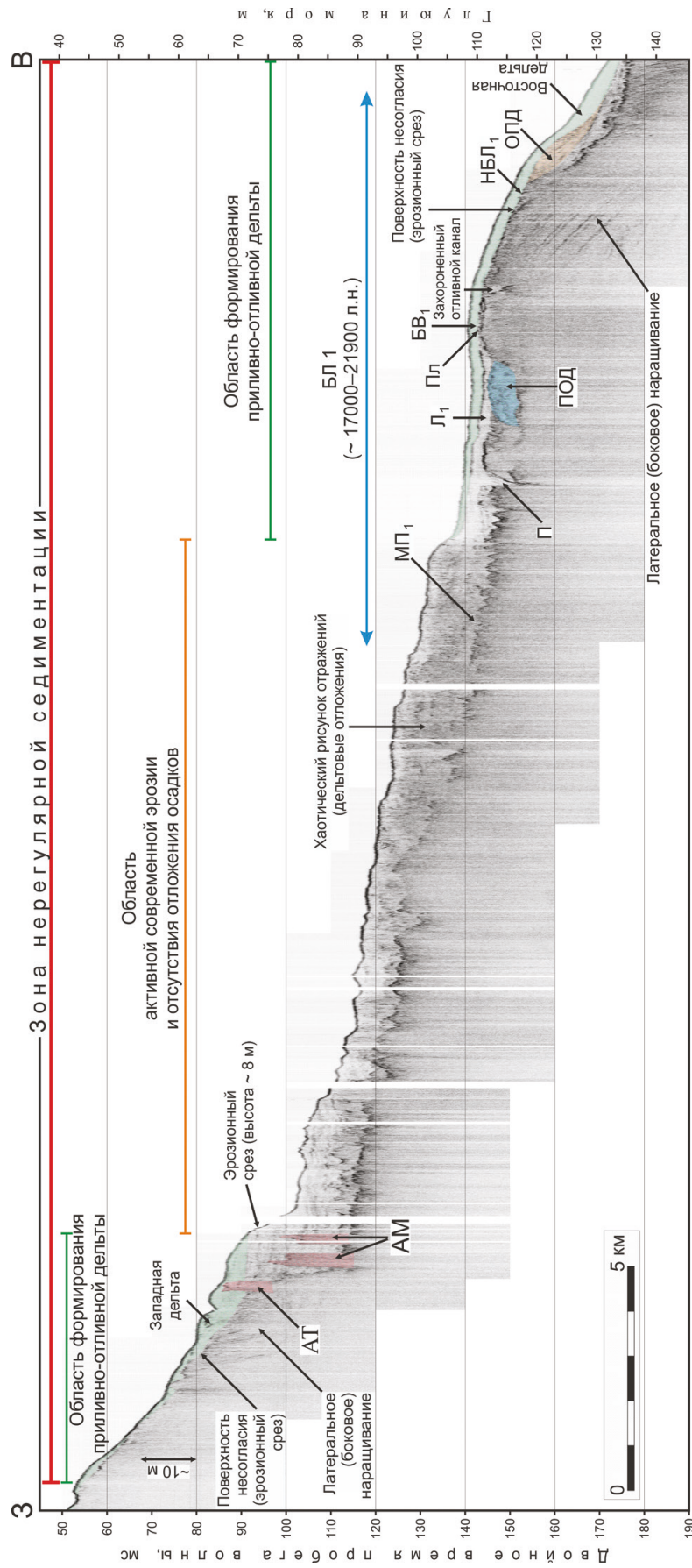




**Рис. 4.** Карта поверхности акустического фундамента западной части шельфа залива Петра Великого и прилегающего материкового склона. Изогипсы проведены через 0.1 с (двойное время пробега волны). Синими и красными линиями обозначены палеорусла р. Туманной и р. Раздольной, соответственно. Фиолетовые линии отображают палеодолины местных рек.



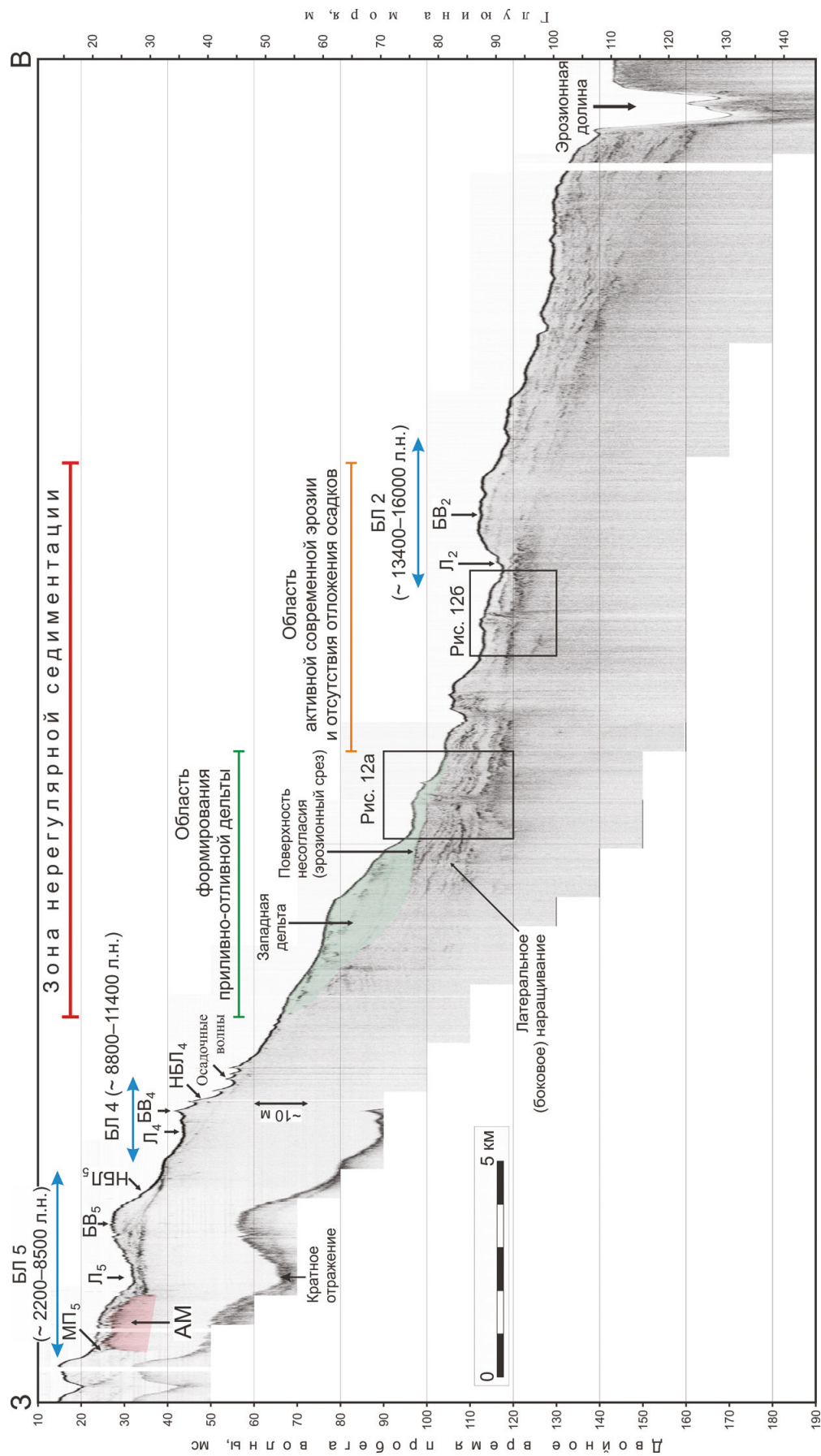




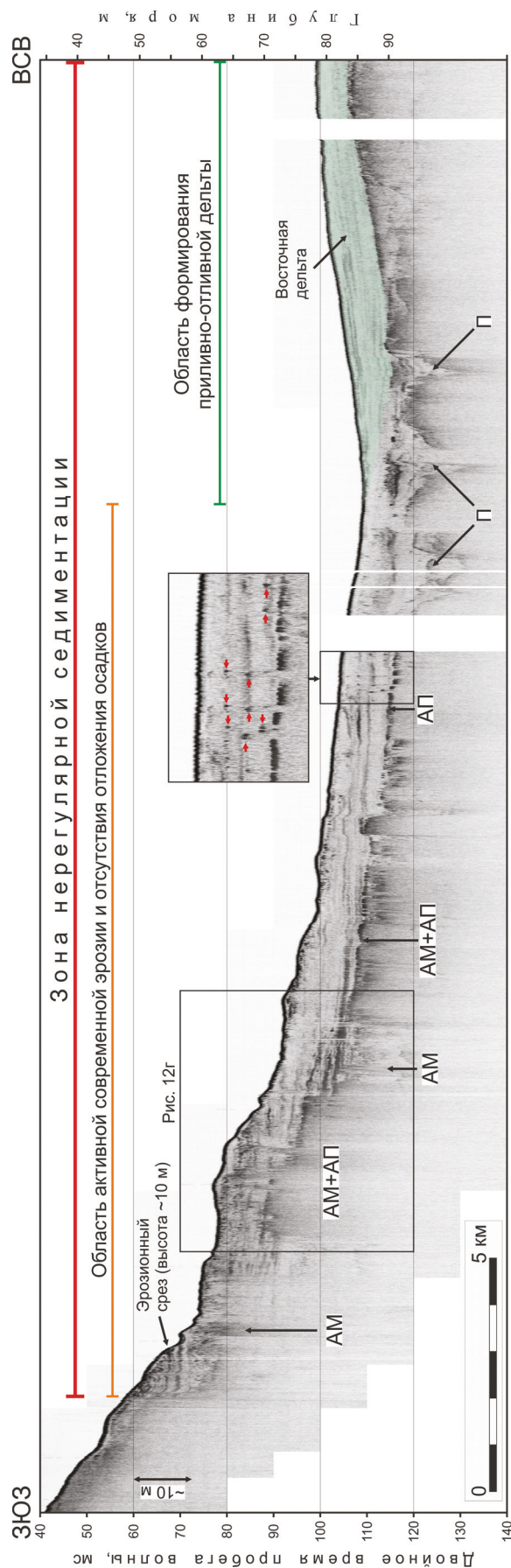
**Рис. 6.** Сейсмоакустический профиль, поясняющий структуру зоны нерегулярной седиментации, строение областей активной седиментации (западная и восточная приливо-отливные дельты) и облик области активной эрозии и отсутствия отложения осадочного материала.

Обратите внимание на наличие эрозийного среза высотой 8 м на западной окраине области эрозии. Здесь и на рис. 12: АТ – акустическая труба. Остальные условные обозначения на рис. 5.





**Рис. 7.** Сейсмоакустический профиль, иллюстрирующий строение осадочного слоя на шельфе залива в районе современного устья р. Туманной. Условные обозначения на рис. 5.



дено нами в работах [12, 13, 31]. Сейсмические данные также свидетельствуют о существовании зон высокого порового давления и вертикальной миграции газа. Эти зоны характеризуются наличием аномалий типа «завеса», столбчатых акустических пустот и небольших поднятий морского дна над акустическими «трубами» (рис. 11, 12). Вогнутые вниз отражения (pull-downs structures) часто наблюдаются вблизи краев аномалий. Также результаты исследования водного столба во время работ с многолучевым эхолотом показали наличие многочисленных акустических аномалий в толще воды в виде газовых факелов.

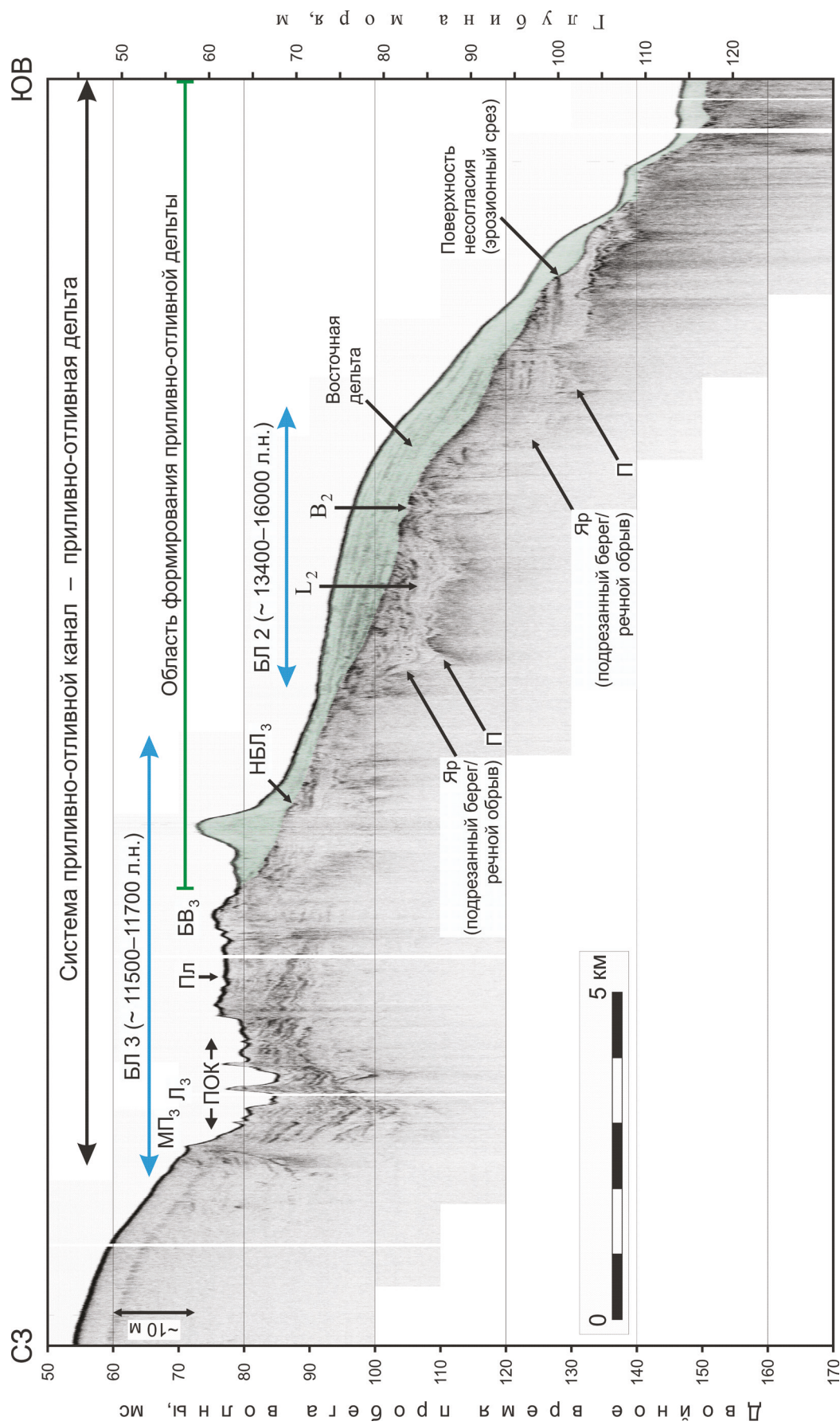
Размеры аномалий типа акустический «покров» в поперечнике варьируются от 100 до 2000 м. Этот тип аномалий обычно обнаруживается в нижней и средней частях осадочных толщ. Рядом с ними часто располагаются аномалии типа «колонн», которые, как правило, группируются в кластеры по 5–10 аномалий. Размеры скоплений в поперечном сечении варьируются от 50 до 1200 м. «Колонны» широко распространены в верхней и средней части осадочного чехла на глубинах 1–12 м ниже морского дна. Акустическая «мутность» проявляется на глубинах 1–8 м ниже дна, на разрезах характеризуется субвертикальными границами, а в поперечнике она достигает нескольких километров. Частным случаем аномалии данного типа являются акустические «столбы», которые характеризуются конусообразной формой. Диаметр основания «столбов» составляет 70–200 м, а их высота достигает 22 м. Глубина, на которой располагаются вершины «столбов», составляет 1–9 м ниже дна. Другой заметной характеристикой «столбов» является наличие по бокам аномалии значительного наклона вниз отражающих горизонтов (pull-down structures). Это происходит потому, что из-за уменьшения скорости звука в насыщенных газом отложениях время прохождения акустического импульса в обе стороны увеличивается, даже несмотря на то, что отложения расположены горизонтально [36]. Если зона, заполненная газом, достаточно толстая, этот эффект создает впечатление, что отложения проседают (рис. 11, 12).

Акустическая «завеса» имеет характерную, четко различимую выпуклую или шевронообразную верхнюю границу, характеризующуюся высокоин-

**Рис. 8.** Сейсмоакустический профиль, иллюстрирующий особенности строения погребенных притоков/рукавов реки Палео-Туманной на внешнем шельфе залива Петра Великого.

Расположение акустических колонн показано на врезке красными горизонтальными стрелками. Здесь и на рис. 11 и 12: АП – акустический покров. Остальные условные обозначения на рис. 5.

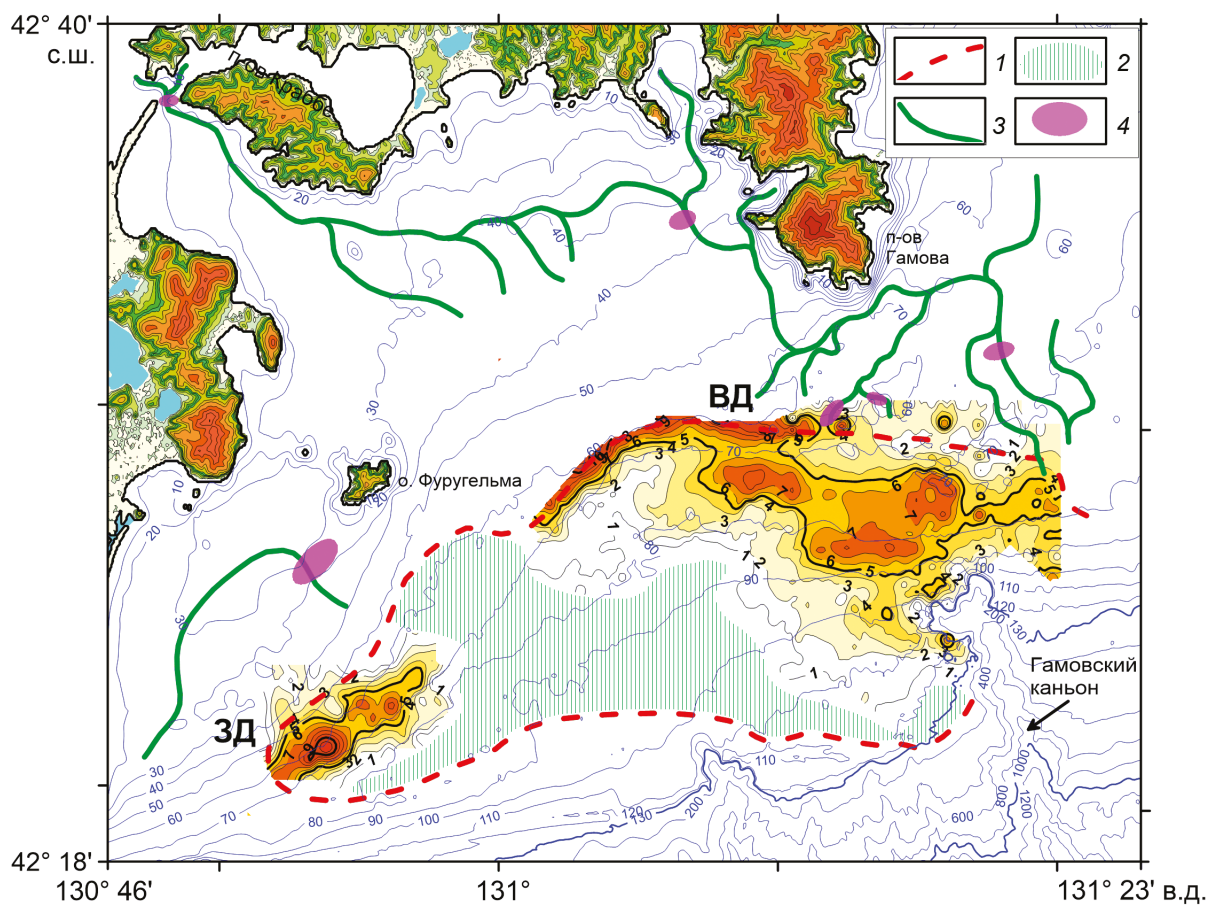




**Рис. 9.** Сейсмоакустический профиль, иллюстрирующий строение основных элементов современной системы, состоящей из приливно-отливного канала (ПОК) и сопряженного с ним осадочного тела восточной приливно-отливной дельты.

По каналу происходит водообмен между внутренним шельфом (б. Экспедиция, Новгородская, Рейд Паллада, зал. Китовый и Посыет) и внешним шельфом в западной части залива Петра Великого. Остальные условные обозначения на рис. 5.





**Рис. 10.** Карта мощности осадочных отложений западной (ЗД) и восточной (ВД) приливно-отливных дельт и местоположения основных современных приливно-отливных каналов.

Изопахиты проведены через 1 м. 1 – внешняя граница зоны нерегулярной седиментации; 2 – границы области активной эрозии и отсутствия отложения осадков; 3 – предполагаемое местоположение приливно-отливных каналов и путей водообмена между внутренним и внешним шельфами; 4 – местоположение основных входов приливных потоков.

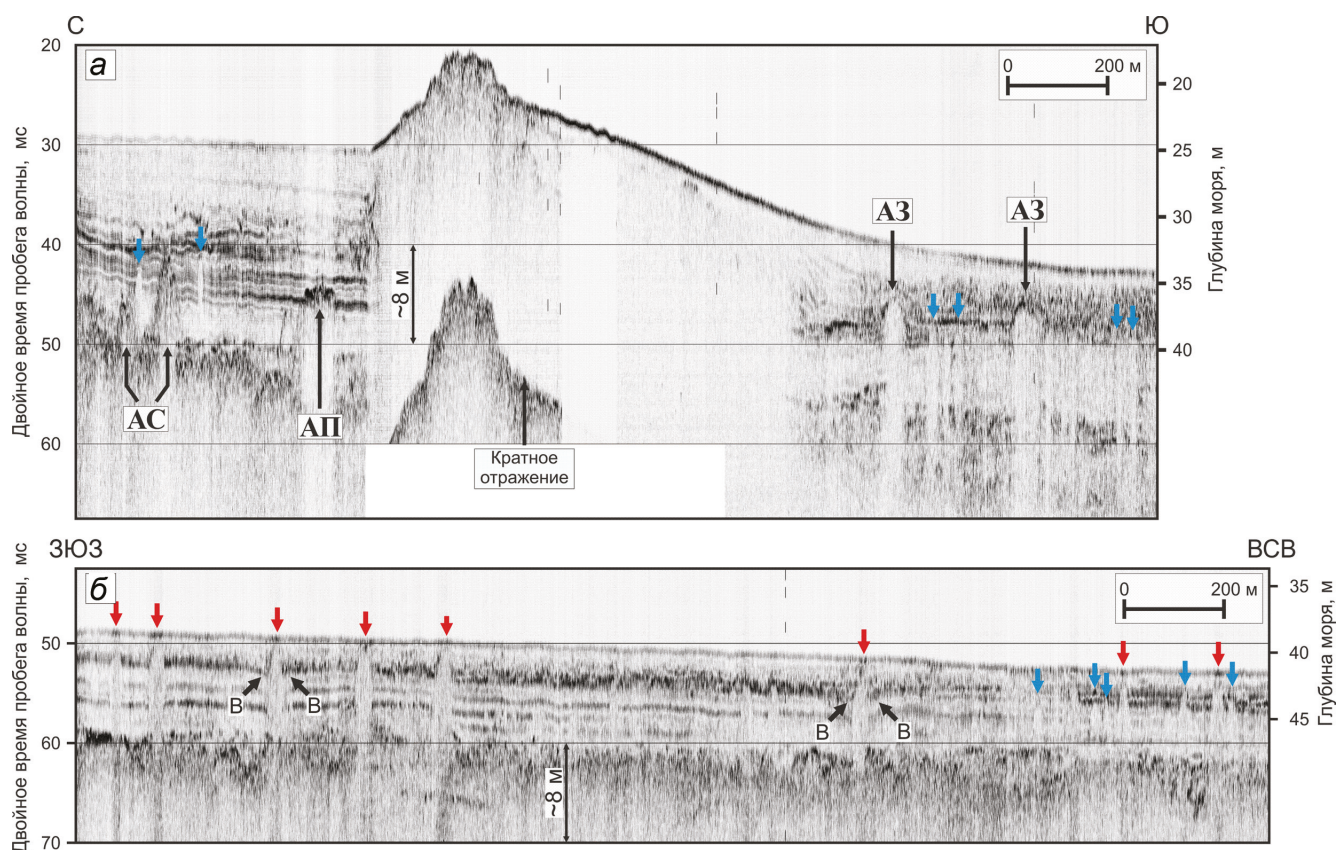
тенсивными отражениями. Внутренняя область «завесы» обычно акустически прозрачна. Рядом с «завесой» также наблюдаются вогнутые вниз отражения. Вершины аномалий расположены на глубине 1–4 м под морским дном. Ширина аномалий составляет 70–100 м. Столбчатые акустические пустоты являются частным случаем аномалии этого типа; они представляют собой очень узкие иглообразные прозрачные зоны (рис. 11, 12). Их ширина колеблется в пределах 10–20 м. Вершины акустических пустот расположены на глубине 1–3 м ниже морского дна. Есть примеры того, как эти аномалии достигают поверхности морского дна (рис. 11). В этих местах наблюдается локальное увеличение интенсивности донных отражений.

Акустическая «труба» идентифицируется как структура в форме цветка лилии, которая обычно расширяется вверх и делится на несколько наклонных рукавов (рис. 12). Несмотря на то, что их внутренний

облик «трубы» похож на акустическую «мутность», именно на основании признака расширения вверх мы разделяем эти аномалии. Над большинством «труб» имеется возвышение поверхности морского дна в виде небольших холмов высотой до 2 м. Ширина холмов составляет 100–300 м, иногда достигает 1000 м. Иногда по краям «труб» наблюдаются вогнутые вниз отражения (рис. 6, 12).

Также, во время батиметрической съемки многолучевым эхолотом SeaBeam 3050 в толще воды были обнаружены многочисленные газовые факелы. Они найдены на краю внешнего шельфа к западу от каньона Гамова. Глубина воды в этом районе составляет 110–150 м. Высота факелов достигает 100 м.

Мы нанесли на карту различные типы скоплений газа в западной части залива Петра Великого и составили карту их площадного распространения (рис. 13). Площадь газовых внедрений неоднородна. Было уста-



**Рис. 11.** Сейсмоакустические профили, иллюстрирующие строение предполагаемых зон высокого порового давления и вертикальную миграцию газа.

А3 – акустическая «завеса»; АС – акустический «столб»; АП – акустический покров. Вертикальные синие стрелки указывают положение столбчатых акустических пустот. Красными стрелками показано положение столбчатых акустических пустот, достигающих поверхности морского дна и формирующих локальные участки интенсивных отражений от дна. Здесь и на рис. 12: В – вогнутые вниз отражения.

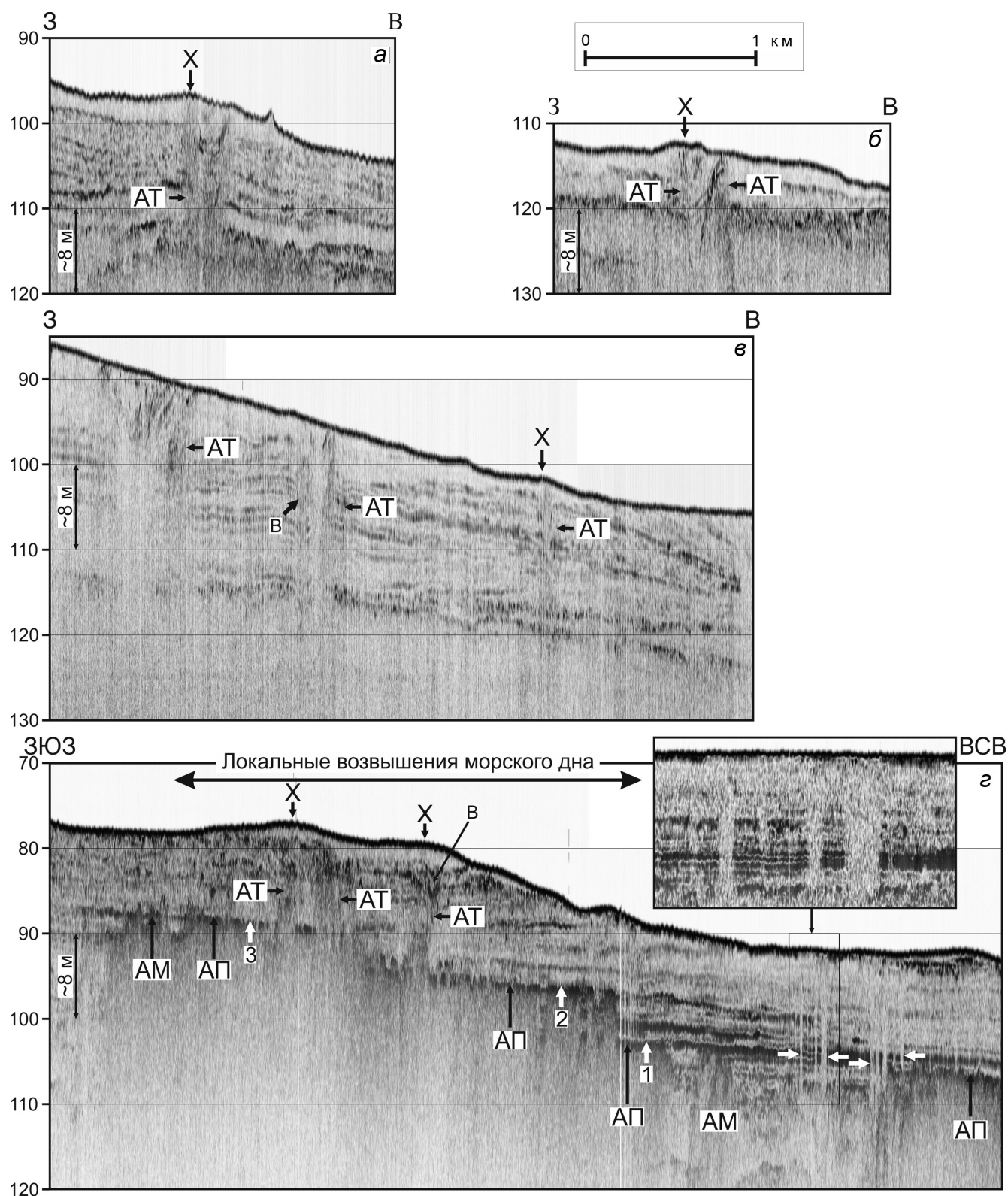
новлено, что существует 35 локальных изолированных зон и областей скопления газа. Выделяются три основные группы аномалий. Общей чертой первой группы аномалий является их расположение в пределах лагун и валов прибрежных линий 4 и 5 в пределах мелководных участков внутреннего шельфа. Вторая группа аномалий наблюдается в пределах внешнего шельфа, где глубина моря составляет 50–95 м. Третья группа аномалий занимает часть внешнего шельфа и верхнего континентального склона, где глубина моря составляет 110–300 м.

#### ОБСУЖДЕНИЕ

Залив Петра Великого расположен на стыке двух значительных горных систем в Восточной Азии – Восточно-Маньчжурских гор и хребта Сихотэ-Алинь. На берегах залива расположены палеоген-неогеновые рифтовые угленосные впадины глубиной до 1300 м [19]. В залив впадают две реки – Туманная и Раздольная. Геологической информации о возрасте и стро-

ении дельты р. Туманной нет. Однако известно, что один из двух крупнейших осадочных депоцентров в северо-западной части Японского моря, расположенный в пределах континентального подножия, непосредственно примыкает к устью р. Туманной [8–11]. Этот депоцентр хорошо распознается как на батиметрической карте, так и на карте мощности осадочных отложений. Толщина осадков в этом депоцентре достигает 2.0–2.4 с, что соответствует примерно 2500 м [9, 10]. Этот депоцентр мог образоваться в результате переноса наносов р. Туманной и, возможно, р. Раздольной. По результатам геологического драгирования континентального склона было установлено, что он покрыт морскими отложениями с возрастом от позднего олигоцена до голоцена [2, 4]. В осадочном чехле на шельфе и верхней части склона выделяются две поверхности несогласия, верхнее из которых отражает наличие перерыва в осадконакоплении 10.0–8.5 млн лет назад [10]. Эти несогласия делят осадочный чехол на три комплекса. Средний комплекс

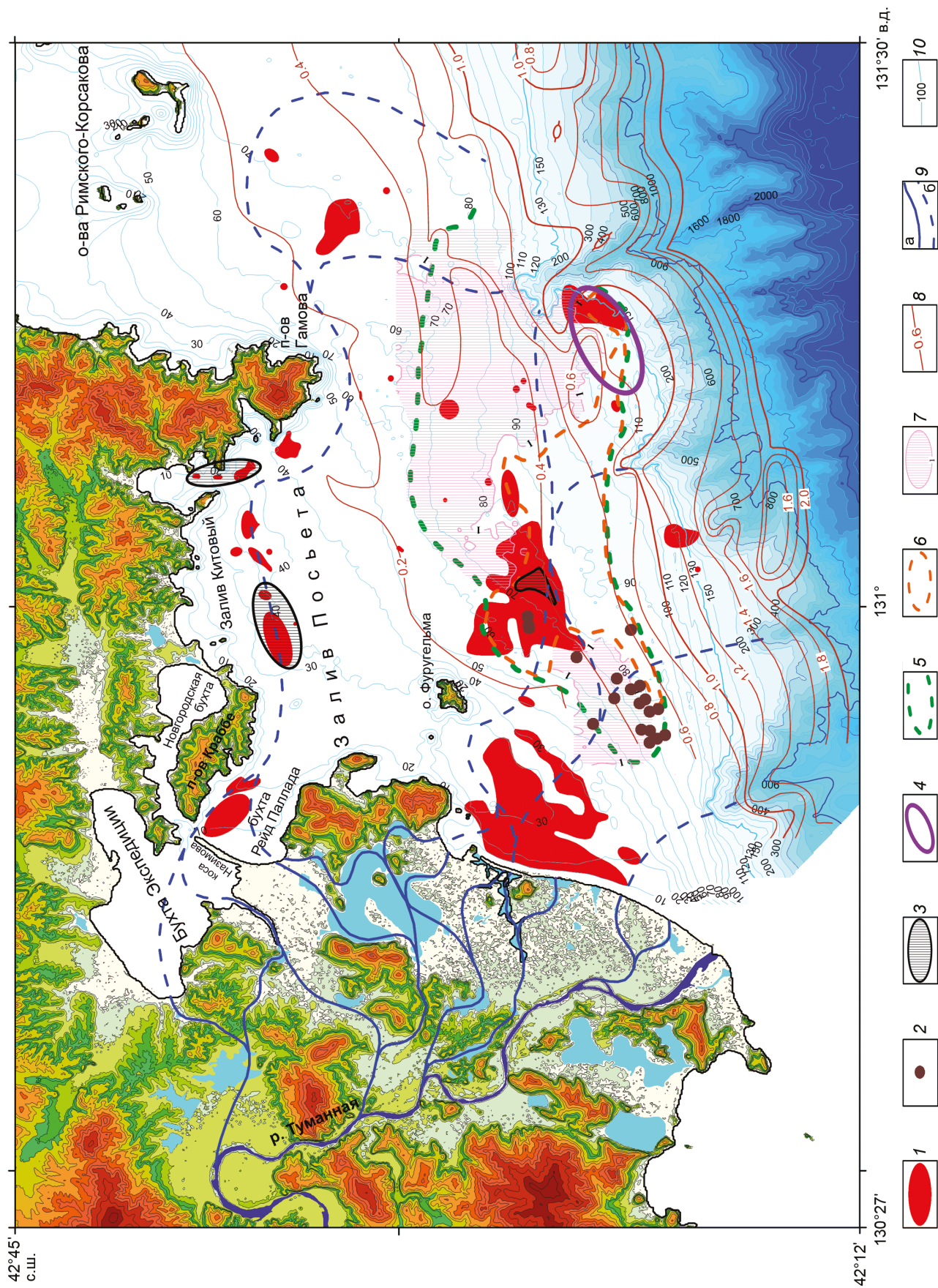




**Рис. 12.** Примеры сейсмоакустических профилей, которые показывают вертикальную миграцию газа и образование локальных поднятий морского дна на внешнем шельфе залива Петра Великого.

Вертикальные белые стрелки с числами обозначают различные уровни кровли акустического «покрова», демонстрирующие последовательное смещение газового фронта вверх и образование над ним локальных возвышений морского дна. Горизонтальные белые стрелки указывают положение столбчатых акустических пустот. X – холм. Шкала слева – двойное время пробега волны, мс. Остальные условные обозначения на рис. 5, 6, 8, 11.





Sh2 был отложен в позднем олигоцене–начале позднего миоцена, а верхний комплекс Sh3 образовался в интервале от конца позднего миоцена до голоцена. Возраст нижнего комплекса Sh1 предполагается как палеогеновый.

Согласно исследованию позднеолигоценовых аргиллитов, которые были драгированы на склоне залива в диапазоне глубин 900–1900 м (рис. 1, в) и составляют основание комплекса Sh2, было установлено, что в это время на склоне преобладают мелководные морские условия и низкие скорости осадконакопления [4]. Палинологические данные показали, что в позднем олигоцене рельеф суши прилегающей части моря был сильно расчленен и включал как горы, так и болотистые равнины. На склонах этих гор могли образоваться речные системы, которые сейчас, вероятно, представлены р. Туманной. В результате абразивного воздействия потоков этих рек здесь образовалась система впадин на шельфе и каньонов на континентальном склоне (рис. 1, в, 4). Самый большой из каньонов – каньон Гамова. В среднем миоцене каньон Гамова уже был сформирован, о чем свидетельствует наличие осадочных тел аналогичного возраста на его склонах (рис. 3, б). Можно предположить, что осадки комплексов Sh2 и Sh3 составляют дельту р. Туманной на шельфе залива. На суше дельта представлена тонким покровом эоценовых, олигоценовых, раннемиоценовых и четвертичных отложений мощностью не более первых сотен метров [20]. Примечательно, что общая толщина осадков Sh2 и Sh3 на шельфе достигает 0.85 с, что в 2.5 раза меньше толщины отложений, накопленных в пределах континентального подножия, прилегающего к р. Туманной [9]. Из этого можно сделать вывод, что с позднего олигоцена западная часть залива была преимущественно зоной транзита для осадочного материала, который транспортировался с суши и откладывался на северном краю Японской котловины, формируя ее подножие.

Несмотря на то, что аргиллиты комплекса Sh2 в основном терригенного происхождения, единичные образцы минерала кристобалита были обнаружены в отложениях раннего миоцена [4]. Кристобалит образуется в результате диагенетической трансформации аморфного опала в осадочных толщах. Согласно результатам бурения ODP, современная граница opal A/

opal CT в осадках Японского моря располагается на глубине 300–450 м [34]. Был сделан вывод [4], что содержащие кристобалит раннемиоценовые породы комплекса Sh2 ранее располагались на глубине не менее 400 м и только затем обнажились на поверхности дна. Это можно объяснить активной эрозией и разрушением отложений комплексов Sh2 и Sh3 в районах вокруг каньонов и их переносом в глубоководную котловину (рис. 3). Этот процесс особенно усилился в конце миоцена, о чем свидетельствует наличие многочисленных отложений массового переноса и оползней в отложениях континентального подножия [9]. До настоящего времени перенос осадочного материала остается очень активным, на что указывает наличие многочисленных оползней и сопутствующих им структур на расстоянии до 90 км от основания склона [14]. Представленные факты свидетельствуют об активном разрушении фронтальной части дельты р. Туманной, которое могло начаться в позднем миоцене одновременно с формированием верхнего несогласия и продолжается до настоящего времени.

Изучение проб грунта показало, что в осадках залива имеются повышенные концентрации газа (до 3700 нМ/см<sup>3</sup>), главным образом метана [3]. Под водами бухты Экспедиции находится северная часть Краскинской впадины, содержащей промышленные залежи угля эоцен-олигоценового возраста [19]. Южный край впадины скрыт под водами зал. Посьета. Наши данные показывают, что отложения аналогичного возраста существуют в западной части залива Петра Великого (рис. 3). Поэтому мы полагаем, что миграция газа (метана) из содержащих уголь источников может быть предложена в качестве наиболее вероятной причины формирования приповерхностных скоплений газа, аналогично тому, как это происходит в Амурском заливе [31]. Кроме того, некоторые аномалии расположены в отложениях лагун береговых линий 2–5 (рис. 5, 6, 11), что может быть связано с разложением отложений, богатых органикой.

Погребенные элементы реки Палео-Туманной в виде притоков и яров хорошо выделяются в структуре отложений на сейсмоакустических профилях (рис. 5, 7–9). Мы попытались приблизительно реконструировать прежнее расположение русел рек на шельфе в позднем олигоцене-голоцене в периоды низкого стоя-

**Рис. 13.** Карта расположения акустических аномалий, связанных с присутствием газа в позднеплейстоцен-голоценовых осадках в западной части залива Петра Великого.

1 – расположение акустических аномалий; 2 – акустическая «труба»; 3 – зоны высокого порового давления; 4 – область газовых факелов в водной толще; 5 – внешние контуры зоны нерегулярной седиментации; 6 – область активной современной эрозии и отсутствия отложения осадков; 7 – контуры западной и восточной дельт (ограничены изолинией 1 м); 8 – изогипсы глубины акустического фундамента, с; 9 – предполагаемое местоположение притоков р. Туманная в позднеолигоцен-четвертичное время на суше (а) и на шельфе (б) в периоды низкого стояния уровня моря; 10 – батиметрия, м.



ния уровня моря и воспроизвести последовательность их миграции до современного положения (рис. 4, 13). Мы предполагаем, что в позднем олигоцене–среднем миоцене основное русло реки Палео-Туманной могло располагаться в пределах бухт Экспедиции, Новгородская, Рейд Паллада и зал. Китовый, а затем впадало в Японское море в районе каньона Гамова. Вероятно, региональное воздымание, начавшееся 11–10 млн лет назад [28], является основной причиной постепенного отступления русла реки на запад, к его нынешнему положению. Один из притоков реки мог сохранять свое положение и впадал в каньон Гамова вплоть до конца плиоцена. На это указывает наличие рисунка бокового наращивания в верхней части комплекса Sh3 около вершины каньона (рис. 3, б, 7).

На шельфе в юго-западной части залива Петра Великого хорошо распознаются пять затопленных береговых линий. Для определения возраста формирования этих линий мы использовали данные, приведенные в [20, 31]. Установлено, что первая береговая линия была образована 17 000–21 900, вторая 13 400–16 000, третья 11 500–11 700, четвертая 8 800–11 400 и пятая 2 200–8 500 лет назад. Эту информацию мы использовали для определения возраста возникновения активных эрозионных процессов на шельфе. Положение уровня моря во время формирования первой береговой линии хорошо заметно на сейсмических профилях (рис. 5, 7) в виде ступени на глубине 108–110 м и по наличию ясно выраженной захороненной платформы с плоской вершиной, образованной вследствие субаквальной волноприбойной абразии. Около 16 000 лет назад началась морская трансгрессия, и сформировались береговые линии 2 и 3. Наши сейсмические профили ясно указывают на то, что процессами эрозии затронуты отложения от первой до третьей береговых линий в районах шельфа глубиной более 45–60 м (рис. 5–9). Мы предполагаем, что процессы абразии и формирования зоны нерегулярной седиментации на шельфе активизировались примерно 11 500–11 700 лет назад. В это время уровень моря находился на отметке около минус 60 м [20]. Это значение хорошо согласуется с положением срезанной волновой абразией вершинной части барьера береговой линии 3 (рис. 9). Активизация эрозии могла быть вызвана изменением гидрологического режима в Японском море, произошедшем в результате трансформации климатической среды от периода похолодания позднего плейстоцена к потеплению голоцена. Это должно было сопровождаться увеличением количества жидких атмосферных осадков, увеличением стока рек с прилегающей суши, и, в первую очередь, стока р. Туманной с усилением ее эрозионной активности. Это явилось причиной локального расширения

внешнего шельфа между о. Фуругельма и каньоном Гамова. В конце формирования береговой линии 3 около 11 500 лет назад начали накапливаться две приливно-отливные дельты (западная и восточная). Эти дельты расположены непосредственно рядом с основными входными приливными потоками и приливно-отливными каналами, по которым морская вода мигрирует между внутренним и внешним шельфом. Эти дельты и каналы образуют систему приливно-отливных каналов и приливно-отливных дельт в западной части залива (рис. 9). В начале голоцена началась трансгрессия, и 9 100 лет назад уровень моря достиг отметки минус 45–48 м. Волноприбойная активность, а также эрозия потоками р. Туманной, по-видимому, ответственны за расширение внешних границ зоны нерегулярной седиментации до глубины 45 м в районе к югу от о. Фуругельм. Ко времени 8 800 лет назад уровень моря поднялся до минус 26–33 м, а западная и восточная дельты начали расширяться по направлению к матерiku. В результате накопления этих тел значительная часть зоны нерегулярной седиментации оказалась покрытой их отложениями, в то время как между ними все еще сохраняется область обширной эрозии.

Анализ карты распределения связанных с газом акустических аномалий показывает, что почти вся площадь газонасыщенных отложений расположена в пределах лагун и, особенно, области активной современной эрозии (рис. 13). Там, где распространены приливно-отливные дельты, аномалии либо немногочисленны, либо локализованы в акустических “трубах”. Первая группа акустических аномалий расположена в основном в пределах лагун и барьеров береговых линий 4 и 5 в диапазоне глубин воды 10–45 м (рис. 13). Обычно эти аномалии расположены или непосредственно рядом с узкими проходами в бухты Экспедиция и Троицы, или под лагунами и приливно-отливными каналами. Циркуляция водных масс в этих заливах осуществляется через небольшие узкие проливы (например, пролив между косой Назимова и п-вом Краббе). В летний период взаимодействие холодных придонных океанических вод с теплыми поверхностными водами может способствовать образованию здесь внутренних волн, которые также усиливаются за счет изменяющегося рельефа у входа в бухты. Наибольшие по размерам аномалии наблюдаются в отложениях лагун береговой линии 4. В каналах наблюдаются придонные течения воды со скоростями до 0.56 м/с [15, 21]. Высокое атмосферное давление (до 1039 ГПа), сопровождающееся сильными северными/западными ветрами, может привести к понижению уровня моря в заливе на 1 м, что способствует резкому уменьшению гидростатического давления

над отложениями. В лагунах линии 4 с глубиной воды около 40 м уменьшение давления может составлять 2.5 %, что драматически влияет на стабильность газовых скоплений с избыточным давлением и ускоряет миграцию газа вверх. В то же время ритмичные штормовые волны высотой 5–9 м [16, 18] и внутренние волны [17] действуют как “гидравлическая помпа” на скопления газа и дополнительно вызывают его миграцию вверх к морскому дну.

Вторая группа аномалий наблюдается в пределах зоны нерегулярной седиментации. Наибольшая концентрация скоплений газа наблюдается в области обширной эрозии. Мы объясняем эту особенность тем фактом, что в период активных процессов абразии 9 100–11 700 лет назад произошел срез минимум 8–10 м осадков. Снижение литостатического давления, вызванное этими эрозионными процессами, также создало благоприятные условия для движения газа вверх к морскому дну. Там, где эрозионная поверхность покрыта отложениями дельт, количество аномалий и их размеры значительно уменьшаются. Это может быть объяснено нагрузкой осадочного чехла, локальным повышением литостатического давления, что способствовало образованию здесь скоплений газа под избыточным давлением.

Общей чертой третьей группы аномалий является их расположение непосредственно рядом с вершинами подводных каньонов. Наиболее вероятной причиной поступления газа в осадочные отложения и затем в толщу воды может быть воздействие внутренних волн, которые формируются здесь на краю шельфа [16].

В осадках залива были выявлены предполагаемые зоны высокого порового давления, аналогичные тем, которые описаны в работах [26, 30]. Когда газонасыщенная поровая вода с высоким давлением вступает в контакт с морской водой на дне, давление уменьшается, и образуются газовые факелы, как мы наблюдаем поблизости от каньона Гамова. Другим показателем избыточного порового давления в осадках может являться наличие локальных возвышений морского дна над акустическими “трубами” высотой до 2 м (рис. 12). Зоны высокого порового давления были обнаружены в диапазоне глубин морского дна от 20 до 130 м.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На шельфе в юго-западной части залива Петра Великого выделены пять затопленных древних береговых линий, образованных в результате изменения уровня моря в позднем плейстоцене–голоцене. Обнаружено, что значительную часть шельфа занимает зона нерегулярной седиментации, которая подстила-

ется эрозионной поверхностью. Эта поверхность погребена под отложениями приливно-отливных дельт в областях активного осадконакопления и обнажается на морском дне в пределах области активной современной эрозии. Процессы абразии и формирования зоны нерегулярной седиментации на шельфе активизировались примерно 11 500–11 700 лет назад.

В позднелайстоцен-голоценовых осадках в юго-западной части залива Петра Великого выделены многочисленные приповерхностные скопления газа и газовые факелы в толще воды и составлена карта их площадного распространения. Сейсмоакустические данные также свидетельствуют о наличии зон высокого порового давления в осадках залива. Сделан вывод, что спусковым механизмом, обеспечивающим миграцию газа в осадки и водную толщу, преимущественно являются послеледниковое изменение уровня моря, процессы абразии и гидродинамический режим в заливе.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования России (тема № 121021700342-9).

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Анохин В.М., Рыбалко В.И., Аленичева А.А., Леликов Е.П., Казазаев В.П., Коваленко С.В., Авдюничев В.В., Олейников А.В., Ромашенко О.Г., Бондаренко С.А., Иванова В.В., Зайончек А.В., Черных А.А., Карп Б.Я., Карнаух В.Н., Пшеничный К.А., Супруненко О.И. Государственная геологическая карта Российской Федерации. 1:1 000 000 (3-е поколение). Серия Дальневосточная. Лист К-(52), 53–Владивосток: Объясн. зап. СПб.: Картограф. Фаб-ка ВСЕГЕИ, 2011. 332 с.
2. Берсенева И.И., Леликов Е.П., Безверхний В.Л., Съедин В.Т., Терехов Е.П., Цой И.Б. Геология дна Японского моря. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1987. 140 с.
3. Буров Б.А., Обжиров А.И., Саломатин А.С., Мальцева Е.В., Телегин Ю.А., Югай И.Г., Яцук А.В. К вопросу о формировании аномалий концентрации метана и электромагнитного поля в юго-западной части залива Петра Великого (Японское море) // Геология и геофизика. 2018. Т. 59, № 9. С. 1469–1480.
4. Ващенко Н.Г., Горовая М.Т., Можеровский А.В. О составе и возрасте аргиллитовой толщи (осадочный чехол материкового склона Японского моря) // Тихоокеан. геология. 2009. Т. 28, № 3. С. 53–63.
5. Григорьева Н.И., Кучерявенко А.В. Гидрологические условия юго-западной части зал. Петра Великого // Изв. ТИНРО. 2002. Т. 131. С. 78–95.
6. Григорьева Н.И., Ивин В.В. Подводные исследования Большого Гамовского каньона (район залива Петра Великого, Японское море) // Тихоокеан. геология. 2015. Т. 34, № 1. С. 103–108.
7. Захаренко В.С., Казанин Г.С., Павлов С.П. Предпосылки и условия формирования газогидратов на Штокмановской площади Баренцева моря // Вестн. МГТУ. 2014. Т. 17, № 2. С. 394–402.



8. Карнаух В.Н., Карп Б.Я. Акустический фундамент и осадочный слой дна Японского моря // Геология и полезные ископаемые шельфов России. / Ред. М.Н. Алексеев. М.: ГЕОС, 2002. С. 355–359.
9. Карнаух В.Н., Карп Б.Я., Цой И.Б. Сейсмостратиграфия осадочного чехла и процессы осадконакопления на возвышенности Первенца и ее окрестностях (Японское море) // Океанология. 2005. Т. 45, № 1. С. 126–139.
10. Карнаух В.Н., Карп Б.Я., Цой И.Б. Сейсмостратиграфия осадочного чехла и условия осадконакопления на шельфе и материковом склоне в районе залива Петра Великого (Японское море) // Океанология. 2007. Т. 47, № 2. С. 282–293.
11. Карнаух В.Н. Рельеф дна северо-западной части Японского моря // Геоморфология. 2010. № 1. С. 42–51.
12. Карнаух В.Н., Суховеев Е.Н. Структура газовых включений в осадках юго-западной части залива Петра Великого (Японское море) // 9й Всерос. симпозиум «Физика Геосфер», 21–24 сентября 2015 г.: Материалы докладов. Владивосток: Дальнаука, 2015. С. 313–316.
13. Карнаух В.Н., Суховеев Е.Н., Матюхов В.П., Апарина К.А. Характер распределения приповерхностных скоплений газа в осадках юго-западной части залива Петра Великого (Японское море) // Вестн. ДВО РАН. 2019. № 2. С. 25–34.
14. Карнаух В.Н., Суховеев Е.Н., Зверев С.А., Апарина К.А., Матюхов В.П., Маликов А.С. Геофизические исследования северо-западной части Японского моря в 78-м рейсе научно-исследовательского судна «Профессор Гагаринский» // Океанология. 2022. Т. 62, № 5. С. 834–837.
15. Лобанов В.Б., Марьина Е.Н., Сергеев А.Ф., Воронин А.А., Горин И.И., Щербинин П.Е., Семкин П.Ю., Крайников Г.А., Калинин В.В., Зверев С.А., Суховеев Е.Н., Рудых Я.Н., Аксентов К.И., Косьяненко А.А., Дубина В.А., Карнаух В.Н., Лазарюк А.Ю. Результаты измерений буя-волнографа в юго-западной части залива Петра Великого // 11й Всерос. симпозиум «Физика геосфер», 9–14 сентября 2019 г.: Материалы докладов. Владивосток: ТОИ ДВО РАН, 2019. С. 114–118.
16. Лоция северо-западного берега Японского моря. Ленинград. МО СССР. 1984. 314 с.
17. Навроцкий В.В., Изергин В.Л., Лозовацкий В.В. Внутренние волны и тонкая структура гидрофизических полей в шельфовой зоне моря // Дальневосточные моря России. Кн. 1. Океанологические исследования. М.: Наука, 2007. С. 507–527.
18. Полякова А.М. Характеристика процессов волнения в заливе Петра Великого // Современное состояние и тенденции изменения природной среды залива Петра Великого Японского моря. М.: ГЕОС, 2008. С. 110–133.
19. Седых А.К. Кайнозойские рифтогенные впадины Приморья (геологическое строение, минералогия и геодинамика углегенеза). Владивосток: Дальнаука, 2008. 248 с.
20. Хершберг Л. Б., Рязанцев А. А., Чудаев О. В., Михайлик Е.В., Вачаев Б.И., Туркин Н.А., Дуглас В.К., Шестера Е.Н., Иванова А.М., Пашковская Е.А., Ушаков В.И. Шельфовая область Японского моря. Геология и минералогия / Под ред. В.И. Ушакова. СПб.: ВНИИОкеангеология, 2006. 137 с.
21. Храпченков Ф.Ф., Дулова Н.М., Горин И.И., Сергеев А.Ф. Долговременные измерения течений и температуры воды в заливе Петра Великого в 2004–2007 гг. // Современное состояние и тенденции изменения природной среды залива Петра Великого Японского моря. М.: ГЕОС, 2008. С. 9–56.
22. Юрасов Г.И., Яричин В.Г. Течения Японского моря. Владивосток: ДВО АН СССР, 1991. 176 с.
23. Cathles L.M., Su Z., Chen D. The physics of gas chimney and pockmark formation, with implications for assessment of seafloor hazards and gas sequestration // Mar. Petrol. Geol. 2010. 27. P. 82–91.
24. Fleisher P., Orsi T.H., Richardson M.D., Anderson A.L. Distribution of free gas in marine sediments: a global overview // Geo-Marine Lett. 2001. 21(2). P. 103–122.
25. Gorgas T.J., Kim G.Y., Park S.C., Wilkens R.H., Kim D.C., Lee G.H., Seo Y.K. Evidence for gassy sediments on the inner shelf of SE Korea from geoaoustic properties // Continental Shelf Research. 2003. 23. P. 821–834.
26. Hovland M., Løseth H., Bjørkum P.A., Wensaas L., Arntsen B. Seismic Detection of Shallow High Pore Pressure Zones. Offshore. 1999. December. P. 94–96.
27. <http://rp5.ru/>
28. Ingle J.C. Subsidence of the Japan Sea: stratigraphic evidence from ODP sites and onshore sections. Proc. ODP. Sci. Results. 127/128. Pt. 2 / Eds. K. Tamaki et al. College Station, TX (Ocean Drilling Program). 1992. P. 1197–1218.
29. Judd A.G., Hovland M. The evidence of shallow gas in marine sediments // Continental Shelf Research. 1992. 12(10). P. 1081–1095.
30. Judd A.G., Hovland M. Seabed fluid flow: the impact on geology, biology, and the marine environment. New York: Cambridge University Press. 2007. 492 p.
31. Karnaukh V.N., Astakhov A.S., Vereshchagina O.F., Tsoy I.B., Kosmach D.A., Sagalaev S.G., Volkova T.I., Dubina V.A., Prushkovskaya I.A. Formation of subsurface shallow gas accumulations in Amurskiy Bay (Peter the Great Bay, Sea of Japan) as a result of postglacial sea-level change, paleoceanographic conditions and hydrological activity // Marine Geol. 2016. 372. P. 31–52.
32. Kim D.C., Lee G.S., Lee G.H., Park S.C. Sediment echo types and acoustic characteristics of gas-related acoustic anomalies in Jinhae Bay, southern Korea // Geosci. J. 2008. 12. P. 47–61.
33. Lee G.-S., Yoo D.G., Bae S.H., Min G.-H., Kim S.-P., Choi H. Seismic stratigraphy of the Heuksan mud belt in the southeastern Yellow Sea, Korea // Geo-Mar Lett. 2015. 35. P. 433–446.
34. Nobes D.C., Murray R.W., Kuramoto S., Pisciotto K. A. Holler P. Impact of silica diagenesis on physical property variations // Proc. ODP. Sci. Results. 1992. V. 127/128. Pt. 1. P. 3–19.
35. Otvos E.G. Coastal barriers – Nomenclature, processes, and classification issues. Geomorphology. 2012. 139–140. P. 39–52.
36. Scholl D.W., Cooper A.K. VAMP's – possible hydrocarbon bearing structures in Bering Sea basin // Bull. Amer. Assoc. Petrol. Geol. 1978. 62. P. 2481–2488.

Рекомендована к печати В.Г. Быковым

после доработки 17.08.2023 г.

принята к печати 26.09.2023 г.

*V.N. Karnaukh, E.N. Sukhoveev*

**The Holocene destruction of the Tumannaya River delta and the formation of shallow gas accumulations along the shelf in the western part of Peter the Great Bay (Sea of Japan)**

The results of bathymetric and seismoacoustic studies of the shelf in the western part of Peter the Great Bay are presented. Five flooded coastlines formed in the Late Pleistocene-Holocene were identified on the shelf. It was found that a significant part of the shelf is occupied by a zone of irregular sedimentation, which is underlain by an erosion surface buried under sediments of ebb-tidal deltas in areas of active sedimentation and exposed on the seabed within the area of active modern erosion. The processes of abrasion and formation of an irregular sedimentation zone on the shelf intensified about 11500–11700 years ago. Acoustic anomalies associated with the presence of gas in sediments and gas flares in the water column were found on the shelf of the Bay. Anomalies were classified by types, and a map of their areal distribution was compiled. It is concluded that the trigger mechanism that ensures the migration of gas into sediments and water column is associated with a group of factors: postglacial sea level change, abrasion processes, meteorological and hydrological regimes.

***Key words:* shallow gas accumulations, Tumannaya River delta, Holocene sea-level changes, Peter the Great Bay.**