

Информационный бюллетень

О состоянии недр прибрежно-шельфовых зон Японского и Охотского морей Российской Федерации в 2024 году

Выпуск 2



ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЮ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
«ВСЕРОССИЙСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
ГЕОЛОГИИ И МИНЕРАЛЬНЫХ РЕСУРСОВ МИРОВОГО ОКЕАНА
ИМЕНИ АКАДЕМИКА И. С. ГРАМБЕРГА»
(ФГБУ «ВНИИОКЕАНГЕОЛОГИЯ»)

**Информационный бюллетень
О СОСТОЯНИИ НЕДР
ПРИБРЕЖНО-ШЕЛЬФОВЫХ ЗОН
ЯПОНСКОГО И ОХОТСКОГО МОРЕЙ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ В 2024 году**

ВЫПУСК 2



Санкт-Петербург, 2025

Информационный бюллетень о состоянии недр прибрежно-шельфовых зон Японского и Охотского морей Российской Федерации в 2024 году. Вып. 2. 86 с.

В информационном бюллетене содержатся статистические данные и аналитические оценки, полученные по результатам ведения мониторинга состояния недр прибрежно-шельфовых зон Японского и Охотского морей Российской Федерации в 2024 г. по опасным экзогенным геологическим процессам. Наблюдательная сеть мониторинга основывалась на проведении комплексных исследований на 10 пунктах наблюдения, охватывающих прибрежно-шельфовые зоны Японского (Татарский пролив) и Охотского (залив Анива, Восточно-Сахалинский шельф) морей. При работах применялся традиционный спектр геолого-геофизических методов работ на акватории. Были установлены основные тенденции развития потенциально опасных экзогенных геологических процессов за истекший годовой период.

Авторы:

Иванова В. В., Слинченков В. И., Рыбалко А. Е., Карташев А. О., Алексеев А. Ю., Голосной А. С., Исаева О. В., Котов С. Р., Щербаков В. А.

При использовании материалов ссылка на источник обязательна.

СОДЕРЖАНИЕ

Список сокращений	4
Введение	5
1. Общие сведения	6
1.1. Основные геологические опасности, связанные с экзогенными геологическими процессами в прибрежно-шельфовых зонах Японского и Охотского морей	7
2. Наблюдательная сеть и применяемые методы	15
3. Региональная активность опасных экзогенных геологических процессов в прибрежно-шельфовых зонах Японского и Охотского морей в 2024 году	25
3.1. Характеристика проявлений опасных экзогенных геологических процессов в прибрежно-шельфовой зоне Японского моря	25
3.2. Характеристика проявлений опасных экзогенных геологических процессов в прибрежно-шельфовой зоне Охотского моря	33
3.3. Региональная активность гравитационных процессов в прибрежно-шельфовых зонах Японского и Охотского морей	52
3.4. Региональная активность процессов газо-флюидной разгрузки в прибрежно-шельфовых зонах Японского и Охотского морей	58
3.5. Степень региональной активности опасных экзогенных геологических процессов в прибрежно-шельфовых зонах Японского и Охотского морей	75
4. Прогноз развития опасных экзогенных геологических процессов на 2025 год и оправдываемость прогноза	77
4.1. Годовой прогноз развития опасных экзогенных геологических процессов	77
4.2. Оценка оправдываемости прогноза опасных экзогенных геологических процессов	80
Заключение	82
Список литературы	83

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

ГАА	— гидроакустические аномалии
ГЛБО	— гидролокация бокового обзора
НУВ	— нефтяные углеводороды
ОЭГП	— опасные экзогенные геологические процессы
ПАУ	— полиароматические углеводороды
ПШЗ	— прибрежно-шельфовые зоны
УВ	— углеводороды
ЭГП	— экзогенные геологические процессы

ВВЕДЕНИЕ

Район работ расположен в южной прибрежно-шельфовой зоне острова Сахалин. Рассмотрены результаты проведения комплексных морских работ: эхолотирование с локацией бокового обзора, опробование донных отложений и придонной морской воды, определение состава газовой фазы донных отложений и морской воды, определение геохимических индикаторов грязевого вулканизма в донных отложениях. Описана методика проведения и объемы выполненных исследований.

Целевым назначением работ является оценка современного состояния опасных экзогенных геологических процессов (ЭГП) и прогноз его изменения на основе ведения государственного мониторинга состояния недр (ГМСН) в пределах прибрежно-шельфовых зон Японского и Охотского морей.

В течение 2024 г. выполнены следующие работы: проведены наблюдения за показателями состояния недр по 10 ключевым участкам; по результатам работ подготовлен структурированный массив данных, содержащий результаты наблюдений за показателями опасных ЭГП (длина, ширина, площадь проявлений ЭГП, параметры активизации проявлений ЭГП и др.) по 10 пунктам наблюдательной сети мониторинга опасных ЭГП (подводные оползни, обвалы, газово-флюидная разгрузка, грязевые вулканы и др.).

Составлены дежурные карты, отражающие состояние недр прибрежно-шельфовых зон Японского и Охотского морей, масштаба 1:1 000 000 с врезками масштаба 1:200 000 и крупнее (для участков размещения пунктов наблюдений) в составе: карты наблюдательной сети на тектонической основе; карт фактического материала; карт проявлений опасных ЭГП (подводные оползни, обвалы, газовофлюидная разгрузка, грязевые вулканы и др.); карт геологических опасностей, связанных с ЭГП; карт активности опасных ЭГП.

Конкретная оценка состояния недр и развития опасных ЭГП основывалась преимущественно на результатах полевых геолого-геофизических наблюдений за показателями состояния недр в 10 пунктах наблюдений в пределах районов работ в прибрежно-шельфовой зоне Охотского и Японского морей. Негативных воздействий опасных ЭГП на хозяйственные объекты в прибрежно-шельфовых зонах Японского и Охотского морей в 2024 г. не отмечалось.

Бюллетень о состоянии недр прибрежно-шельфовых зон Японского и Охотского морей в 2024 г. составлен по итогам выполненных исследований на пунктах наблюдательной сети, а также по результатам сбора, анализа и обобщения опубликованных и неопубликованных источников информации о состоянии недр прибрежно-шельфовых зон. Он несет новейшую геологическую информацию о состоянии недр и активности опасных экзогенных геологических процессов (ОЭГП) региона. Охарактеризованы наблюдательная сеть и применяемые методы, региональная активность ОЭГП, прогноз их развития на 2025 г.

1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Исследуемая акватория охватывает юго-восточную часть Татарского пролива, северо-западную часть Японского моря и юго-западную часть Охотского моря (заливы Терпения и Анива) (рис. 1.1).

Береговая линия острова Сахалин в пределах листа слабо изрезана. Юго-восточные берега острова — абразионно-бухтовые, вторично расчлененные.

Развиты солифлюкционные и оползневые процессы. В северо-западной части залива Анива представлены берега абразионные в рыхлых толщах. Встречаются обвально-оползневые формы. Сильные штормы, характерные для акватории Сахалина, являются основной причиной разрушения берегов.

Основными морфологическими зонами в рельефе дна являются: шельф (материковая и островная отмель острова Сахалин), материковый склон, на котором выделяются отдельные подводные возвышенности и впадины, а также присахалинский склон глубоководной Южно-Охотской котловины.

Поверхность присахалинского шельфа представляет выровненную абразионно-аккумулятивную равнину, осложненную различными мезо- и микроформами рельефа, обычно небольшой относительной высоты от дна, сформированную на реликтовой материковой равнине.

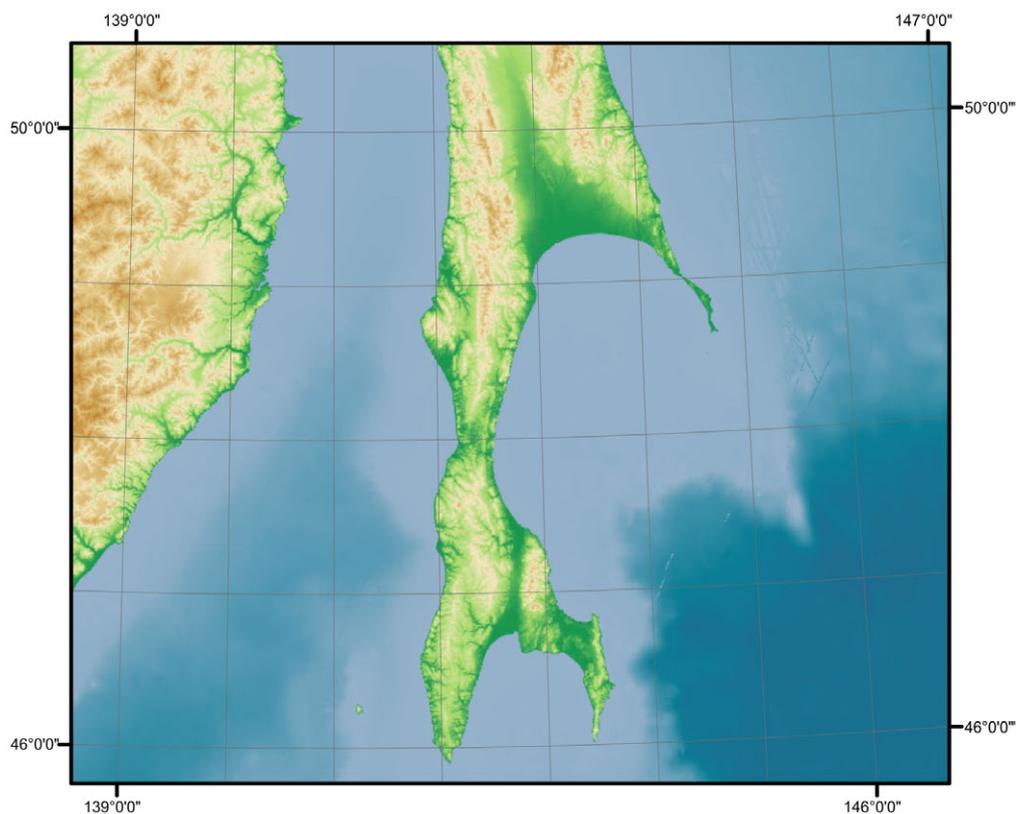


Рис. 1.1. Орографическая схема района работ

Наибольшая расчлененность наблюдается в пределах глубин до 50 м, где на общей абразионно-аккумулятивной поверхности выделяется ряд поднятий, ориентированных приблизительно по траверзу мыса Терпения.

Восточное побережье Тонино-Анивского полуострова характеризуется узким, относительно крутым шельфом. Залив Анива представляет собой обширное мелководье, которое сливается на юге с Хоккайдинской прибрежной отмелью, образуя широкую, уходящую далеко на восток плоскую абразионно-аккумулятивную равнину. Крупных осложнений рельефа его дна не отмечается. По характеру строения и рельефу дна залив разделяется на две части, граница между которыми проходит по меридиану города Корсакова.

В пределах изученной акватории Татарского пролива средние уклоны шельфа невелики. Характерной особенностью шельфа являются бенчи, совершенно лишенные наносов. Ширина их, по материалам аэрофотосъемки, колеблется от 300 до 2000 м, уменьшается к северу. Наиболее широко бенчи развиты в зонах современных тектонических поднятий вблизи абразионных берегов. Во многих районах они встречаются в 5–6 км от берега за полосой рыхлых наносов.

К югу от города Холмска прослеживается мелководный участок, на котором развиты абразионные останцы, куэсты высотой до 30 м, скалистые бенчи.

Климатические и метеорологические условия региона тесно связаны с расположением его в сфере действия муссона умеренных широт. Существенное влияние на климатические и метеорологические условия оказывает также различный термический режим Охотского и Японского морей и сложный горный рельеф.

Характерны штормы и тайфуны, приводящие к наводнениям.

В строении острова Сахалин принимают участие позднемезозойско-кайнозойские складчатые структуры Хоккайдо-Сахалинской складчатой системы. Шельф (акватория Татарского пролива, Японского моря, заливов Терпения и Анива Охотского моря) сложен мощными (до 9 км) слабодислоцированными кайнозойскими, преимущественно терригенными, толщами.

1.1. ОСНОВНЫЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ОПАСНОСТИ, СВЯЗАННЫЕ С ЭКЗОГЕННЫМИ ГЕОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ В ПРИБРЕЖНО-ШЕЛЬФОВЫХ ЗОНАХ ЯПОНСКОГО И ОХОТСКОГО МОРЕЙ

Главной особенностью изучаемого региона является широкое развитие в пределах шельфовой зоны процессов разрушения коренных пород на прибрежном мелководье, избыточное накопление осадочного материала на отдельных участках шельфа залива Терпения, шельфа и материкового склона Татарского пролива.

Охотоморский шельф отличается значительной расчлененностью. Приливный фактор стал определяющим в литодинамических и эрозионных процессах на шельфе. Высокая подвижность придонных вод препятствует накоплению осадочной толщи. Приливо-отливные течения осуществляют перенос осадков как в пределах береговой зоны шельфа, так и за его бровкой, а также оказывают эродирующее воздействие и способствуют формированию структурно-денудационных форм (каналы стока, желоба, ложбины, долины и т. д.).

Если сеть подводных долин и ложбин рассматривать как пути транзита наиболее тонких фракций (песчаных и алевроитовых) наносов, то можно утверждать, что взвешенный материал выносится через шельф описываемого района в глубинные участки Охотского моря [Астахов, 1986].

Шельф Татарского пролива представляет собой зону аккумуляции в пределах выровненной поверхности нижней части шельфа и материкового склона. В формировании современного рельефа шельфа эрозионные процессы являются главенствующими.

К ведущим геопасностям следует относить также естественные газопроявления в форме метановых сипов и неконтролируемые газопроявления при проходке скважин в виде выброса флюидов при вскрытии газовых карманов с аномально высоким пластовым давлением. Газопроявления могут сопровождаться загрязнением морской воды, атмосферы, формированием крупных антропогенных котлованов на дне моря (до 500 м в диаметре и глубиной до 100 м), гибелью людей и морских организмов.

На восточном шельфе острова Сахалин геофизическими методами обнаружены два основных вида поверхностных газопроявлений: локальные (сосредоточенные) выходы (газовые факелы) и площадное поступление метана из так называемых газовых труб над газоносными структурами. К наиболее опасному для подводных добычных комплексов виду газопроявлений относятся так называемые газовые карманы в верхней части осадочного чехла, приуроченные к плейстоценовым и неогеновым пескам, алевролитам и слаболицифицированным песчаникам. Выделены три-четыре зоны локализации газовых карманов на глубинах преимущественно 100–325 м от поверхности морского дна.

В Охотском море существуют два основных вида локальных выходов метана: с образованием «факелов» — гидроакустических аномалий (ГАА), отражающих потоки газовых пузырей, и без них. Локальные выходы могут быть также единичными или образовывать скопления. Большинство факелов, согласно [Шакиров, Обжиров, 2009; Обжиров и др., 2016], расположено в пределах прогибов: Северо-Сахалинского (факелы «Николь», «Миллениум»), Дерюгинской котловины (факелы «Гизелла», «Эрвин»). Мелководная структура, подобная грязевому вулкану, расположена в 80 км на северо-северо-восток от Дагинского газопроявления.

Газонасыщенность донных отложений, как в верхней части разреза, так и на глубине, в горизонтах, которые предполагается эксплуатировать с точки зрения извлечения нефтегазового сырья, представляет реальную опасность как на стадии геологоразведочных работ, так и в эксплуатационную фазу добычи полезных ископаемых (к этому надо добавить возможные просадки грунта в результате извлечения газовых флюидов из толщи осадков). Происхождение газов здесь различно, и оконтуривание зон газопроявления, наряду с поисковыми задачами, имеет не меньшее значение для обеспечения безопасности работ на шельфе предприятий нефтегазовой отрасли [Миронюк, 2015].

Следует отметить еще один процесс, важный с точки зрения как перспектив развития нефтегазовой отрасли, так и непосредственной опасности для проведения инженерных работ на шельфе. Это образование гидратов на глубинах более 1000 м [Обжиров, 2016], что уже установлено проведенными исследованиями.

Области развития газонасыщенных осадков закартированы в мелководной части северо-восточного Сахалинского шельфа и в Татарском проливе А. И. Обжировым [Обжиров, 2011, 2014; Николаева, 2013]. Закартировано более 70 ГАА типа «газовый факел», приуроченных к присахалинскому плечу Татарского рифта и к присахалинскому склону Южно-Охотоморской котловины.

Установлено, что индикаторами наличия поверхностных газогидратов в осадках Татарского трога являются газовые факелы в нижней и верхней частях его восточного склона [Operation report, 2015]. Подводящими каналами для метановых высачиваний на склоне являются разломы. Метан в местах газовых высачиваний поступает из глубинных резервуаров, а не является результатом разложения газогидратов. Источником газа могут служить угленосные миоценовые отложения восточного склона Татарского трога.

Присахалинская газогидратная система восточного склона острова Сахалин включает такие компоненты, как газовые сипы и соответствующие им покмарки и/или карбонатные холмы, диапиры, поверхностные газогидраты и BSR [Operation report, 2015]. Газовые сипы в основном располагаются в пределах нескольких изолированных полей, что связано с наличием подводящих каналов, которыми являются разломы. Выявлено распределение BSR, глубина расположения которого зависит не только от глубины моря (давления) и придонной температуры, но и от величины теплового потока, повышающегося в точках выноса газового флюида. На северо-восточном склоне острова Сахалин обнаружены системы активных разломов. Вертикальные и горизонтальные смещения по тектоническим разломам могут достигать нескольких метров, а оползневые смещения тектонического происхождения — десятков метров по вертикали и нескольких километров по горизонтали. Вызванные такими оползнями цунами представляют серьезный фактор риска для нефтедобывающих предприятий острова Сахалин [Баранов и др., 2013].

Татарский пролив и Охотское море в пределах региона работ вместе с прилегающей островной сушей расположены в зоне крупнейшей линейной морфоструктуры субмеридионального направления — Япономорского линеамента, характеризующегося повышенной геодинамической активностью.

Остров Сахалин относится к зонам повышенного природного риска для населения: ураганы, цунами, тайфуны, высокая сейсмичность, штормовые нагоны, интенсивная неотектоника и т. д.

Триггером для опасных экзогенных геологических процессов являются эндогенные геологические процессы. Интенсивность сейсмических событий варьируется от 8 до 10 баллов по шкале MSK-84. Наиболее сейсмически опасными являются западная и северо-восточная части Сахалина и прилегающие к нему участки шельфа. Подводные землетрясения вызывают цунами: цунамиопасная зона с прогнозируемой высотой волн до 5 м выделена на северо-восточном побережье острова (севернее Лунского залива) [Атлас..., 2004]. Согласно [Землетрясения..., 2007] к шельфу острова Сахалин приурочены очаги землетрясений магнитудой более 3,3. Очаги наиболее опасных мелкофокусных землетрясений сосредоточены у островного шельфа Татарского пролива [Атлас..., 2004]. Очаги сейсмической разгрузки приурочены к Западно-Сахалинскому, Центрально-Сахалинскому и Восточно-Сахалинскому разломам и расположены на их пересечениях с поперечными субширотными и восток-северо-восточными разломами [Землетрясения..., 2007].

Современные геодинамические процессы на шельфе проявляются в слабом дифференцированном поднятии и опускании блоков земной коры. Выделенные на карте зоны незначительных современных поднятий приурочены к шельфу Сахалина в пределах Татарского пролива и шельфа Охотского моря. В заливе Терпения происходит медленное воздымание центральной части [Геология и полезные ископаемые..., 2005].

К наиболее опасным территориям возникновения землетрясений с магнитудой более 5,1–5,5 относится восточная часть шельфа, где зарегистрированы землетрясения с магнитудой 6,1–7,0 с максимальной интенсивностью сотрясений 6–8 баллов. Подчеркнем, что при

самом разрушительном Нефтегорском землетрясении 1995 г. магнитуда составила 7,2–7,5, а интенсивность сотрясений достигала 9–10 баллов. В пределах прибрежных равнин на заболоченных участках с высоким стоянием грунтовых вод во время сильных сейсмических событий возможны процессы разжижения песчаных грунтов [Миرونюк, 2014].

Исследование склонности грунтов к разжижению (по данным статического зондирования, путем динамического трехосного сжатия модельных образцов, а также с использованием метода, основанного на расчетах сейсмического потенциала разжижения) позволило заключить, что песчаные грунты в местах строительства объектов ПДК подвержены разжижению. Разжижение грунтов возможно при сейсмических воздействиях с $T=500-1000$ лет и магнитудой $M=5,5-6,0$. Разжижаются в основном пески мелкие рыхлые, пески средней плотности, песок пылеватый средней плотности и среднекрупный песок средней плотности. Мощность разжижаемых грунтов достигает 3–4 м. Наблюдается тенденция уменьшения мощности разжижаемого слоя по направлению к берегу.

Основными опасными геологическими процессами на восточном склоне шельфа острова Сахалин являются: сейсмичность, активные разломы, высачивание газа, обрушение склона и образование оползней. Эти геологические процессы тесно связаны между собой и формируют систему георисков восточного склона. Все типы георисков встречаются в пределах двух сегментов восточного склона острова Сахалин (центрального и курильского), где степень потенциальной геологической опасности является наибольшей. Потенциальная геологическая опасность в первую очередь связана с возможным обрушением склона и образованием оползней, которые могут приводить к генерации волн цунами. Волны цунами, вызванные оползнями в центральном и курильском сегментах, могут представлять угрозу для восточного побережья острова Сахалин и расположенной здесь инфраструктуры, связанной с разработкой нефтяных и газовых месторождений [Баранов и др., 2015; Обжиров и др., 2018]. На юго-восточном склоне острова Сахалин (западном склоне Курильской котловины) были выделены участки склона с наличием оползневых блоков размерами до 2 км, оползневых отложений и оползней площадью более 100 км². Оползневые блоки и оползневые отложения расположены в пределах подводных каньонов/конусов выноса залива Терпения. Оползневые процессы, вероятно, провоцируются сейсмической активностью и газонасыщенностью осадочной толщи. Существует вероятность дальнейшего обрушения участков склона с образованием оползней, способных генерировать цунами.

Землетрясения, происходящие вблизи побережья, могут вызвать цунами, представляющие огромную опасность для прибрежных территорий. На морском побережье Сахалина цунами могут возникать как в результате землетрясений с эпицентрами, расположенными в непосредственной близости к Сахалину (Углегорск, остров Монерон), так и в результате землетрясений с эпицентрами, находящимися далеко от него (полуостров Камчатка, Чили и Аляска). Острова Курильской гряды способны задерживать большую часть волновой энергии с северо-запада Тихого океана, которая в противном случае распространялась бы по направлению к Сахалину. Высоты цунами, рассчитанные для Озерска (рядом с ПК «Пригородное») для периодов повторяемости 25, 50 и 100 лет, составляют 110, 165 и 220 см соответственно.

Основная угроза цунами для побережья юга Сахалина исходит от мелкофокусных землетрясений, возникающих в восточной части Японского моря, южной части Татарского пролива и в меньшей степени от землетрясений в южной части Охотского моря, происходящих вблизи северного побережья острова Хоккайдо (Монеронское землетрясение 05.09.1971, землетрясение 26.05.1983, Невельское землетрясение 02.08.2007). Всего зафиксировано около 20 случаев цунами, проникающих из Тихого океана и Японского моря.

При подходе к берегу высота заплеска волн цунами значительно меняется в зависимости от глубины моря, ширины шельфа, особенностей подводного рельефа, конфигурации побережья, угла направленности волн цунами, резонансных свойств бухт и заливов.

Анализ исторических данных (хроник) о цунами на восточном побережье Сахалина, дополненный численным гидродинамическим моделированием распространения цунами, показал: цунамиопасность для участков побережья можно квалифицировать как умеренную. Статистические оценки говорят о возможности появления цунами с высотами, превышающими 1,2 м, раз в 50 лет, высотами >1,6 м раз в 100 лет и высотами >2,7 м раз в 500 лет. В случае реализации среднего (наиболее вероятного, ожидаемого) сценария развития цунами максимальная высота волн цунами на восточном побережье Сахалина может достигать 3 м. Учет приливных колебаний уровня, амплитуда которых в фазе сизигии может достигать 1 м, увеличивает это значение до 4 м.

Экзогенные геологические процессы, получившие распространение в береговой зоне, разнообразны. Абразионные процессы в скальных, обрывистых берегах выражаются образованием волноприбойных ниш размером до 2 м по фронту и глубиной до 1 м, а также формированием узких прислоненных пляжей и широким развитием бенча на подводных склонах.

Интенсивная абразия приурочена к участкам развития слабоуплотненных и рыхлых осадков неоген-четвертичного возраста (восточный берег Охотского моря, восточное побережье залива Терпения и др.). Здесь развиты вертикальные уступы высотой от 4–8 до 16–20 м, к подножию которых приурочены шлейфы песчаного и песчано-глинистого материала, часто встречаются обвальное-оползневые формы рельефа. Скорость отступления берегов в этих районах в среднем составляет 2–5 м/год, достигая в отдельных случаях 20–22 м/год [Атлас..., 2004]. В районе побережья северо-восточного шельфа острова Сахалин отмечаются экстремальные непериодические вдольбереговые течения, способствующие активизации процессов размыва береговой зоны [Объяснительная..., 2021].

Побережье острова Сахалин в пределах изучаемой территории бедно аккумулятивными формами, чаще всего они являются реликтовыми (аккумулятивный выступ мыса Слепиковского, косы Ихдам, Ныйде, Нокси, пересыпь лагуны Буссе и др.). В целом преобладают абразионные берега, процессы аккумуляции на побережье острова затухают. Более трех четвертых протяженности побережья абрадируется и размывается с разной степенью интенсивности (до 22 м/год) [Бровка и др., 2009]. Данная ситуация объясняется, во-первых, малым поступлением обломочного материала в береговую зону на современном этапе развития берега; во-вторых, широким распространением бенчей, защищающих клифы от разрушения; в-третьих, повышением уровня Мирового океана.

Оползневые процессы тяготеют к морскому побережью, где преобладают небольшие оползни глубокого заложения и оползни-сплывы мощностью 0,5–2 м. Развиты также и флювиальные процессы, приводящие к оврагообразованию.

Крупные береговые сооружения — волноломы, молы, причальные стенки, эстакады — построены в портах Холмск, Корсаков, Невельск. Строительство гидротехнических сооружений приводит к нарушению естественного режима береговой зоны, что проявляется, в частности, в усилении абразии клифов и обмелении ковшей. Умеренное воздействие (молы, причалы, берегозащитные сооружения) носит линейный характер. Профиль береговой зоны начинает перестраиваться.

Негативной стороной воздействия на рельеф является то, что при ширине объекта в несколько метров ширина изменяющейся поверхности при строительстве на порядок выше. Акватории портов в небольших бухтах или на ровном берегу ограничены бетонными молами. Изменения естественных берегов после строительства берегозащитных сооружений наиболее хорошо представлены на юго-западе и на побережье залива Терпения, где штормовые волны (до 4–6 м) нередко достигают защищаемых объектов и размывают их. Наиболее активное разрушение происходит на участках: южнее станции Чехов, между станциями Макаров и Туманово и между станциями Горнозаводск и Невельск. Протяженность разрушаемых стенок достигает 700 м [Бровко и др., 2009].

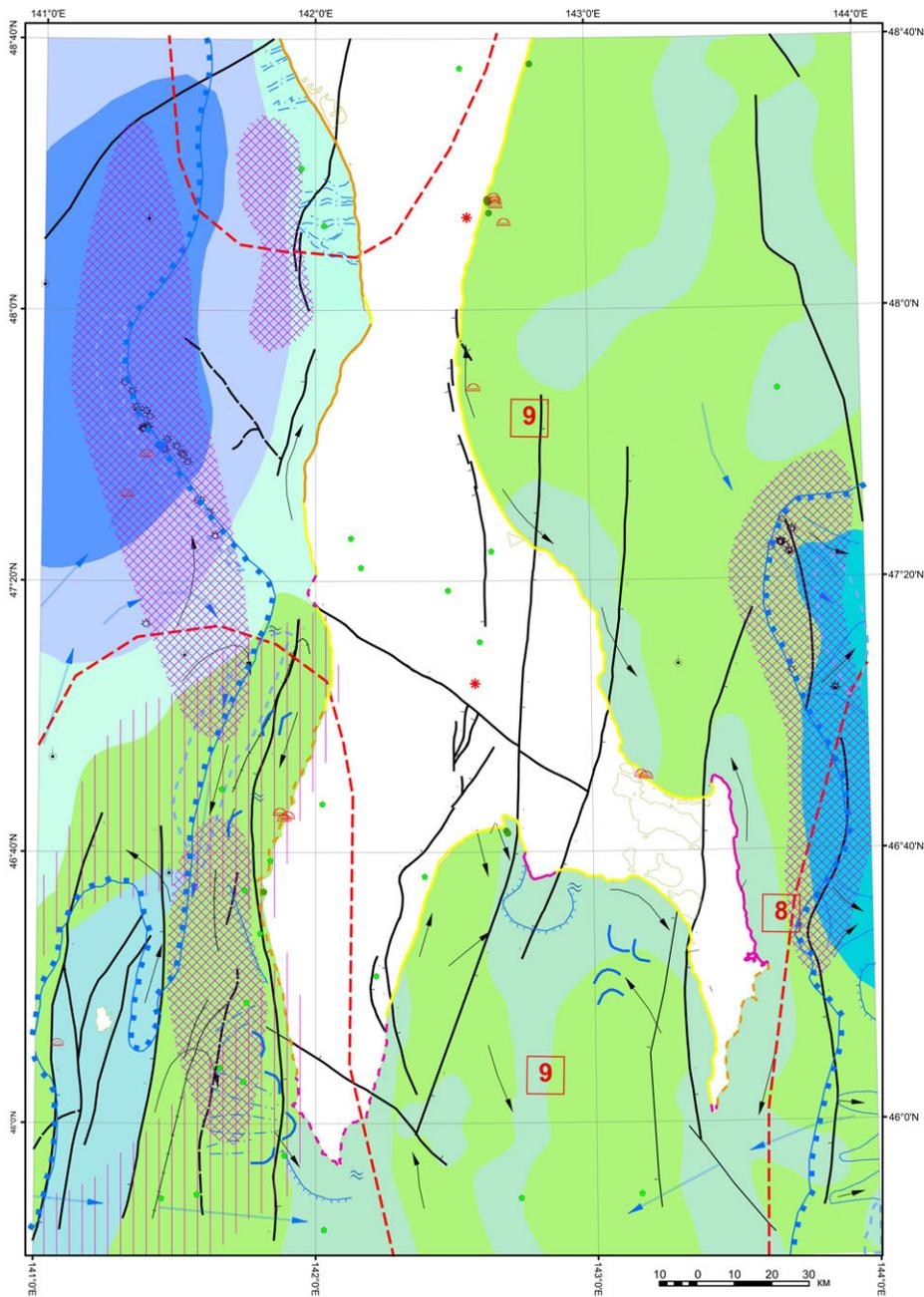
Значительное воздействие (отсыпка новых территорий) проявляется при строительстве объектов на определенных площадях. Сооружение объектов длится обычно несколько лет и приводит к коренному изменению естественного берегового контура. В связи с развитием портового хозяйства на юго-западе острова в условиях острого дефицита низменных участков произвели отсыпки грунта на поверхность бенча. Наиболее обширный новый участок территории был создан между Холмском и Поляково (изменению подвергся 7,5-километровый участок побережья). Здесь береговая линия выдвинулась местами мористее почти на 400 м. Отсыпка грунта за пределы бенча, где глубины резко возрастают, привела к размыву «искусственной» террасы и необходимости берегозащитных мероприятий [Бровко и др., 2009].

Пересыпи лагун используются как источник строительных материалов. Добывается песчано-гравийная смесь на косах лагун Тунайча, Первая Бухта. Также пляжевые наносы добывают немного севернее поселка Стародубское. В результате изъятия пляжевого материала сверх того, что приносится вдольбереговыми потоками наносов, берег отступает, с чем и связывают напряженную литодинамическую ситуацию на побережье залива Терпения. Природно-техногенные процессы на изученной территории развиваются в результате целенаправленного воздействия на геологическую среду в период строительства и эксплуатации природно-техногенных комплексов.

К техногенным опасностям относятся: трубопроводы (на морском дне и заглубленные); объекты добычи и инфраструктуры; законсервированные скважины, неразорвавшиеся боеприпасы и взрывоопасные предметы; гидротехнические сооружения (добывающие платформы, буны, волноломы, берегоукрепительные сооружения); навигация судов и рыболовный промысел.

Опасность развития природно-техногенных процессов связана с изменением геологической среды при освоении территории и увеличением интенсивности формирования геологических процессов при сейсмических событиях. Для снижения степени опасности и риска геологических процессов необходим прогноз их активизации, оценки устойчивости инженерных сооружений и надежности работы применяемых защитных мероприятий в период строительства и эксплуатации объектов [Дзюбло, 2018].

Многие из вышеперечисленных ОЭГП являются следствием активизации эндогенных геологических процессов — сейсмической и тектонической активности, а также флюидно-газовой разгрузки.



Условные обозначения

Элементы структурно-тектонического районирования

Татарский рифтогенный прогиб

- | | | | |
|----------------------|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 1 - осевая часть морского рифта |
| MP P ₂ -Q | | | 2 - склоны морского рифта |
| | | | 3 - внутренние прогибы в осевой части рифта |

Шельф Охотского и Японского морей

- | | | | |
|----------------------|---|---|-----------------------------------|
| 1 | 2 | 3 | 1 - внутренние прогибы на шельфе |
| OM P ₂ -Q | | | 2 - антиклинальные зоны на шельфе |
| | | | 3 - поднятия фундамента |

OM P₂-Q Присахалинский склон Южно-Охотоморской котловины

- разломы главные, достоверные, выходящие на картографируемую поверхность
- - - разломы предполагаемые, выходящие на картографируемую поверхность
- надвиги главные предполагаемые, выходящие на картографируемую поверхность
- разрывные нарушения, выраженные в рельефе

Опасные эндогенные геологические процессы

- 9 Зоны сейсмической опасности, выделенные по ОСП-2015
- Интенсивность сейсмических воздействий - в баллах по шкале MSK-64
- Очаги мелкофокусных землетрясений (до 40 км) магнитудой от 3 до 5 баллов
- Вся территория Сахалина относится к 8-9-балльной зоне сейсмичности по шкале MSK-64 с частотой землетрясений: 6-7 баллов за период 5-10 лет, 7-8 баллов - 10-50 лет, 8-9 баллов - 100-1000 лет
- ||| Зоны возможных повторных проявлений землетрясений интенсивностью 7-8 баллов

Опасные экзогенные геологические процессы и явления

- - - Абразионные берега с активным клифом в коренных породах
- - - Абразионные берега с активным клифом, часто причленённым пляжем
- - - Аккумулятивные берега с активным клифом в коренных породах
- - - Аккумулятивные берега с активным клифом, часто причленённым пляжем
- - - Аккумулятивные песчаные и песчано-валунные берега
- Эрозионный морской уступ
- Граница подводного каньона
- Эрозионные ложбины
- Подводные валы и гряды
- направление поверхностных течений
- Вдольбереговые потоки наносов
- - - Зоны развития гравитационных процессов
- оползни
- оседания грунта
- ▨ Области газо-флюидной разгрузки
- △ Выходы горючих газов на поверхность морского дна
- Визуальное наблюдение гидратов
- * грязевые вулканы

Локальные аномалии газа в воде и осадке

- Углеводороды
- Бровка континентального шельфа
- ≈ Проявления цунами

Рис. 1.2. Карта геологических опасностей, связанных с экзогенными геологическими процессами

Таким образом, на основании анализа результатов проведенных ранее исследований, в качестве опасных геологических процессов и явлений, наиболее типичных для изучаемых регионов прибрежно-шельфовых зон Японского и Охотского морей, можно выделить:

- интенсивные блоковые поднятия и погружения;
- подводная абразия, экзарация дна;
- гальмиролиз, выходы коренных пород, неоднородность грунтового основания, валуны и поля валунов, разжижение грунтов и неравномерные по составу осадки;
- подводный вулканизм, локальные выходы метана, наличие линз газонасыщенных осадков, газопроявления в форме внезапных выбросов газа, покмарки;
- оползни, песчаные волны;
- палеодолины;
- цунами;
- литодинамические процессы: вдольбереговой и поперечный перенос взвесей с формированием подвижных баров и подводных валов;
- ледовые явления.

Эти процессы отражены на карте геологических опасностей, связанных с ЭГП (подводные оползни, обвалы, газово-флюидная разгрузка, грязевые вулканы и др.) масштаба 1:1 000 000, представленной на вкладке (см. рис. 1.2).

На карту вынесены установленные по данным наблюдений 2024 г. зоны аномального газовыделения в воде и осадке.

2. НАБЛЮДАТЕЛЬНАЯ СЕТЬ И ПРИМЕНЯЕМЫЕ МЕТОДЫ

Морские работы выполнены в пределах 10 участков детализации (табл. 1, рис. 2.1), как наиболее актуальных в связи с сосредоточением морских и береговых инженерно-технических сооружений, объектов рекреации на фоне активного проявления газовой флюидной разгрузки, грязевого вулканизма, литодинамических процессов и эндогенных факторов активизации опасных ЭГП. Данные пункты наблюдений нацелены на оценку активности газовой флюидной разгрузки, грязевого вулканизма и гравитационных процессов. Распределение видов и объемов работ на пунктах наблюдений подчинено геоморфологическим и структурно-тектоническим особенностям их строения. Гидролокация бокового обзора (ГЛБО) с одновременным промером глубин, геолого-геохимический пробоотбор выполнены по совмещенной системе профилей для получения комплексной информации по строению и состоянию грязевулканических структур, активности грязевого вулканизма, гравитационных процессов и газовой флюидной разгрузки.

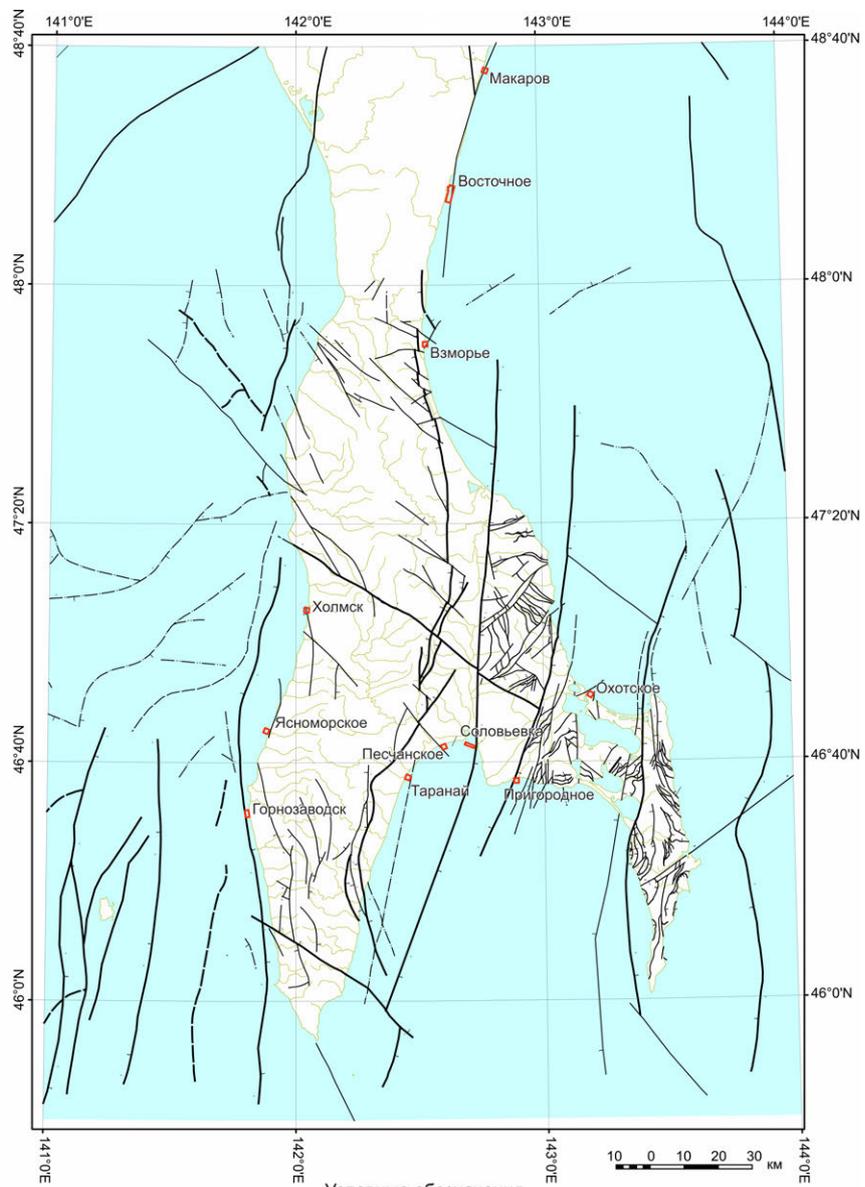
Состав методов, применяемых при мониторинге ОЭГП, перечень наблюдаемых показателей по типам пунктов наблюдательной сети и по генетическим типам изучаемых ОЭГП и сведения о пунктах размещения наблюдательной сети мониторинга ОЭГП в прибрежно-шельфовой зоне каждого моря в 2024 г. отражены в табл. 2.

Таблица 1. Распределение пунктов наблюдательной сети мониторинга опасных экзогенных геологических процессов в прибрежно-шельфовых зонах Японского и Охотского морей в 2024 году

Дальневосточный федеральный округ	Пункты наблюдений, действующие в 2024 г.
Сахалинская область	10
Поселок Охотское	1
Поселок Соловьевка	1
Поселок Песчанское	1
Поселок Таранай	1
Поселок Пригородное	1
Поселок Восточное	1
Поселок Макаров	1
Поселок Взморье	1
Город Холмск	1
Поселок Ясноморское	1

Таблица 2. Сведения о пунктах размещения наблюдательной сети мониторинга опасных экзогенных геологических процессов в прибрежно-шельфовых зонах Японского и Охотского морей

№№ п/п	Наименование субъекта РФ	Характеристика пункта наблюдений за опасными ЭГП									Период наблюдений		Наблюдаемые опасные ЭГП	Виды наблюдений	Наблюдаемые показатели, ед. Измерений	Частота наблюдений	Примечание
		Номер по реестру	Тип	Наименование	Местоположение	Координаты				Площадь, км ² /протяженность, км	Начало	Окончание					
						WGS-84		ГСК-2011									
						широта	долгота	широта	долгота								
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11.0	12	13	14	15	16	17	18
1	Сахалинская область	65-1110-1	Участок дежурных инженерно-геологических обследований	Холмск	Японское море, Сахалинская область	47.09355	142.04338	47.09355	142.04338	2.4	12.08.2024	12.08.2024	Морфолитогенез, газо-флюидная разгрузка	1. Эхолотирование с локацией бокового обзора. 2. Физические свойства грунта	1. Активность опасных ЭГП (мили/сек). 2. Гранулометрический состав грунта (мм) 3. Концентрация газа в	Ежегодно	1. Гидрографический эхолот SOUTH SDE-28S 2. Гидролокатор бокового обзора
2	Сахалинская область	65-1110-2	Участок дежурных инженерно-геологических обследований	Ясноморское	Японское море, Сахалинская область	46.75855	141.88378	46.75855	141.88378	2.7	16.08.2024	16.08.2024	Морфолитогенез, газо-флюидная разгрузка, мутьевые потоки, оползни	1. Эхолотирование с локацией бокового обзора. 2. Физические свойства грунта	1. Активность опасных ЭГП (мили/сек). 2. Гранулометрический состав грунта (мм) 3. Концентрация газа в	Ежегодно	1. Гидрографический эхолот SOUTH SDE-28S 2. Гидролокатор бокового обзора
3	Сахалинская область	65-1110-3	Участок дежурных инженерно-геологических обследований	Таранай	Охотское море, Сахалинская область	46.62802	142.45027	46.62802	142.45027	2.9	06.08.2024	06.08.2024	Морфолитогенез, газо-флюидная разгрузка, мутьевые потоки, оползни	1. Эхолотирование с локацией бокового обзора. 2. Физические свойства грунта	1. Активность опасных ЭГП (мили/сек). 2. Гранулометрический состав грунта (мм) 3. Концентрация газа в	Ежегодно	1. Гидрографический эхолот SOUTH SDE-28S 2. Гидролокатор бокового обзора
4	Сахалинская область	65-1110-4	Участок дежурных инженерно-геологических обследований	Песчанское	Охотское море, Сахалинская область	46.71408	142.59408	46.71408	142.59408	2.9	07.08.2024	07.08.2024	Морфолитогенез, газо-флюидная разгрузка, мутьевые потоки	1. Эхолотирование с локацией бокового обзора. 2. Физические свойства грунта	1. Активность опасных ЭГП (мили/сек). 2. Гранулометрический состав грунта (мм) 3. Концентрация газа в	Ежегодно	1. Гидрографический эхолот SOUTH SDE-28S 2. Гидролокатор бокового обзора
5	Сахалинская область	65-1110-5	Участок дежурных инженерно-геологических обследований	Пригородное	Охотское море, Сахалинская область	46.61426	142.87121	46.61426	142.87121	2.9	28.08.2024	28.08.2024	Морфолитогенез, газо-флюидная разгрузка, оползни	1. Эхолотирование с локацией бокового обзора. 2. Физические свойства грунта	1. Активность опасных ЭГП (мили/сек). 2. Гранулометрический состав грунта (мм) 3. Концентрация газа в	Ежегодно	1. Гидрографический эхолот SOUTH SDE-28S 2. Гидролокатор бокового обзора
6	Сахалинская область	65-1110-6	Участок дежурных инженерно-геологических обследований	Охотское	Охотское море, Сахалинская область	46.85312	143.18855	46.85312	143.18855	2.9	29.08.2024	29.08.2024	Морфолитогенез, газо-флюидная разгрузка, мутьевые потоки, оползни	1. Эхолотирование с локацией бокового обзора. 2. Физические свойства грунта	1. Активность опасных ЭГП (мили/сек). 2. Гранулометрический состав грунта (мм) 3. Концентрация газа в	Ежегодно	1. Гидрографический эхолот SOUTH SDE-28S 2. Гидролокатор бокового обзора
7	Сахалинская область	65-1110-7	Участок дежурных инженерно-геологических обследований	Взморье	Охотское море, Сахалинская область	47.83535	142.53135	47.83535	142.53135	2.8	21.08.2024	21.08.2024	Морфолитогенез, газо-флюидная разгрузка, мутьевые потоки	1. Эхолотирование с локацией бокового обзора. 2. Физические свойства грунта	1. Активность опасных ЭГП (мили/сек). 2. Гранулометрический состав грунта (мм) 3. Концентрация газа в	Ежегодно	1. Гидрографический эхолот SOUTH SDE-28S 2. Гидролокатор бокового обзора
8	Сахалинская область	65-1110-9	Участок дежурных инженерно-геологических обследований	Восточное	Охотское море, Сахалинская область	48.25550	142.64043	48.25550	142.64044	11.2	25.08.2024	25.08.2024	Морфолитогенез, газо-флюидная разгрузка, оползни	1. Эхолотирование с локацией бокового обзора. 2. Физические свойства грунта	1. Активность опасных ЭГП (мили/сек). 2. Гранулометрический состав грунта (мм) 3. Концентрация газа в	Ежегодно	1. Гидрографический эхолот SOUTH SDE-28S 2. Гидролокатор бокового обзора
9	Сахалинская область	65-1110-8	Участок дежурных инженерно-геологических обследований	Соловьевка	Охотское море, Сахалинская область	46.71449	142.69994	46.71449	142.69994	4.9	07.08.2024	08.08.2024	Морфолитогенез, газо-флюидная разгрузка, мутьевые потоки, оползни	1. Эхолотирование с локацией бокового обзора. 2. Физические свойства грунта	1. Активность опасных ЭГП (мили/сек). 2. Гранулометрический состав грунта (мм) 3. Концентрация газа в	Ежегодно	1. Гидрографический эхолот SOUTH SDE-28S 2. Гидролокатор бокового обзора
10	Сахалинская область	65-1110-10	Участок дежурных инженерно-геологических обследований	Макаров	Охотское море, Сахалинская область	48.59824	142.78840	48.59824	142.78840	2.8	20.08.2024	20.08.2024	Морфолитогенез, газо-флюидная разгрузка, мутьевые потоки	1. Эхолотирование с локацией бокового обзора. 2. Физические свойства грунта	1. Активность опасных ЭГП (мили/сек). 2. Гранулометрический состав грунта (мм) 3. Концентрация газа в	Ежегодно	1. Гидрографический эхолот SOUTH SDE-28S 2. Гидролокатор бокового обзора
11	Сахалинская область	65-1110-2	Участок дежурных инженерно-геологических обследований	Горнозаводск	Японское море, Сахалинская область	46.56914	141.80903	46.56914	141.80903	2.6	30.08.2024	30.08.2024	Морфолитогенез, газо-флюидная разгрузка, мутьевые потоки, оползни	1. Эхолотирование с локацией бокового обзора. 2. Физические свойства грунта	1. Активность опасных ЭГП (мили/сек). 2. Гранулометрический состав грунта (мм) 3. Концентрация газа в	Ежегодно	1. Гидрографический эхолот SOUTH SDE-28S 2. Гидролокатор бокового обзора



Условные обозначения

- Участки проведения работ
- Разломы главные достоверные, выходящие на картографируемую поверхность
- Разломы предполагаемые, выходящие на картографируемую поверхность
- Разломы достоверные, выходящие на картографируемую поверхность
- Разломы второстепенные достоверные, выходящие на картографируемую поверхность
- Разломы предполагаемые, выходящие на картографируемую поверхность
- Разломы второстепенные достоверные скрытые под вышележащими образованиями
- Надвиги главные предполагаемые, выходящие на картографируемую поверхность
- Надвиги второстепенные достоверные, выходящие на картографируемую поверхность
- Надвиги второстепенные предполагаемые, выходящие на картографируемую поверхность
- Взбросо-сдвиги правые главные достоверные, выходящие на картографируемую поверхность
- Взбросо-сдвиги правые главные предполагаемые, выходящие на картографируемую поверхность
- Взбросо-сдвиги правые второстепенные достоверные, скрытые под вышележащими образованиями
- Взбросо-сдвиги правые второстепенные достоверные, скрытые под вышележащими образованиями
- Сдвиги правые предполагаемые, выходящие на картографируемую поверхность
- Взбросы главные предполагаемые, выходящие на картографируемую поверхность
- Взбросы второстепенные предполагаемые, выходящие на картографируемую поверхность
- Сдвиги левые главные достоверные, выходящие на картографируемую поверхность
- Сдвиги левые достоверные, выходящие на картографируемую поверхность
- Сбросы главные предполагаемые, выходящие на картографируемую поверхность

Рис. 2.1. Карта наблюдательной сети на тектонической основе (масштаб 1:1 000 000)

Всего выполнено 193 станции пробоотбора и 528 пог. км геофизических наблюдений. Схемы расположения наблюдательной сети в прибрежно-шельфовых зонах Японского и Охотского морей приведены на рис. 2.2–2.11.

В состав лабораторных работ, согласно техническому заданию, входит:

- проведение лабораторных исследований 110 проб и образцов грунтов с определением физических свойств (гранулометрический состав — 110 проб);
- проведение лабораторных исследований 40 проб грунтов с определением геохимических индикаторов грязевого вулканизма (Fe, Mn, Cu, Ni, Co, Zn, Pb, As, Cd, Hg, нефтепродукты, фенолы, полиароматические углеводороды (ПАУ));
- проведение лабораторных исследований 100 проб грунтов и морской воды с определением газового состава (метан (CH₄), этан (C₂H₆), пропан (C₃H₈), бутан (C₄H₁₀), изобутан ((CH₃)₃CH), углекислый газ (CO₂), аммиак (NH₃), азот (N₂), сероводород (H₂S), сернистый газ (SO₂), водород (H₂), гелий (He)).

Лабораторные исследования проб воды и донных отложений выполнялись в сертифицированной стационарной лаборатории ФГБУ «ВНИИОкеангеология» (Сертификат соответствия. Регистрационный № СДС «УКАРГЕО» RU 0046.22. Срок действия — 28.01.2027). Определение состава углеводородных газов (метан, этан, этилен, пропан, пропилен, i-бутан, п-бутан, этилен + бутан, i-пентан, п-пентан) и неуглеводородных (углекислый газ, гелий, водород, кислород, азот, аммиак, сероводород, сернистый газ) проводилось на газовом хроматографе Shimadzu GC 2014 и квадрупольном масс-спектрометре. Определение железа, марганца, цинка, меди, кадмия, свинца, кобальта и никеля проводилось атомно-адсорбционным методом по методике НСАМ-155хс; мышьяк определялся по методике РФСА; ртуть определялась на анализаторе ртути РА-915 + с приставкой РП-91 С.

В ООО «Лаборатория» (Аттестат аккредитации № RA.RU 21 АК94 от 24 октября 2016 г.) проведено определение нефтепродуктов (ПНД Ф 16. 1. 2 .2. 22-98, флуориметрический метод), фенолов (2-метилфенол, 3,5-диметилфенол, 3,4-дитетилфенол, 2,6-диметилфенол, 2,5-диметилфенол, 4-хлорфенол, 2,4-дихлорфенол, 2,4,6-трихлорфенол, пентахлорфенол, 2-нитрофенол, 4-нитрофенол, карболовая кислота /фенол), ПАУ (антрацен, аценафтен, аценафтилен, бенз(а)антрацен, бенз(а)пирен, бенз(б)флуорантен, бенз(к)флуорантен, бенз(г, h, i)перилен, дибенз(а)антрацен, индено(1,2,3-с, d)пирен, пирен, нафталин, фенантрен, флуорантен, флуорен, хризен), метод измерения — ФР.1.31.2004.01279 (ВЭЖХ/Флу Д).

В литолого-минералогической лаборатории ФГБУ «ВНИИОкеангеология» (Аттестат аккредитации Госстандарта России № РОСС RU.В888.04 ФГТО от 09.01.2019) проведено определение гранулометрического состава отобранных проб.

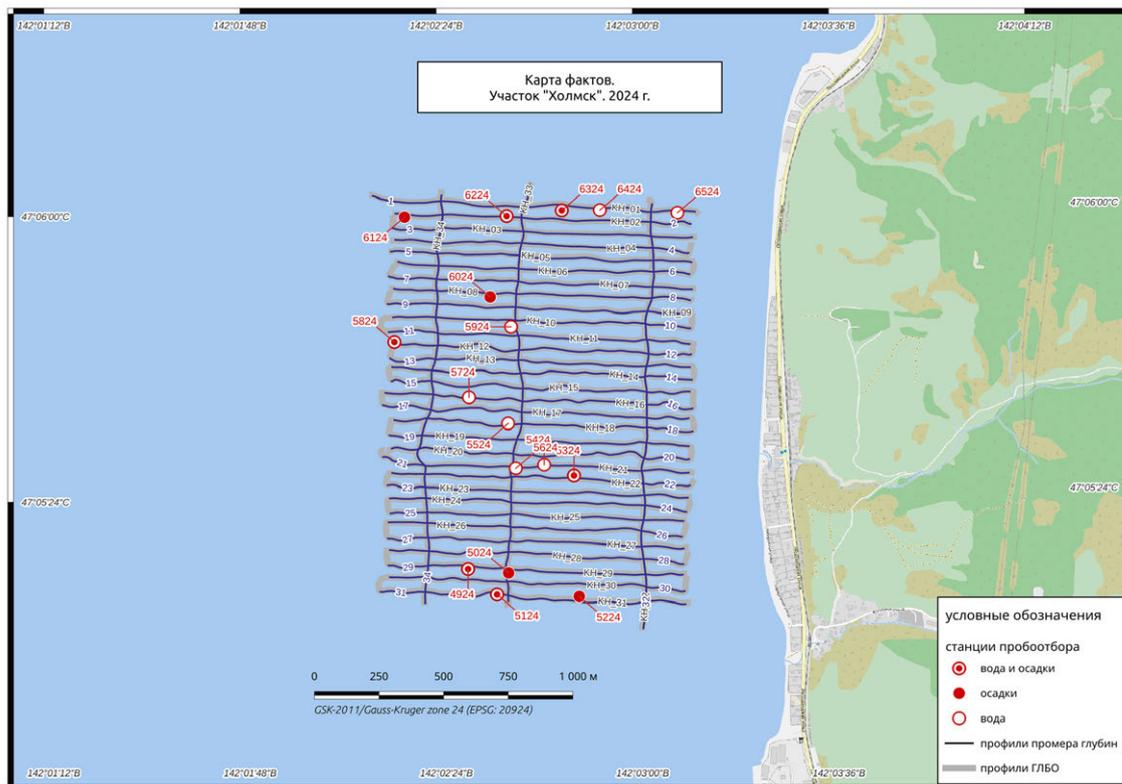


Рис. 2.2. Карта фактического материала участка наблюдений «Холмск»

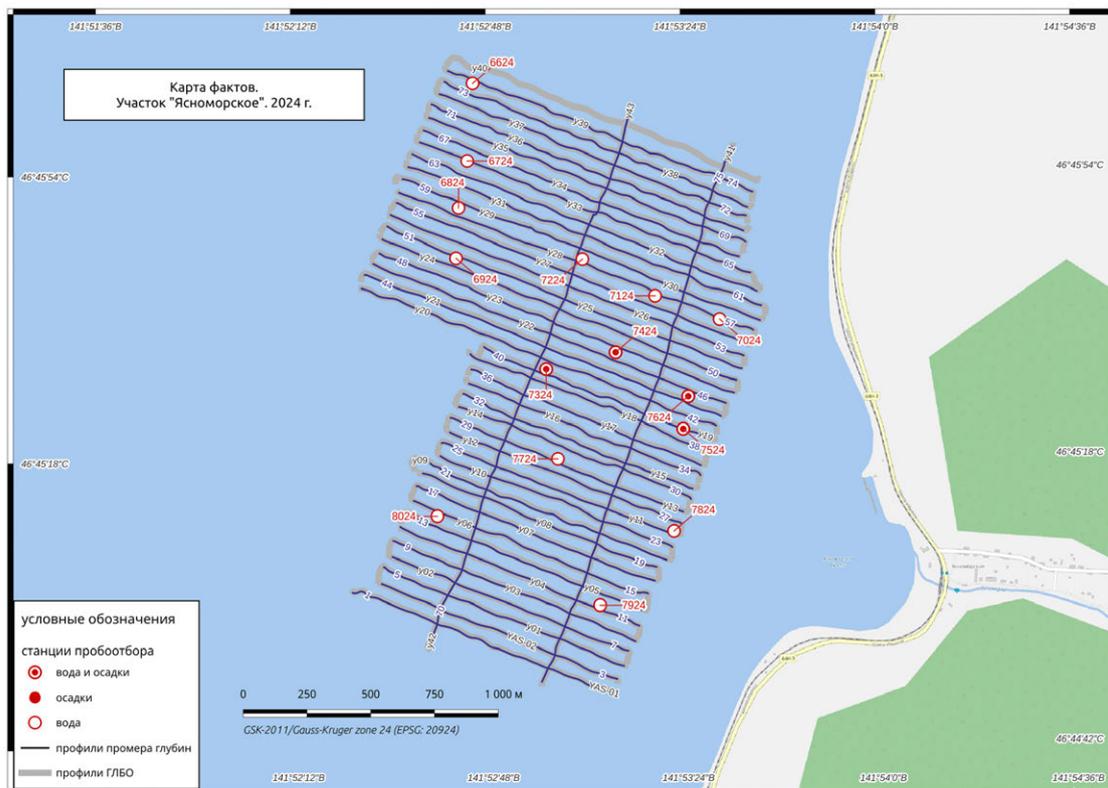


Рис. 2.3. Карта фактического материала участка наблюдений «Ясноморское»

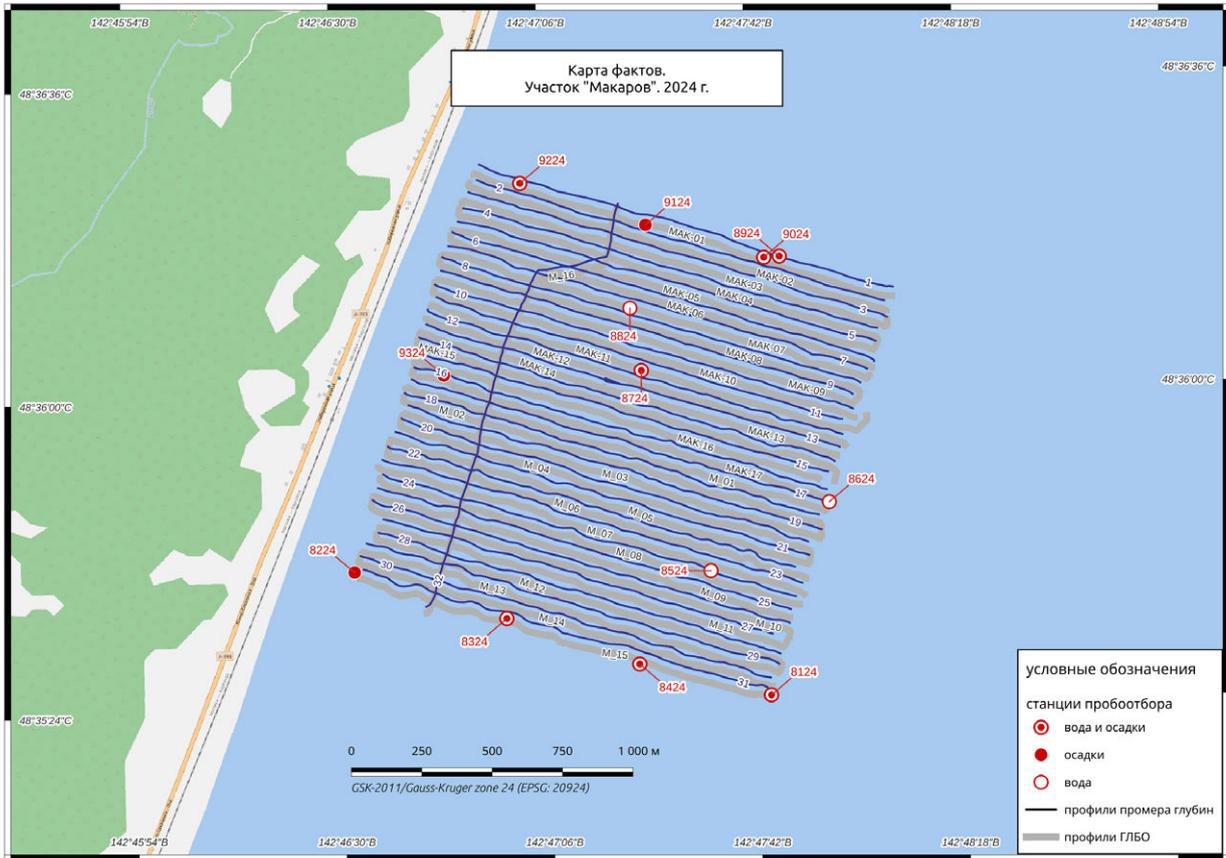


Рис. 2.4. Карта фактического материала участка наблюдений «Макаров»

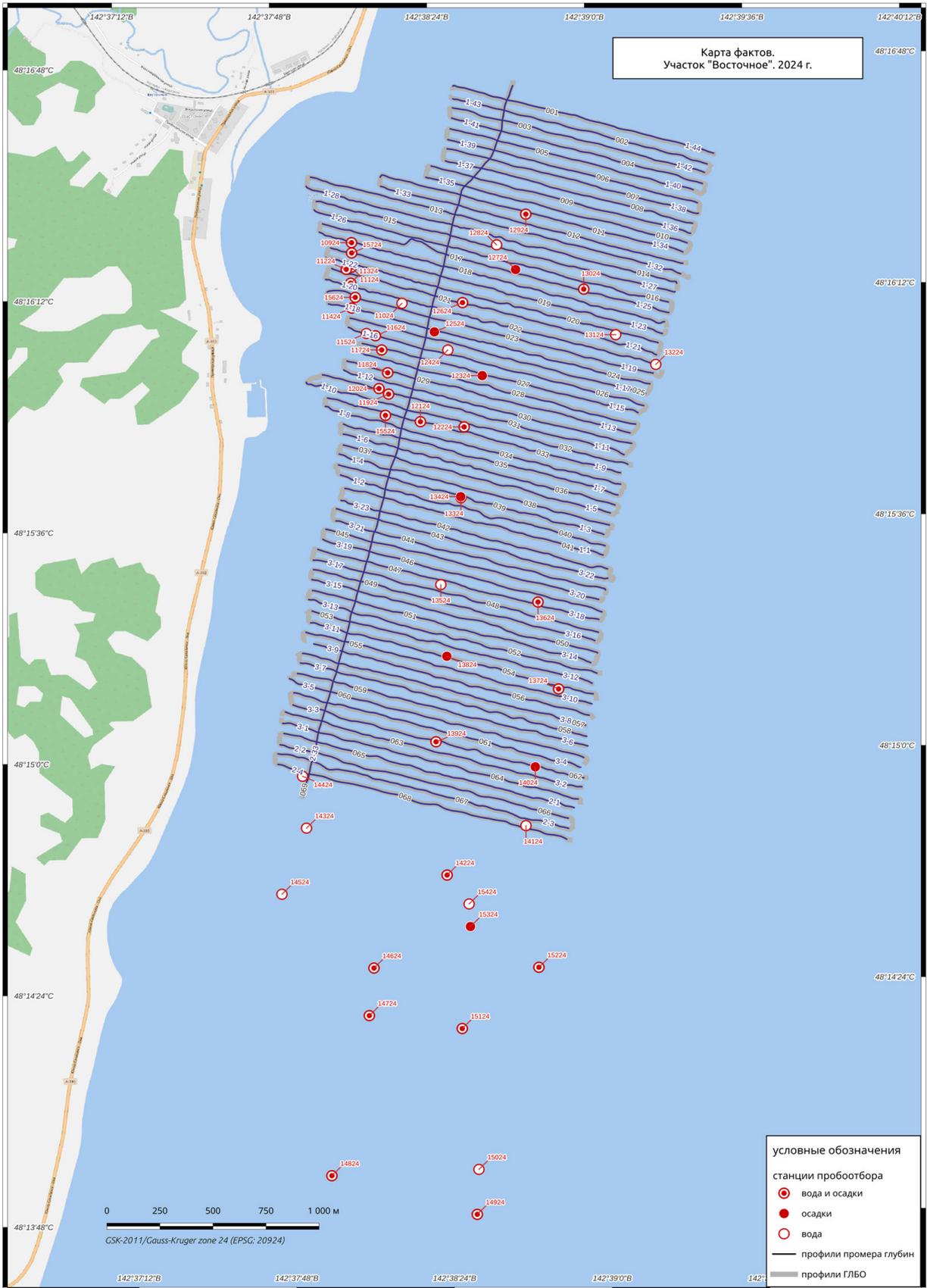


Рис. 2.5. Карта фактического материала участка наблюдений «Восточное»

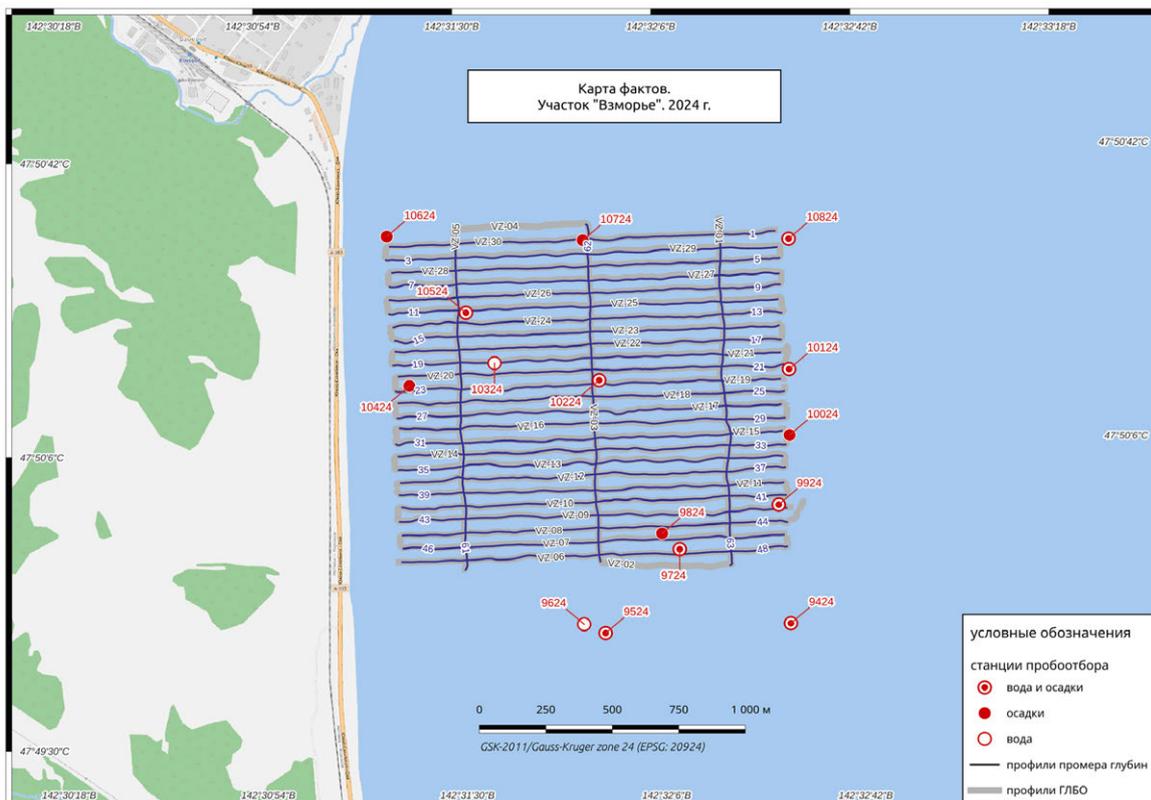


Рис. 2.6. Карта фактического материала участка наблюдений «Взморье»

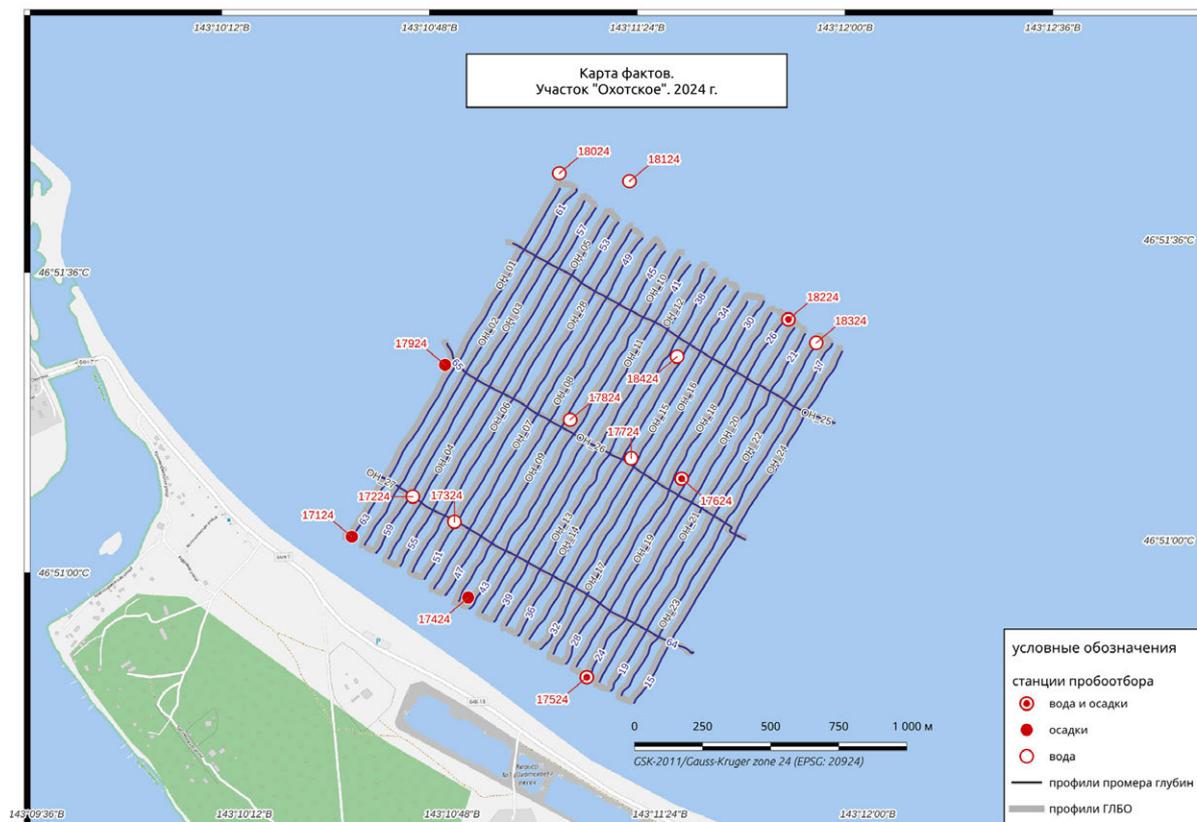


Рис. 2.7. Карта фактического материала участка наблюдений «Охотское»

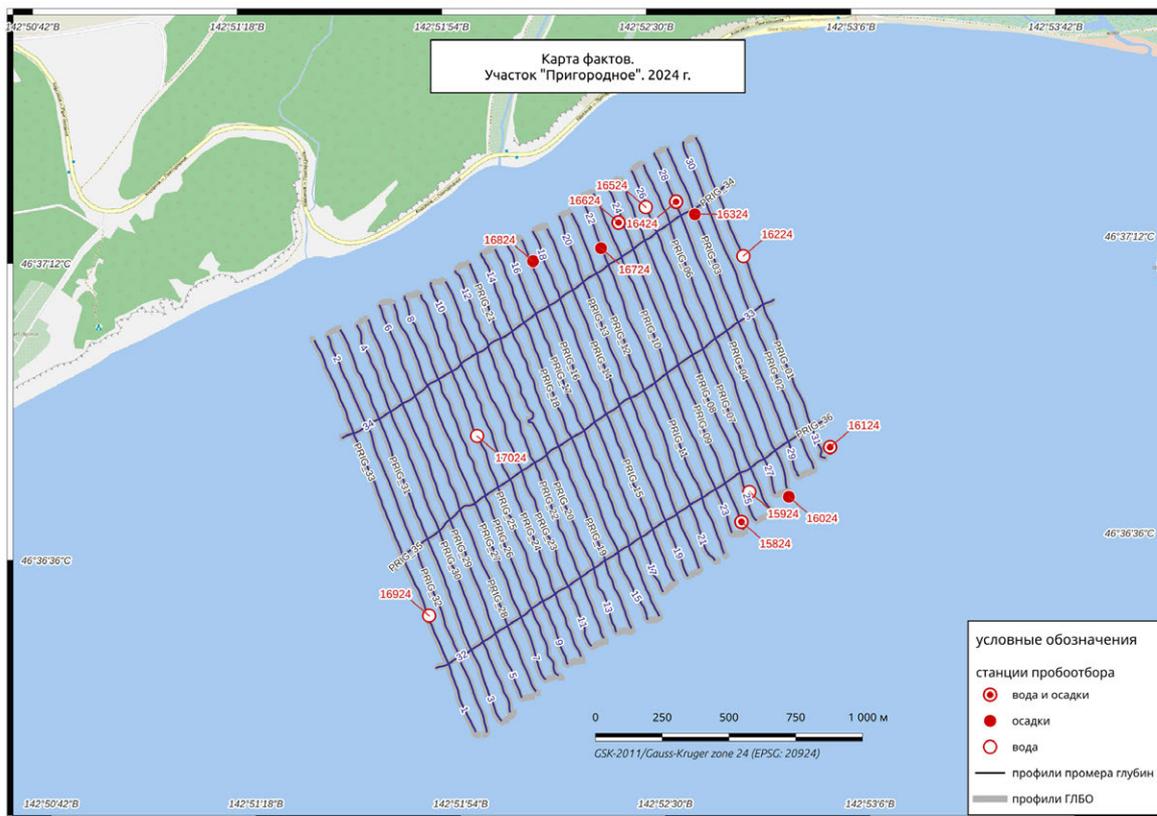


Рис. 2.8. Карта фактического материала участка наблюдений «Пригородное»

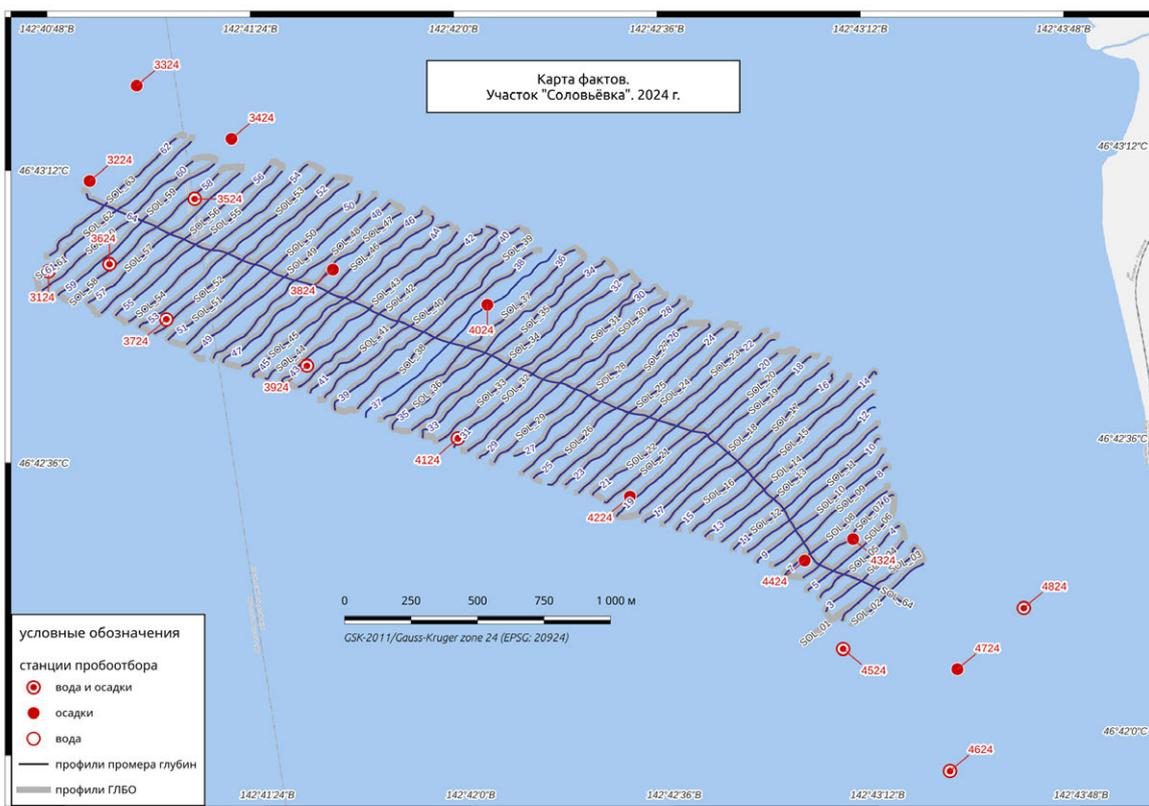


Рис. 2.9. Карта фактического материала участка наблюдений «Соловьёвка»

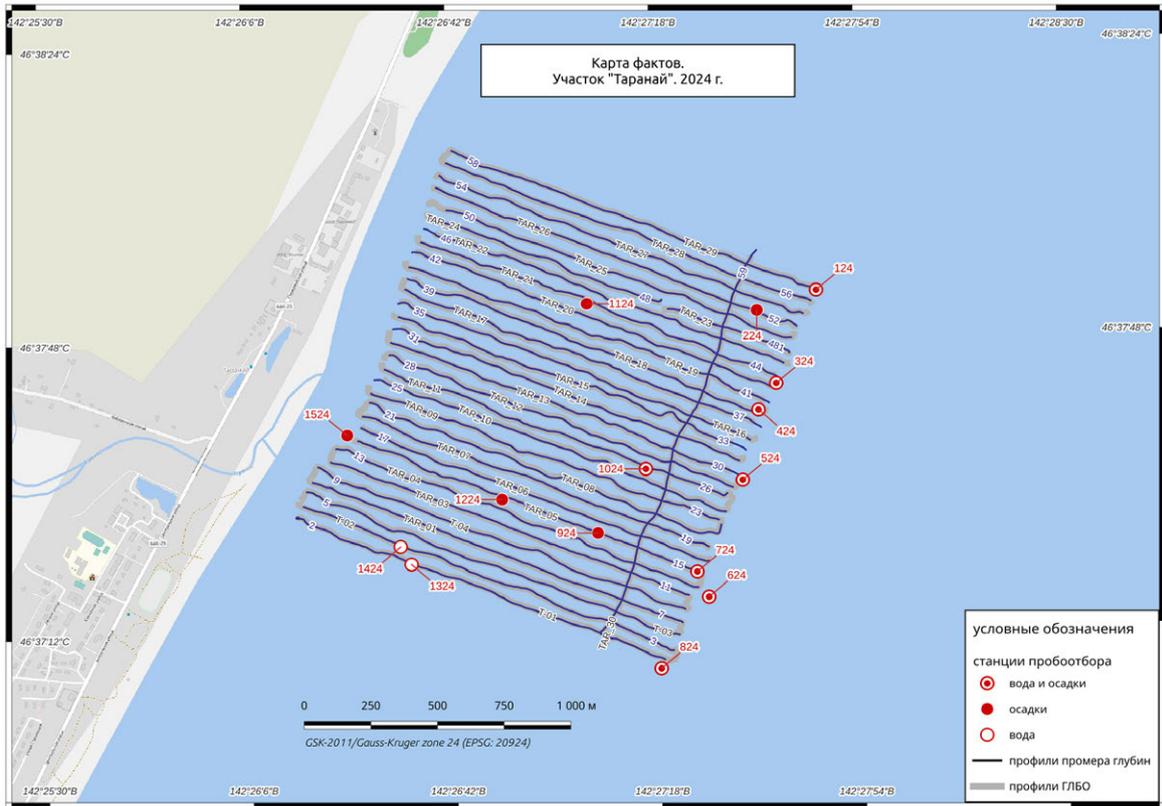


Рис. 2.10. Карта фактического материала участка наблюдений «Таранай»

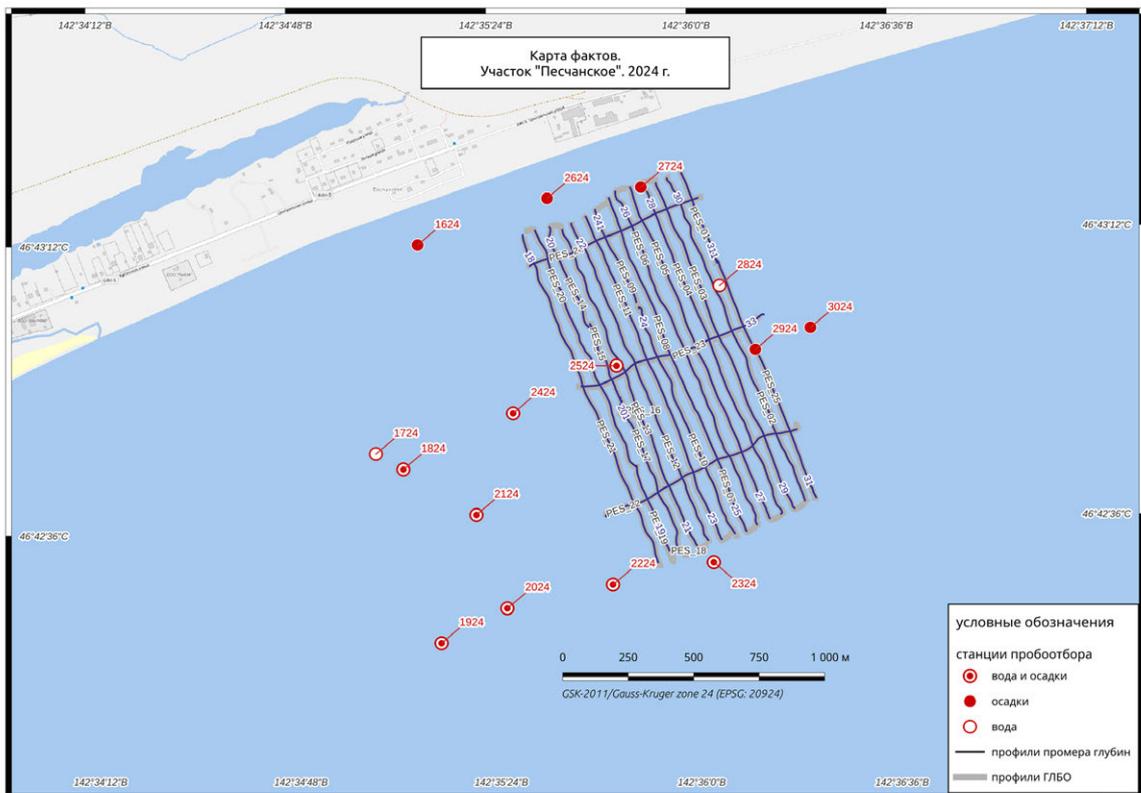


Рис. 2.11. Карта фактического материала участка наблюдений «Песчанское»

3. РЕГИОНАЛЬНАЯ АКТИВНОСТЬ ОПАСНЫХ ЭКЗОГЕННЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ПРИБРЕЖНО-ШЕЛЬФОВЫХ ЗОНАХ ЯПОНСКОГО И ОХОТСКОГО МОРЕЙ В 2024 ГОДУ

Оценка региональной активности опасных экзогенных геологических процессов осуществляется на основе обобщения и анализа результатов наблюдений за ОЭГП по пунктам наблюдательной сети в пределах прибрежно-шельфовых зон Японского и Охотского морей в 2024 г. Карты проявлений ОЭГП (масштаб 1:15 000) составлены по 10 участкам наблюдений на литофациальной основе с учетом геофизических и геохимических данных. Выделены зоны флюидно-газовой разгрузки, участки тектонической активизации, зоны разрушения коренных пород и накопления рыхлых отложений в результате проявлений гравитационных процессов. Нанесены станции с аномально высокими содержаниями органических и неорганических газов в донных отложениях и воде.

3.1. ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОЯВЛЕНИЙ ОПАСНЫХ ЭКЗОГЕННЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ПРИБРЕЖНО-ШЕЛЬФОВОЙ ЗОНЕ ЯПОНСКОГО МОРЯ

Ключевой участок «Холмск»

Участок «Холмск» находится в южной части Татарского пролива, в 4 км к северу от города Холмска (см. рис. 2.1). Берег абразионный. Практически вплотную к берегу подходят горы. Клиф неактивный и отделен от моря узкой полосой цокольной террасы, на которой, по существу, и находится город.

На трехмерной диаграмме донного рельефа отчетливо прослеживаются три основных морфологических элемента (рис. 3.1, 3.2): широкая абразионная зона, морфологически представляющая собой каменистую отмель, протягивающуюся практически до берега; крутой денудационный склон береговой платформы острова Сахалин и пологонаклонная равнина, примыкающая к этому склону.

Достаточно интересной с точки зрения литодинамических потоков является как раз склон — типичная структурно-денудационная форма донного рельефа.

На участке «Холмск» по результатам работ 2024 г. выделено три района проявления гравитационных процессов. Они отмечены в прибрежной относительно мелководной части участка и приурочены к градиентным формам донного рельефа — уступам и поднятиям в скальных породах. Высота уступов не превышает 5 м. Исходя из акустического отображения гравитационных процессов на сонограммах, а также учитывая совпадение областей аккумуляции донных отложений с районами проявления склоновых процессов, последние, скорее всего, представлены смешанным, обвальным-оползневым типом с образованием в подножии склонов и уступов коллювия. Объемы обвальным-оползневых отложений, исходя из полученных на сонограммах изображений, небольшие и не превышают 30 м³.

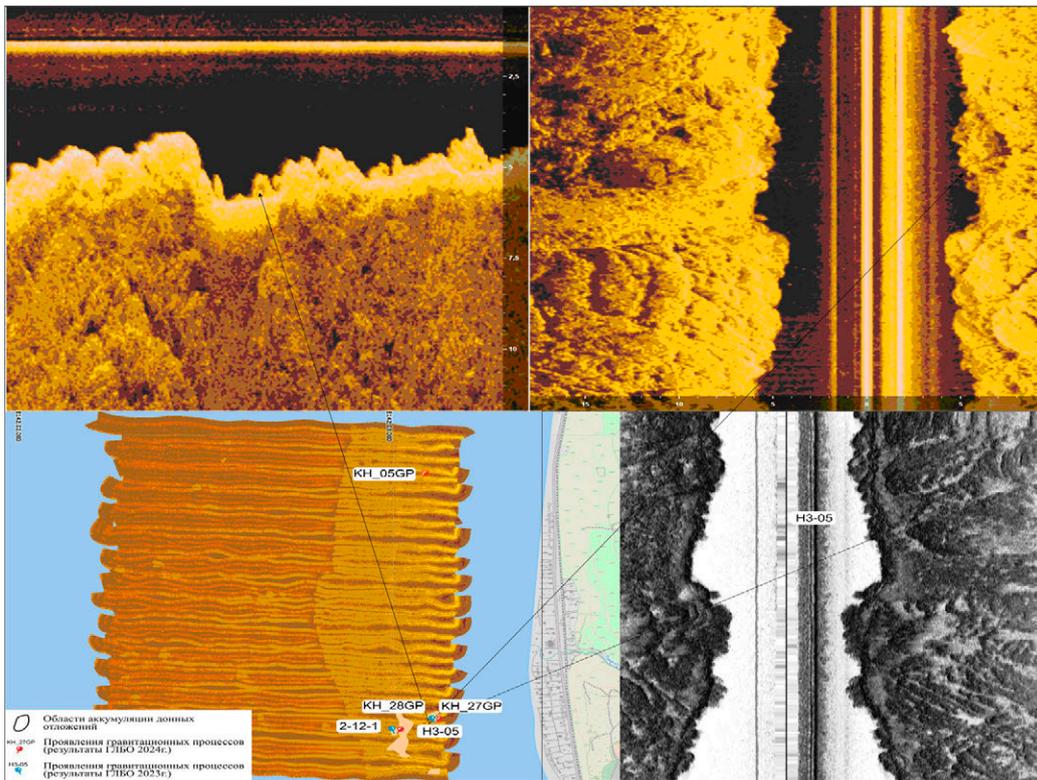


Рис. 3.1. Районы проявления гравитационных процессов на мозаике гидролокации бокового обзора и их отображение на сонограммах по профилям H3-05 (2023 г.) и KH_27GP (2024 г.). Участок «Холмск»

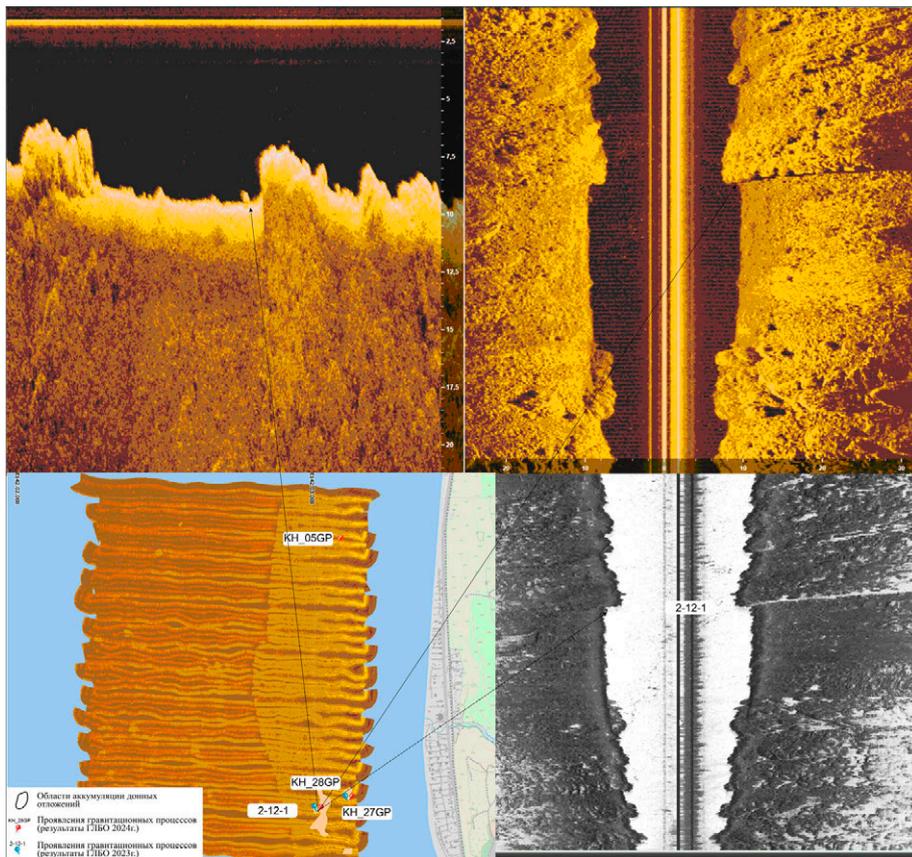


Рис. 3.2. Районы проявления гравитационных процессов на мозаике гидролокации бокового обзора и их отображение на сонограммах по профилям 2-12-1 (2023 г.) и KH_28GP (2024 г.). Участок «Холмск»

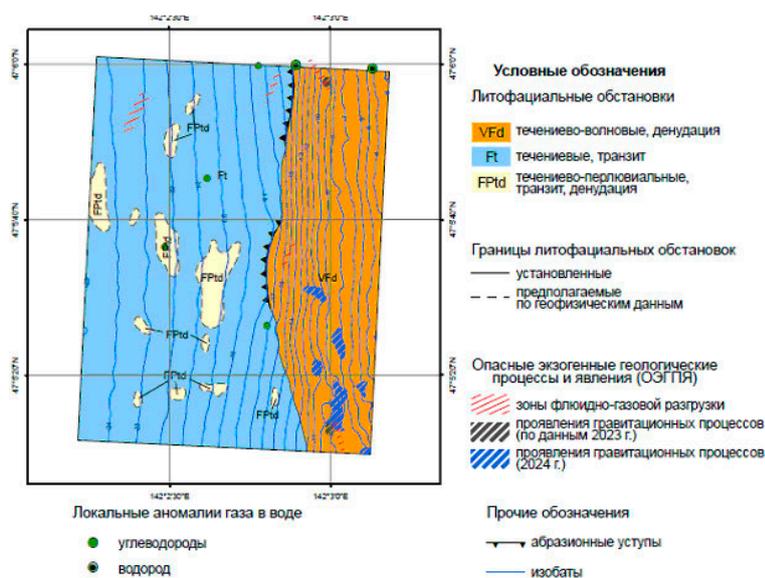


Рис. 3.3. Карта проявлений опасных экзогенных геологических процессов участка «Холмск»

На карте (рис. 3.3) околтурены зоны проявления гравитационных процессов. Кроме того, впервые в четырехлетнем цикле мониторинга были выделены зоны флюидно-газовой разгрузки как по геофизическим, так и по геохимическим данным. Целая серия выходов гелия и водорода в придонной воде зафиксирована у подножия берегового склона, что подтверждает наличие крупного разлома в обособлении современного берега острова Сахалин.

Ключевой участок «Ясноморское»

Участок «Ясноморское» расположен в Татарском проливе Японского моря в 5 км к северу от города-порта Невельска, напротив бухты Ясноморской и одноименного поселка. Удален от береговой линии на расстояние около 2 км. Берег абразионный. Подводный береговой склон в целом достаточно пологий.

В пределах акватории ключевого участка рельеф донной поверхности осложнен подводными грядами вдольбереговой направленности, хорошо заметными на каркасной модели рельефа и образованными выходами коренных пород. Центральную часть участка пересекает пологая ложбина — подводное продолжение бухты Ясноморской и возможное палеорусло впадающей в нее реки.

Работы в рамках мониторинга в период с 2020 по 2024 г. позволили установить, что большая поверхность вдольберегового склона представляет денудационную (абразионную) платформу, которая в прибрежной части практически лишена осадков, за исключением отдельных россыпей валунов и пятен галечника. Это зона действия активных вдольбереговых течений. Однако в пределах самого ключевого участка, который приурочен к нижней части этого склона, в тыловой его части развиты пятна разноразмерных, в том числе гравелистых песков, мощность которых составляет первые десятки сантиметров. На всей остальной площади участка залегают преимущественно гравийно-галечные осадки, формирующие перлювиальный покров на размываемых четвертичных отложениях. На вершинах гряд, ограждающих ложбину выноса обломочного материала, встречаются преимущественно валуны выветрелых коренных пород, что говорит о том, что они, скорее всего, сложены коренными породами.

Отдельное место занимают осадки подводного продолжения бухты Ясноморской — ложбины, секущей ключевой участок. Донные отложения здесь представлены разноразмерными, преимущественно крупнозернистыми песками с пятнами более мелкозернистых разновидностей.

К особенностям участка «Ясноморское» следует отнести относительно крупное перемещение осадков, которое проявляется на отрезке профиля № 25 в виде вложенной в поверхность основания уступа, высотой около 8 м и уклоном 6° , пачки отложений мощностью около 4 м, занимающей площадь около 50 м^2 , что соответствует объему рыхлых осадков в 200 м^3 . С учетом того, что критериями для выделения гравитационных процессов на сонограммах и эхограммах являются наличие склонов с углами наклона поверхности более 3° и вложенный характер осадков в их подножии, выделенная пачка осадков может указывать на активное состояние гравитационных процессов на участке.

По результатам работ 2024 г. на участке «Ясноморское» отмечено 10 районов проявления гравитационных процессов, которые достаточно равномерно распределены по акватории участка (рис. 3.4). Возможно, что увеличение числа проявлений в 5 раз на участке связано с возросшей сейсмической активностью в регионе.

Особенностью участка является наличие в мористой его части двух подводных уступов тектонического происхождения, пересекающих участок в меридиональном направлении и расположенных на расстоянии около 80 м друг от друга и (рис. 3.5).

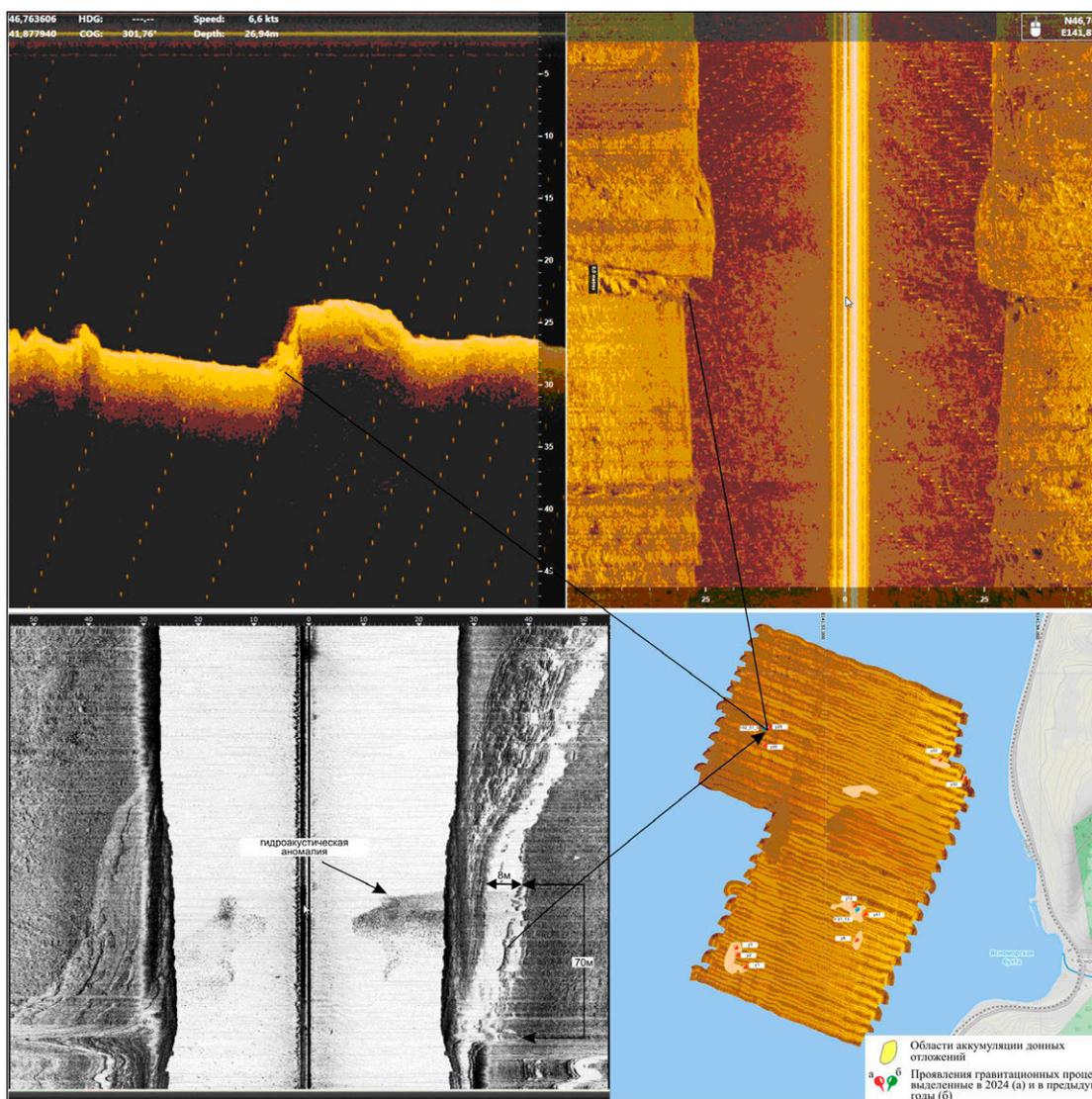


Рис. 3.4. Районы проявления гравитационных процессов на мозаике гидролокации бокового обзора и их отображение на сонограммах по профилям Y32_01_3 (2023 г.) и y28 (2024 г.). Участок «Ясноморское»



Рис. 3.5. Отображение подводных уступов на мозаике гидролокации бокового обзора. Участок «Ясноморское»

Высота уступов не превышает 10 м. Гравитационные процессы в виде обвалов и осыпей фиксируются на их склонах и в основании (см. рис. 3.4; рис. 3.6, 3.7). Учитывая значительную протяженность уступов, объемы обвально-осыпного материала могут быть различными. К примеру, у подножия уступа высотой 8 м, при высоте обвала 5 м и площади его основания 8×70 м, объем составляющих его пород составит около 1400 м^3 (см. рис. 3.4).

Другая часть склоновых процессов на участке представлена оползнями и осыпями, образованию которых способствуют литодинамические условия. Они выполняют склоны в пониженных формах донного рельефа и состоят из рыхлых, достаточно пластичных осадков (рис. 3.8). Источником осадков являются многочисленные оползни и осыпи близкого к урезу воды берега, которые подвергаются переработке в волноприбойной зоне и под влиянием литодинамических процессов распределяются по акватории (см. рис. 3.4). К примеру, объем рыхлого материала осыпи высотой 4 м и овальной формы, основанием диаметром 50 м может составлять около $10\,000 \text{ м}^3$ (см. рис. 3.7).

Примечательно территориальное соответствие районов аккумуляции донных отложений, выделенных по результатам высокоточной батиметрической съемки и районов проявлений гравитационных процессов, полученных по данным ГЛБО.

Периодичность проявлений склоновых процессов на участке обусловлена сейсмичностью региона и степенью литодинамического воздействия.

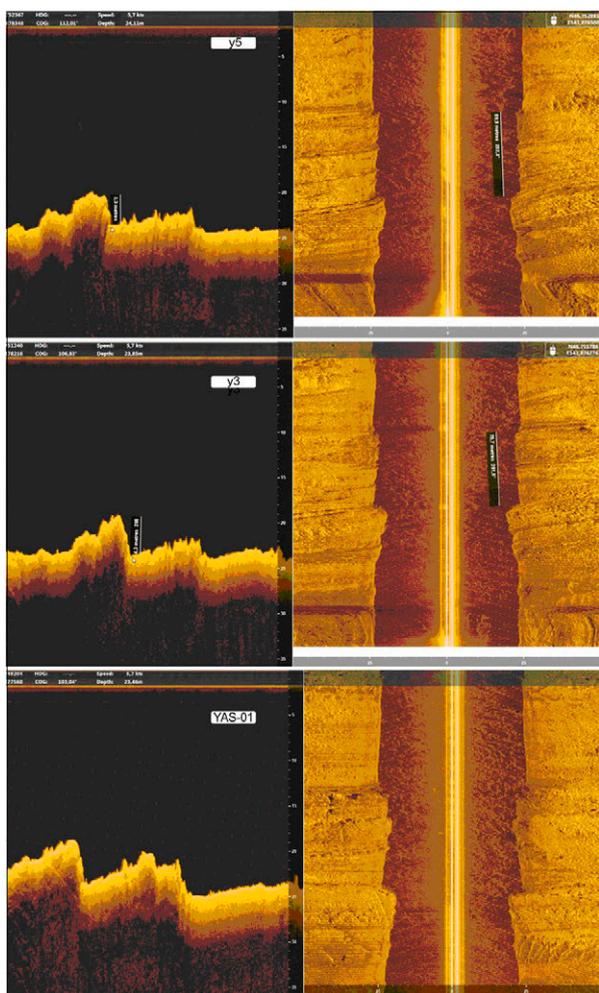


Рис. 3.6. Отображение подводных уступов на сонограммах гидролокации бокового обзора. Участок «Ясноморское»

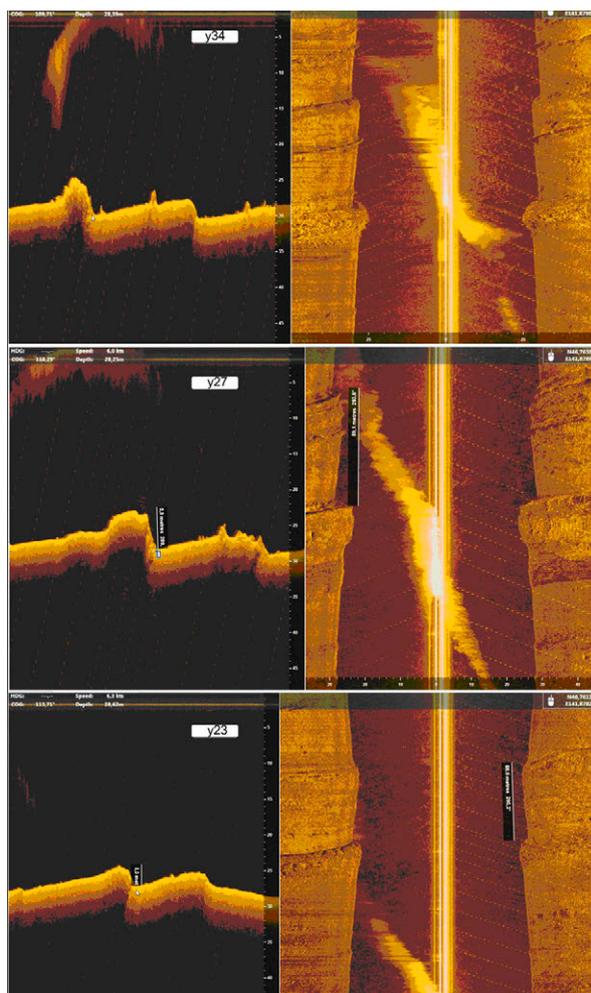


Рис. 3.7. Отображение подводных уступов на сонограммах гидролокации бокового обзора. Участок «Ясноморское»

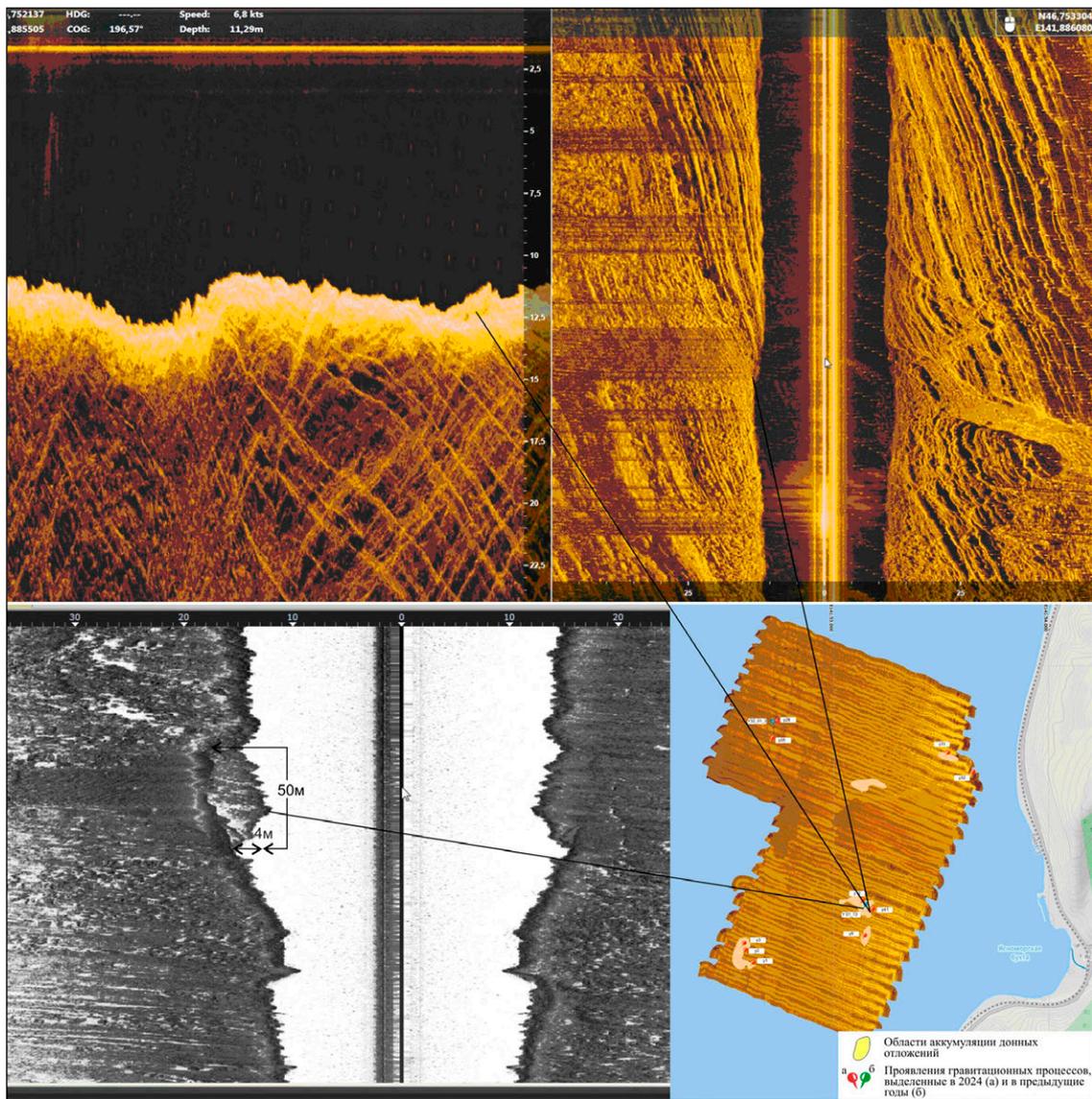


Рис. 3.8. Районы проявления гравитационных процессов на мозаике гидролокации бокового обзора и их отображение на сонограммах по профилям Y01_13 (2023 г.) и y41 (секций) (2024 г.). Участок «Ясноморское»

В 2023 г. литофациальная зональность на участке «Ясноморское» стала существенно сложнее, прежде всего за счет большей дифференцированности языка песков, идущего из бухты. При этом на участке сохранилась, хотя и в меньших размерах, зона аллювиально-морских транзитных и в ее окончании поле аллювиально-морских транзитно-течениевых осадков. Сохранила свое положение зона течениево-перлювиальная, а вот к северу от зоны аллювиально-морских осадков и к северо-западу от нее появилась течениевая транзитно-денудационная зона, маркирующая зоны интенсивно перемещающихся осадков. Также в пределах единой течениевой денудационной литофациальной зоны появилась их разновидность с предельным развитием этих процессов вплоть до появления скальных выходов.

Таким образом, к числу потенциально опасных геологических процессов на ключевом участке «Ясноморское» (рис. 3.9) можно отнести гравитационные (преимущественно оползневые и оплывание) процессы, а также интенсивные литодинамические перемещения наносов, следствием которых может явиться как засыпание инженерных объектов, так и возникновение размыва вокруг них.

Кроме того, выделено несколько зон флюидно-газовой разгрузки, которым сопутствуют аномальные и повышенные содержания углеводородов, водорода и гелия. Большая часть проявлений локализована в долине, идущей от устья реки, одна зона сопряжена с подножием скалистой гряды. Возможно, эти аномалии маркируют современные активизированные тектонические зоны (см. рис. 3.9).

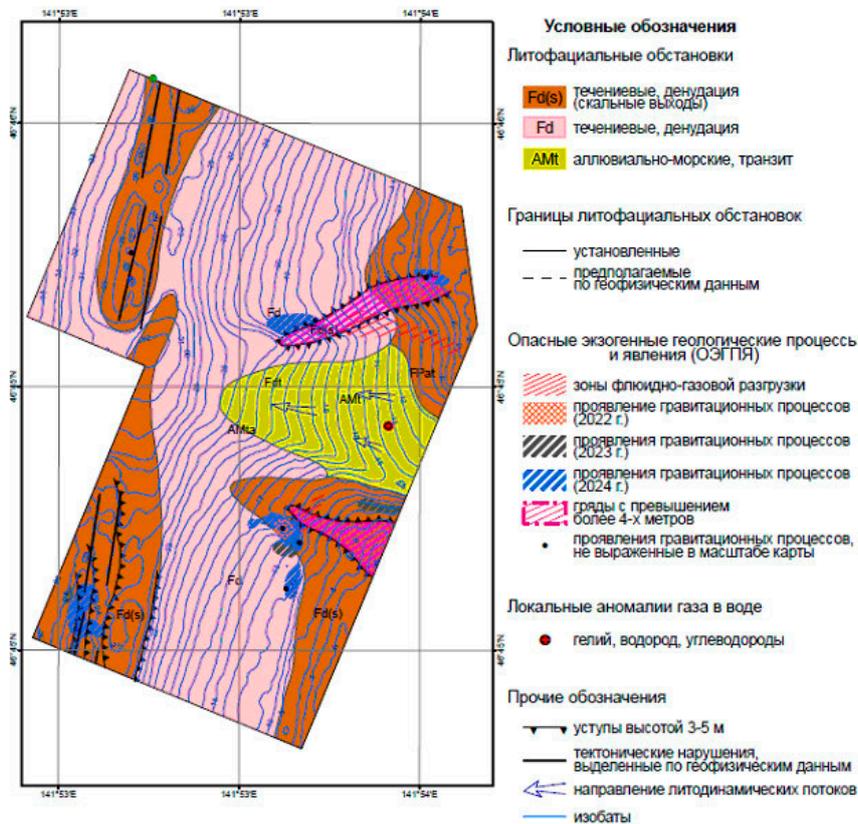


Рис. 3.9. Карта проявлений опасных экзогенных геологических процессов участка «Ясноморское»

На участке «Ясноморское» по работам 2023 г. выделено 9 ГАА, 7 из которых образовали 3 аномальные зоны с плотностью распространения от 300 до 500 проявлений на квадратный километр (рис. 3.10). По результатам работ 2024 г. на участке отмечено 15 аномалий, 6 из которых объединены в 2 аномальные зоны с плотностью распространения 120 и 600 проявлений на квадратный километр. Одна из зон включает станцию прободобора с аномальными значениями измеряемых параметров в воде и приурочена к осадкам, формирующим борта пологой ложбины — подводного продолжения бухты Ясноморской и возможного палеорула впадающей в нее реки Ясноморки. В южной части участка отмечены 2 зоны повторяемости аномальных проявлений (см. рис. 3.10).

Увеличение количества аномалий, выделенных по работам 2024 г., в 1,5 раза может свидетельствовать о росте интенсивности процесса газо-флюидной разгрузки на участке.

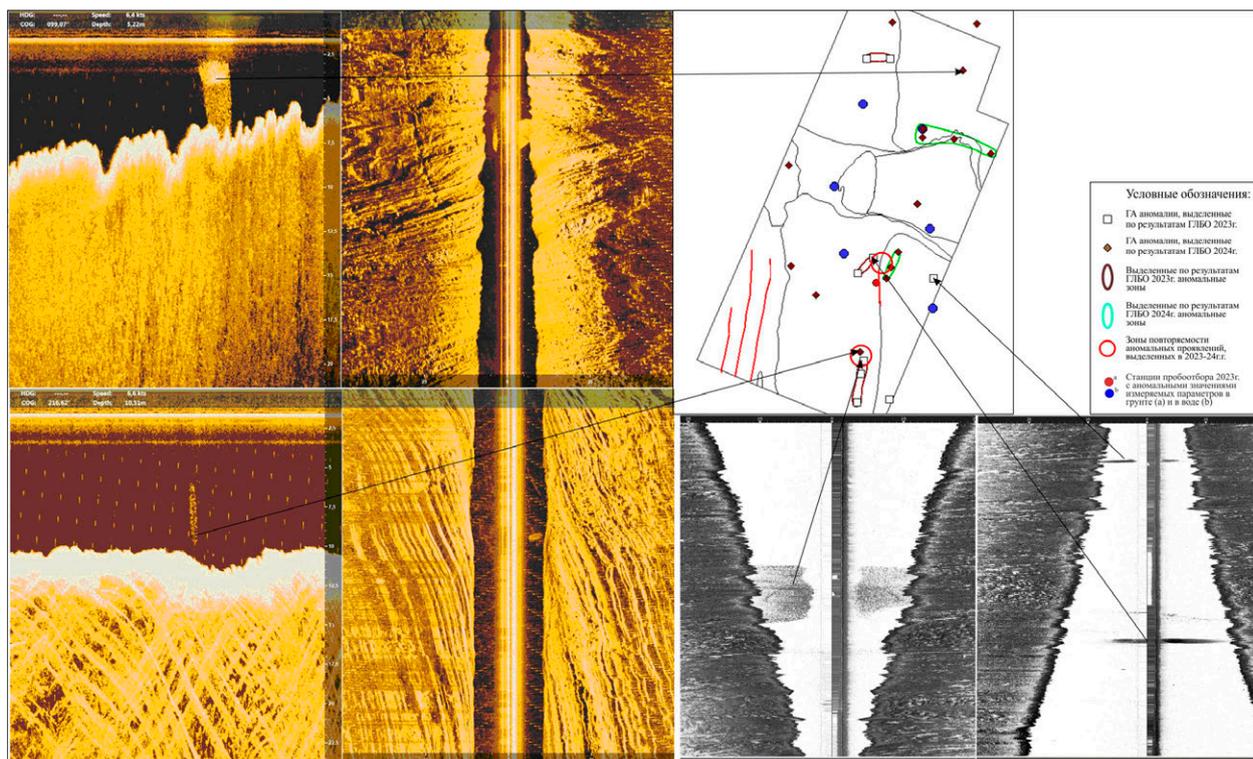


Рис. 3.10. Распределение зон газо-флюидной разгрузки, выделенных по геофизическим данным на участке «Ясноморское» в 2023–2024 годах

3.2. ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОЯВЛЕНИЙ ОПАСНЫХ ЭКЗОГЕННЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ПРИБРЕЖНО-ШЕЛЬФОВОЙ ЗОНЕ ОХОТСКОГО МОРЯ

Ключевой участок «Макаров»

Участок «Макаров» расположен в Охотском море напротив города Макарова, на удалении 0,2 км от берега.

Донная поверхность в районе участка представляет собой полого погружающуюся аккумулятивно-денудационную равнину с уклонами дна 0,6–0,75°, рельеф которой в прибрежной зоне осложнен выходами коренных пород. В 2024 г. литофациальная зональность не изменилась. Четко обозначены две фации: течениевых осадков и нефелоидно-течениевых, распределение которых контролируется батиметрическим фактором. При этом заметно снижение чисто аккумулятивного фактора в центральной части планшета, где, по данным 2022 г., отмечалось увеличение мощности слоя донных грунтов за год до 0,8 м. Изменение мощности осадков приходится в основном на прибрежную часть участка, где происходит локальный размыв донной поверхности и заполнение песками возникших при этом депрессий. Толщина накапливающихся отложений при этом не превышает 0,5 м. Из ОЭГП можно отметить только редкие выходы газов на дно моря (рис. 3.11).

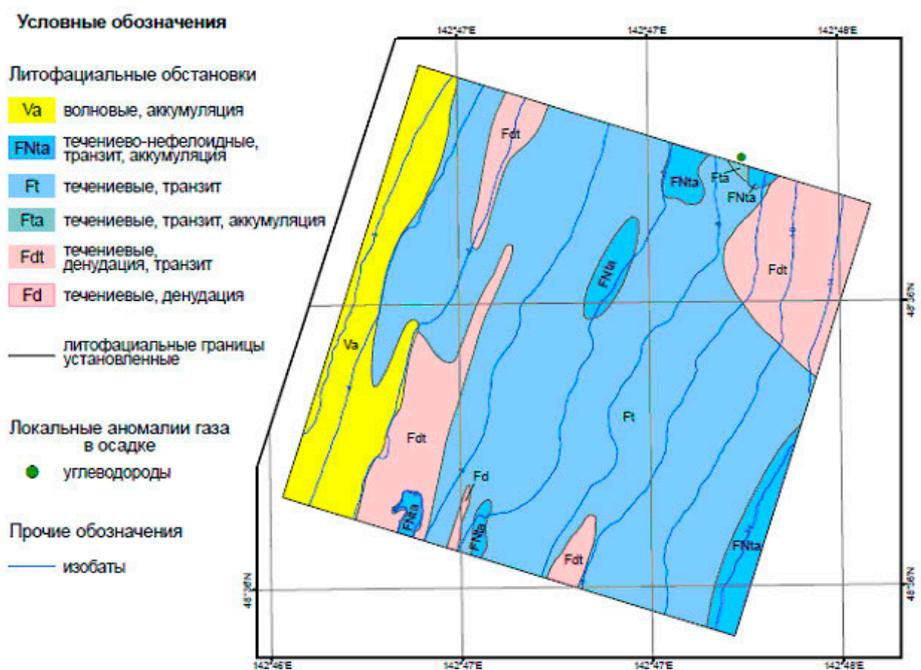


Рис. 3.11. Карта проявлений опасных экзогенных геологических процессов участка «Макаров»

Ключевой участок «Восточное»

Участок «Восточное» расположен в заливе Терпения Охотского моря, напротив поселка Восточное. Берег в районе участка выровненный, абразионно-аккумулятивный с преобладанием процессов абразии. В северной части береговая линия образует неглубокую бухту с аккумулятивным берегом, в центре которой — устье реки с хорошо выраженными косами.

Строение рельефа сложное. Крутой, с уклонами донной поверхности 5–8% и с многочисленными уступами, подводный береговой склон мористее сменяется пологонаклонной равниной с уклонами 0–0,7%, поверхность которой осложнена серией гряд коренных пород меридионального, параллельно береговой линии, простирания. Состав осадков разнообразен. Выходы коренных пород, как правило, контролируются валунно-галечными отложениями, которые сменяют крупнозернистые пески. Большую часть участка занимают разнозернистые пески. Во впадинах рельефа подножия подводного берегового склона, очевидно как результат воздействия литодинамических процессов, наблюдаются скопления пелитовых песков. Вероятно, под влиянием литодинамики и морфологических особенностей донного рельефа создаются предпосылки для развития гравитационных процессов, проявления которых зафиксированы на участке в основаниях уступов высотой около 5 м.

Особое место занимают осадки пелитовой фракции, связанные с грязевым вулканизмом, формирующиеся в ложбинах, приуроченных к основаниям уступов коренных пород береговой зоны и межрядовому пространству на севере участка. Следует отметить, что формирование этих осадков происходит в условиях сильных вдольбереговых течений. Геохимический состав их отражает специфику газогеохимического поля Пугачевского грязевого вулкана, что дает основание предположить на участке его подводное продолжение. Данные ГЛБО позволили выявить мелкие очаги грязевулканических выделений и вдоль подножия подводного берегового склона, сложенного коренными породами.

На участке «Восточное» выделено 14 проявлений гравитационных (склоновых) процессов. Они локализуются в северной части участка и приурочены к подножиям подводных гряд и уступов, пространственная ориентация которых предопределена серией тектонических нарушений меридионального направления (рис. 3.12, 3.13). Возросшее, по сравнению с предыдущими годами исследований, количество проявлений склоновых процессов с большой вероятностью связано с увеличением сейсмической активности в регионе и, в частности, на Камчатке, где летом 2024 г. магнитуда землетрясений достигала 7,0 баллов.

На сонограммах и эхограммах проявления гравитационных процессов фиксируются в виде обвалов и осыпей, которые представляет собой коллювий, высота которого составляет 3–5 м, а диаметр основания не превышает 10 м, что создает максимальный объем обвално-осыпного материала в 250 м³.

В большинстве случаев проявления гравитационных процессов, выделенных по результатам ГЛБО и приуроченных к донным поднятиям, совпадают с областями аккумуляции донных отложений, выявленных в результате сравнения данных высокоточных батиметрических съемок, выполненных в 2023 и 2024 гг. (см. рис. 3.12). В районах с выположенной донной поверхностью локальные накопления донных осадков могут быть связаны с особенностями литодинамических процессов.

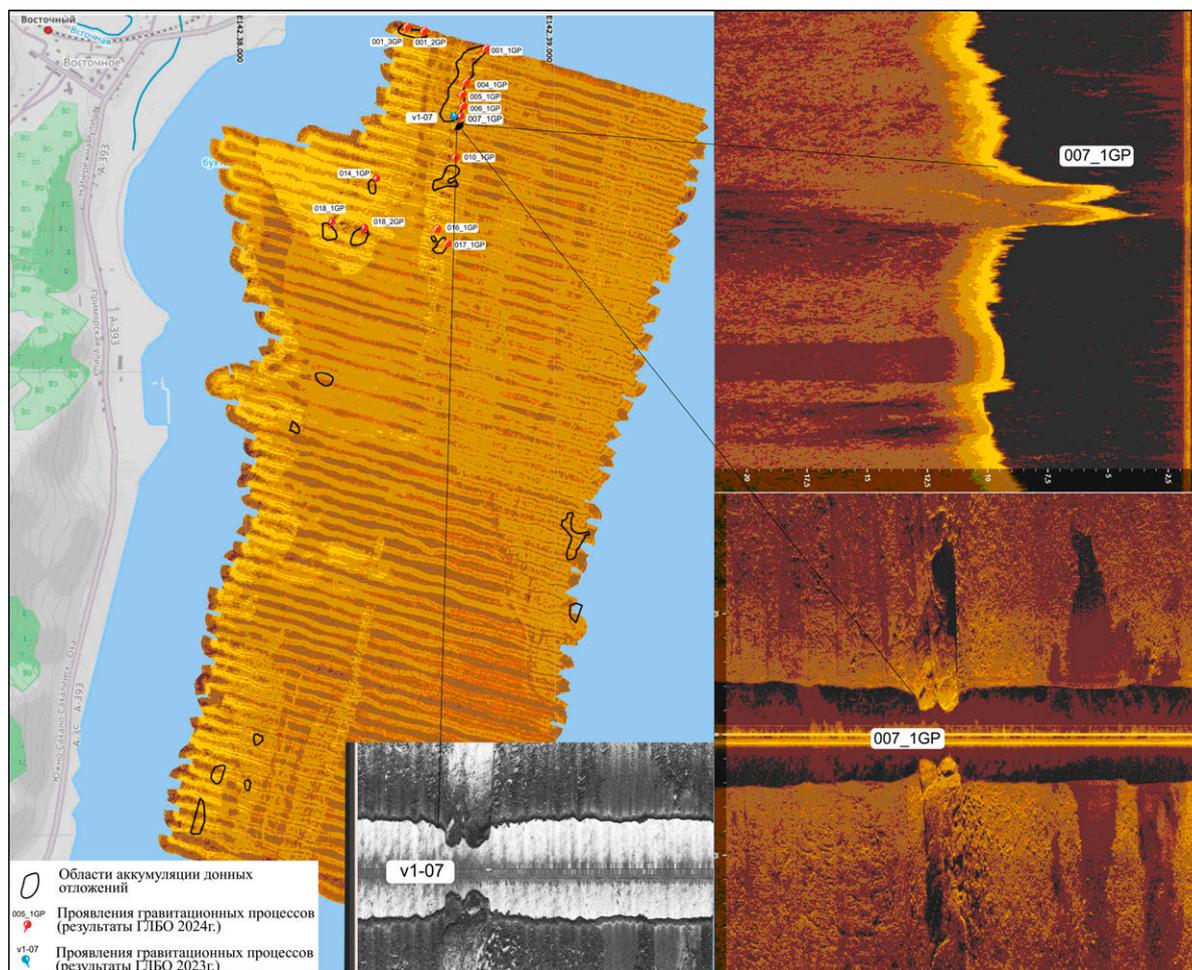


Рис. 3.12. Районы проявления гравитационных процессов на мозаике гидролокации бокового обзора и их отображение на сонограммах по профилям v1-07 (2023 г.) и 007_1GP (2024 г.). Участок «Восточное»

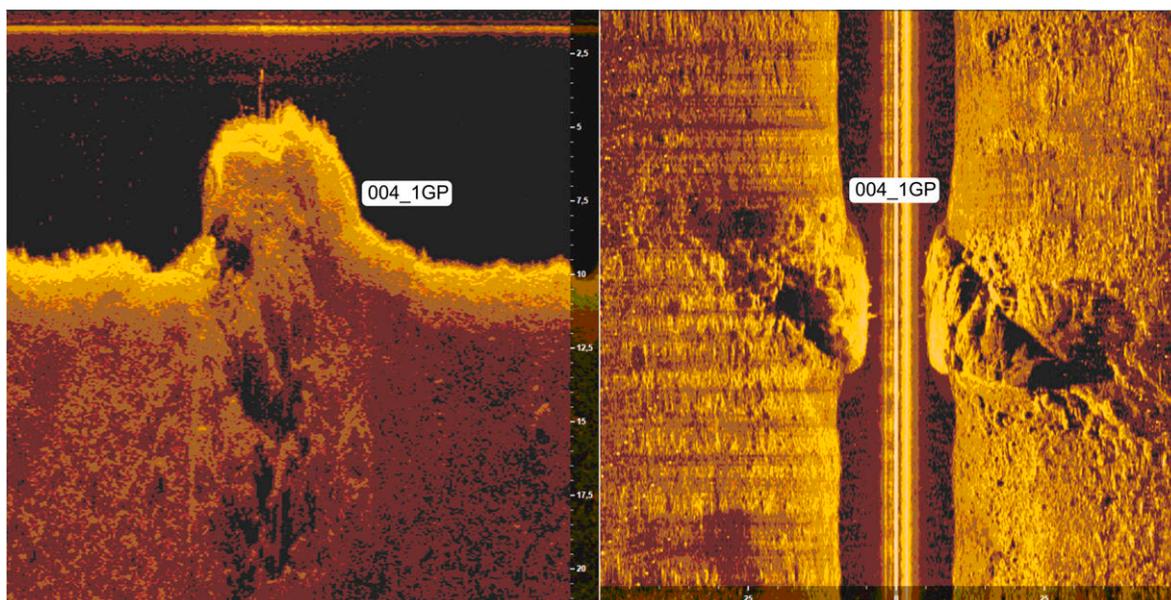


Рис. 3.13. Отображение гравитационных процессов на сонограмме гидролокации бокового обзора по профилю 004_1GP. Участок «Восточное»

Следует отметить, что при визуальном сравнении проявлений гравитационных процессов на сонограммах, полученных в 2023 и 2024 гг. в одних и тех же точках, заметных изменений в их геометрических параметрах не наблюдается (см. рис. 3.12)

Распределение ГАА имеет как точечный, так и площадной характер.

На участке «Восточное» число выделенных в 2023 г. ГАА составило 54 проявления, которые образуют 11 аномальных зон с плотностью распространения от 100 до 2500 проявлений на квадратный километр (рис. 3.14). Контуры зон, как правило, хорошо согласуются с подстилающим рельефом. Наиболее насыщенная по количеству и плотности проявлений зона расположена в северной, прибрежной части участка, имеет вытянутую, согласную с рельефом донной поверхности форму и практически полностью совпадает с областью развития осадков пелитовой фракции, которая формируется в основании уступов коренных пород. Практически на всей протяженности зону составляют аномальные проявления, выраженные на сонограммах непрерывными полосами точечного крапа переменной плотности, достигающие ширины более 100 м. На эту зону приходится максимальное на участке количество точек пробоотбора с аномальными значениями содержания углеводородов как в воде, так и в осадках.

Аналогичная по форме, пространственному положению, отображению аномальных проявлений на сонограммах зона выделена на основании результатов ГЛБО, полученных в 2024 г., что указывает на стабильность процесса ее формирования в этой части участка (см. рис. 3.14).

Количество ГАА, зафиксированных по результатам работ ГЛБО, проведенных в 2024 г., составило 84 проявления, что в 1,5 раза больше, чем выделено по результатам работ 2023 г. 84 аномалии формируют 18 аномальных зон с плотностью распространения от 120 до 1400 проявлений на квадратный километр. В прибрежной части участка наблюдается практически полное или частичное их перекрытие с результатами предыдущего года, образуя с ними 18 зон повторяемости аномальных проявлений и указывая на стабильность процесса газовой-жидкой разгрузки в них. Мористее расположение аномальных зон 2024 г. носит более обособленный характер, увеличивая общую площадь их распространения и указывая на возросшую интенсивность процесса дегазации осадков на участке в сравнении с 2023 г.

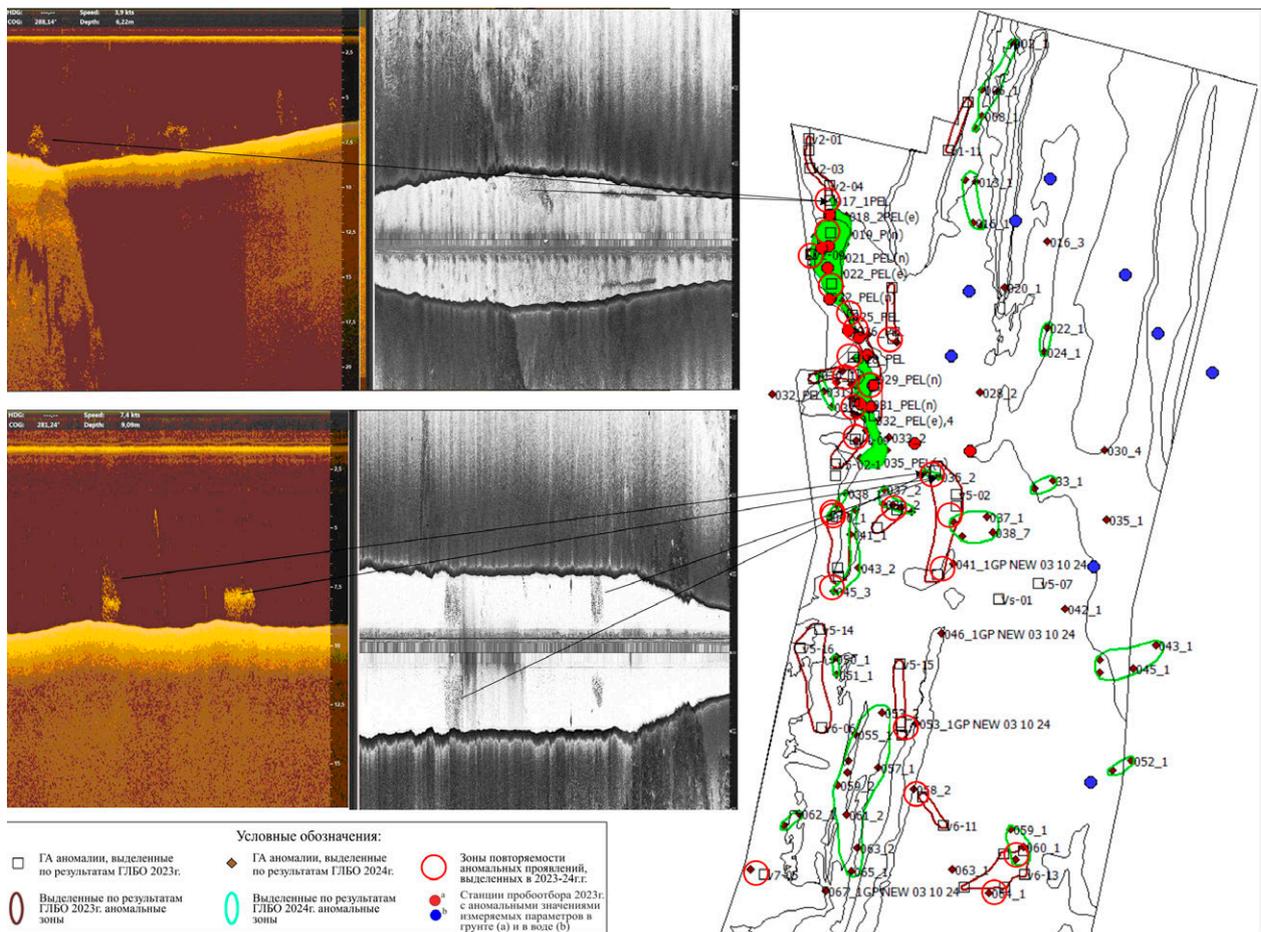


Рис. 3.14. Распределение зон газо-флюидной разгрузки, выделенных по геофизическим данным на участке «Восточное» в 2023–2024 годах

Из всего количества зон, выделенных за период 2022-2023 гг., особое место занимает вытянутая в меридиональном направлении зона их проявления длиной около 800 м, которая локализуется на северо-западе планшета в районе развития пелитовых осадков, связанных с проявлениями грязевого вулканизма. На сонограммах ГАА здесь отображаются в виде непрерывной полосы точечного крапа переменной плотности.

На эту зону приходится 15 точек пробоотбора с аномальными значениями содержания углеводородов как в воде, так и в осадках (рис. 3.15). Отчетливо прослеживается резкая активизация грязевулканического процесса на момент производства измерений.

Значительную роль в качестве ОЭГП играют и литодинамические процессы, в частности размыв в зоне разрушения волн. Этот участок прибрежного шельфа должен быть полностью исключен из проектов строительства любых инженерных объектов. Опасная зона четко прослеживается по серии линейных объектов, вытянутых вдоль берега.

Таким образом, к числу потенциально опасных геологических процессов на ключевом участке «Восточное» (см. рис. 3.15) можно отнести гравитационные (преимущественно оползневые и оплывание) процессы, интенсивные литодинамические перемещения наносов, следствием которых может явиться как засыпание инженерных объектов, так и возникновение размыва вокруг них; газо-флюидную разгрузку, связанную с грязевым вулкана-низмом.

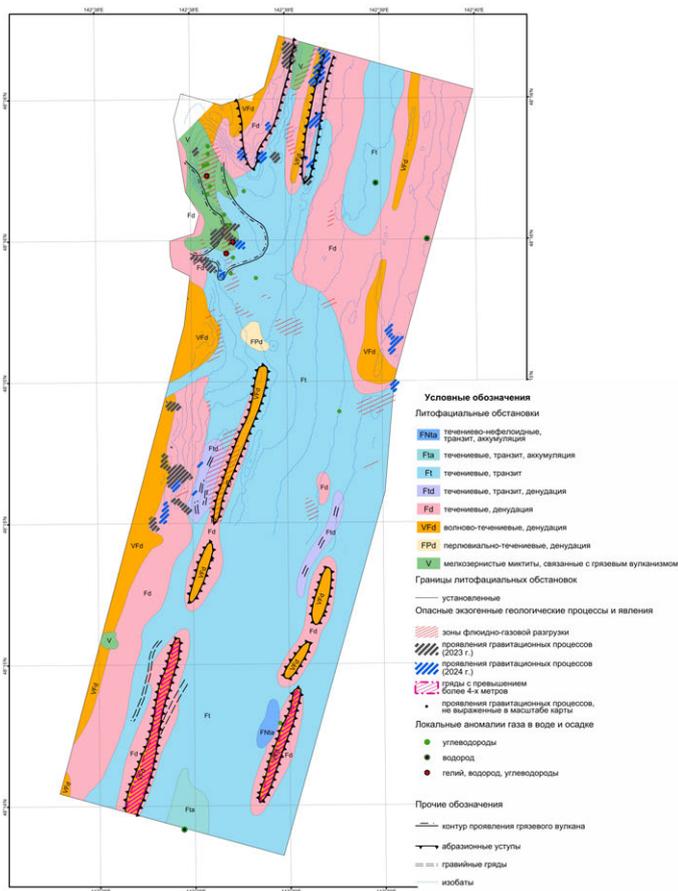


Рис. 3.15. Карта опасных экзогенных геологических процессов участка «Восточное»

Ключевой участок «Взморье»

Участок «Взморье» находится на западном берегу залива Терпения к югу от одноименного поселка (см. рис. 2.1). Берег ровный, аккумулятивный. Вдоль всего берега протягивается полоса пляжа шириной от 35 до 55 м, в тылу которого находится террасовидный уступ, представляющий отмерший клиф.

Рельеф дна ключевого участка представляет собой плоскую, полого наклоненную равнину в пределах изобат 4–12 м.

На фоне плоского рельефа несколько возрастают углы наклона, начиная с изобаты 6 м, которая практически представляет собой подножие подводного берегового склона. Сквозь, вероятно, не очень мощный покров осадков просматриваются отдельные небольшие гряды, сложенные коренными породами. На фоне совершенно ровной, полого падающей в сторону увеличения глубин равнины в восточной части выделяется рытвина, которая, возможно, связана с вершиной каньона.

Небольшие гряды коренных пород длиной от 50 до 250 м и северо-восточной направленности отмечены в юго-восточной части участка.

Основным ОЭГП является газо-флюидная разгрузка (рис. 3.16).

В 2023 г. на участке «Взморье» выявлена 101 ГАА. С учетом степени взаимной удаленности аномалий, рельефа донной поверхности и состава донных осадков по результатам работ 2023 г. выделено 8 аномальных зон. Плотность распространения аномалий в зонах составляет от 100 до 700 проявлений на квадратный километр. В прибрежной части участка форма зон линейная, хорошо согласующаяся с батиметрией, мористее размеры их более крупные, а форма более изометрична.

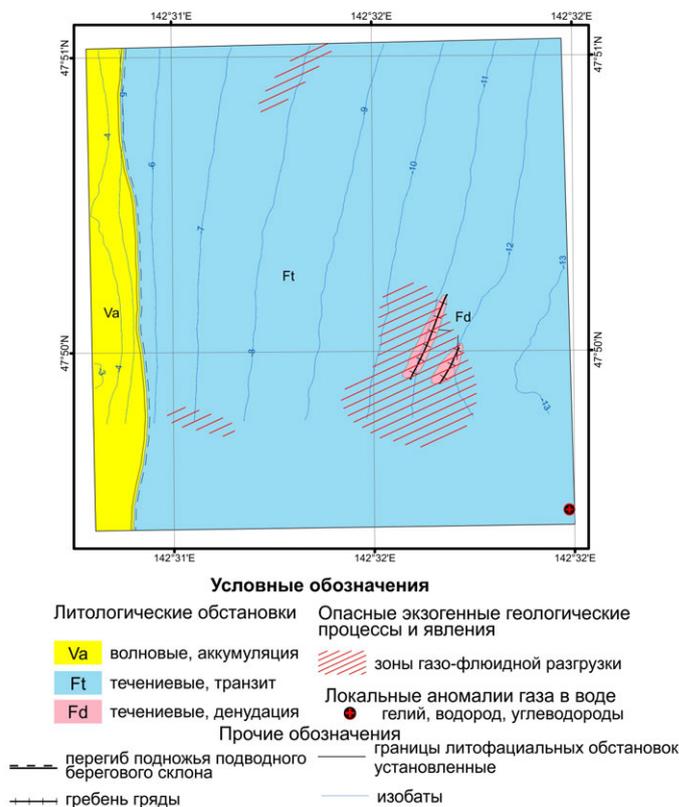


Рис. 3.16. Карта проявлений опасных экзогенных геологических процессов участка «Взморье»

Отмеченная в 2024 г. 21 ГАА формирует лишь 3 аномальные зоны с плотностью распространения от 70 до 220 проявлений на квадратный километр, которые частично или полностью совпадают с зонами, оконтуренными ранее (рис. 3.17). В девяти случаях наблюдается повторяемость аномальных проявлений, выделенных в разные годы, указывая на стабильность процессов газо-флюидной разгрузки (см. рис. 3.17).

По всей видимости, уменьшение количества ГАА, отмеченных в 2024 г., в пять раз свидетельствует о падении газовой разгрузки на участке «Взморье».

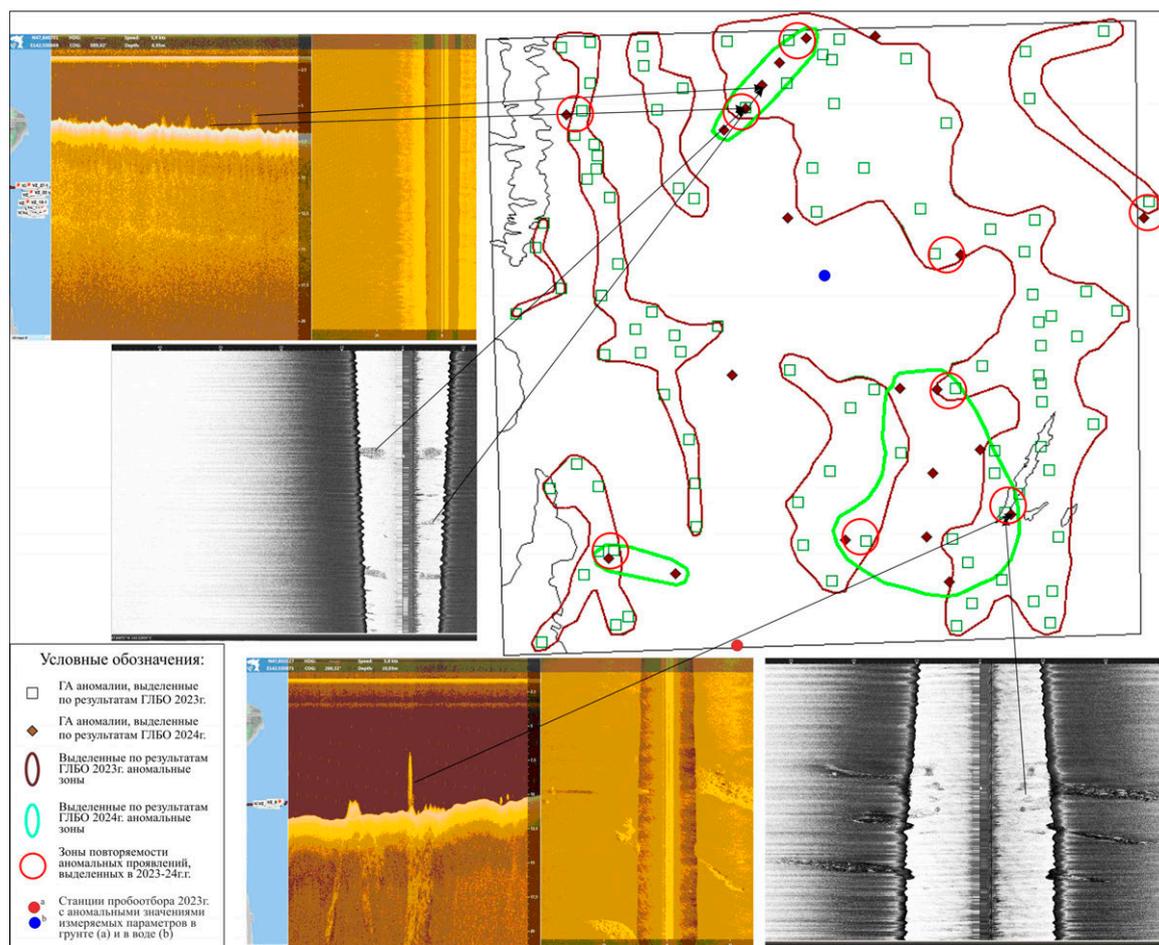


Рис. 3.17. Распределение зон газо-флюидной разгрузки, выделенных по геофизическим данным на участке «Взморье» в 2023–2024 годах

Ключевой участок «Охотское»

Участок «Охотское» находится в заливе Мордвинова Охотского моря, на расстоянии 2,4 км от устья пролива Красноармеец. Берег на траверзе участка аккумулятивный, представлен пляжем полного профиля, который примыкает к террасированному низкому берегу. Ширина пляжа составляет от 40 до 60 м.

Рельеф донной поверхности участка «Охотское» сложный. Подводный береговой склон здесь простирается до изобаты 6 м и затем переходит в пологонаклонную равнину, которую мористее сменяет массив коренных пород, образующий серию гряд и уступов широтной направленности.

На участке «Охотское» по результатам работ 2024 г. выделено 4 района проявления гравитационных процессов. Они отмечены в мористой северо-восточной части участка и приурочены к основаниям градиентных форм рельефа, сформированного выходами скальных пород. В районе уступов проявления представлены обвалами коренных пород (рис. 3.18), в западных частях рельефа — оползнями рыхлых осадков (рис. 3.19). При сравнении сонограмм 2023 и 2024 гг., иллюстрирующих эти процессы, изменений в отображении абрисов обвала и оползня не отмечено (см. рис. 3.18, 3.19). Оценочные объемы обвального материала не превышают 125 м³ (см. рис. 3.18), оползневого — 1000 м³ (см. рис. 3.19).

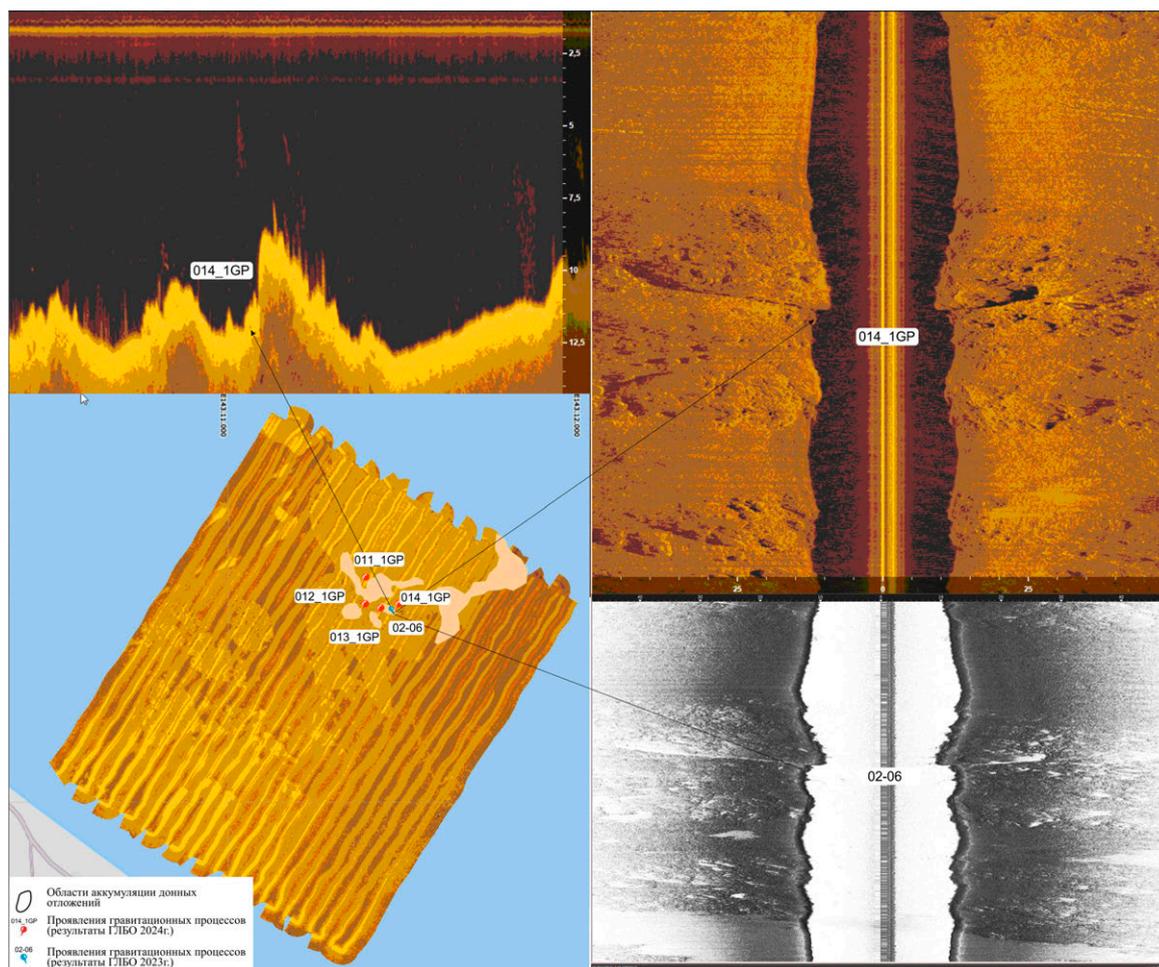


Рис. 3.18. Районы проявления гравитационных процессов на мозаике гидролокации бокового обзора и их отображение на сонограммах по профилям 02-06 (2023 г.) и 014_1GP (2024 г.). Участок «Охотское»

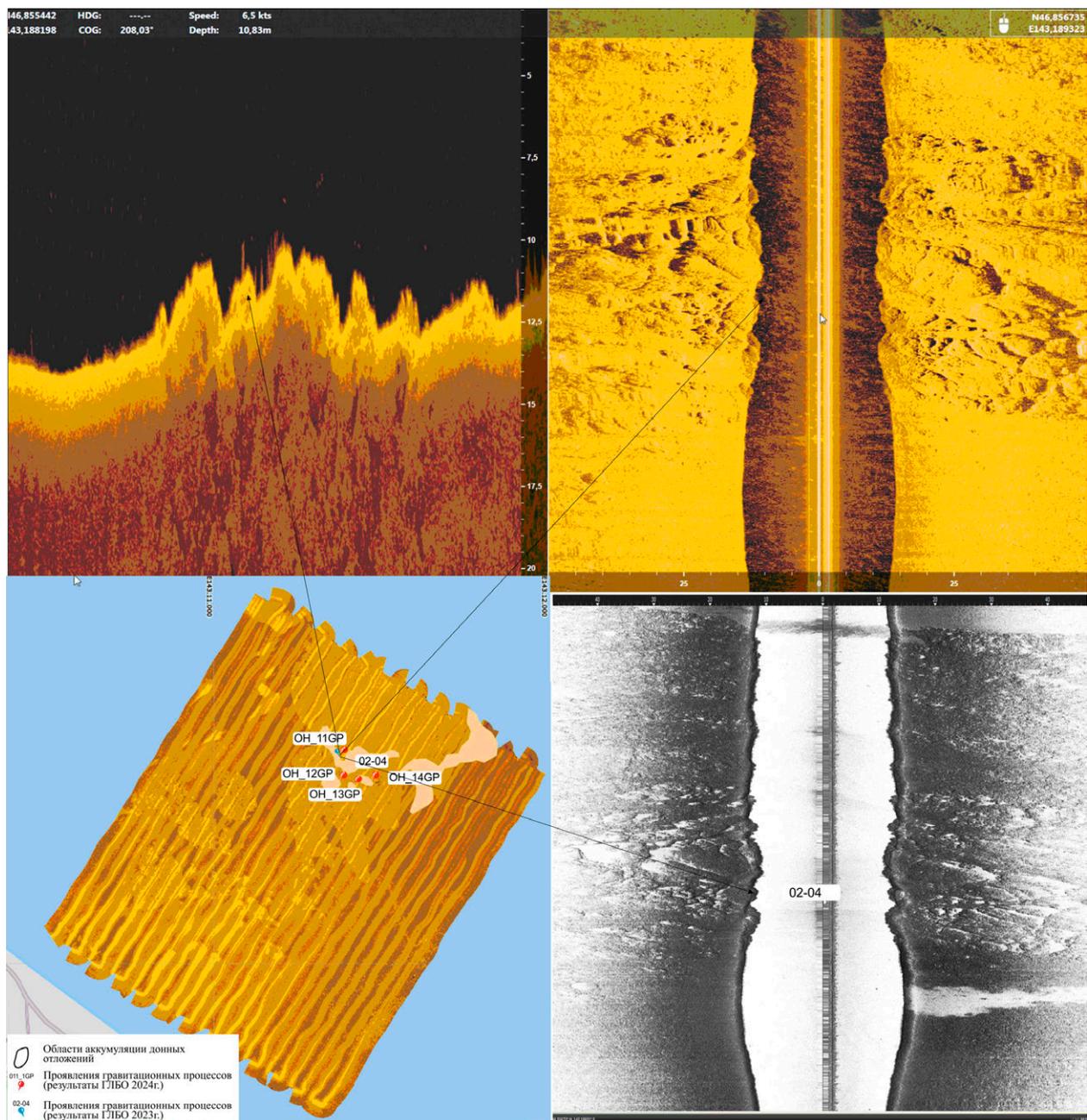


Рис. 3.19. Районы проявления гравитационных процессов на мозаике гидролокации бокового обзора и их отображение на сонограммах по профилям 02-04 (2023 г.) и 011_1GP (2024 г.). Участок «Охотское»

Наблюдается частичное совпадение областей аккумуляции донных отложений, выделенных при сравнении батиметрических данных 2023 и 2024 гг., с районами проявления склоновых процессов (см. рис. 3.18, 3.19). Очевидно, что обособленная область аккумуляции осадков в восточной части участка «Охотское» образована исключительно под воздействием литодинамических процессов и отражает их особенности.

Сложное строение донного рельефа предопределило и пеструю картину в распределении донных осадков, представленную на литологической схеме. Большую часть акватории занимают пески. Весьма распространены и грубые осадки, которые, очевидно, формировались под воздействием интенсивных литодинамических процессов и, как правило, приурочены к выходам коренных пород.

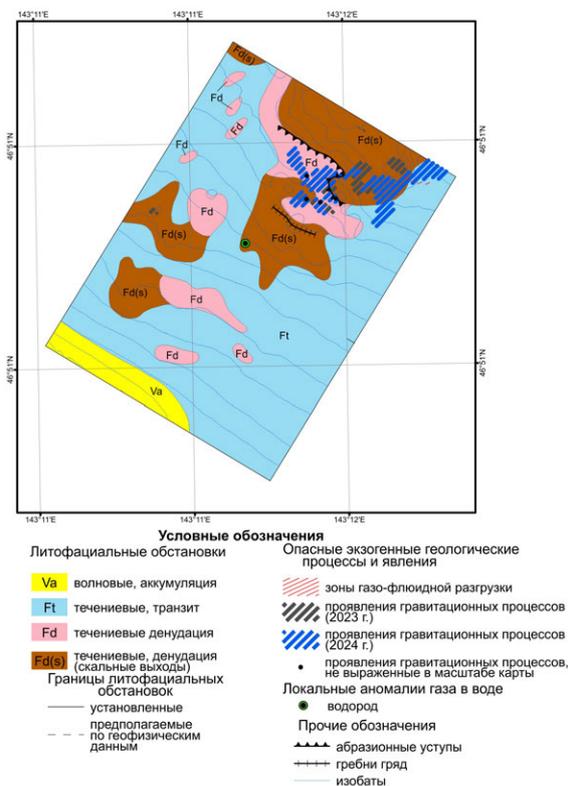


Рис. 3.20. Карта проявлений опасных экзогенных геологических процессов участка «Охотское»

Уступы высотой до 6 м с учетом интенсивного воздействия литодинамики создают благоприятную обстановку для развития в их пределах гравитационных процессов. Проявление последних в виде оползней высотой около 1–1,5 м и протяженностью в основании около 15 м фиксируется в северо-восточной части участка (рис. 3.20).

Аномальные проявления по работам 2023 г. на участке «Охотское» представлены 4 аномалиями, 2 из которых формируют небольшую аномальную зону с плотностью 1000 проявлений на квадратный километр (рис. 3.21). В результате работ 2024 г. выделено 9 аномальных проявлений, 5 из которых составили 2 аномальные зоны. Две станции пробобора с аномальными значениями

измеряемых параметров в воде находятся в непосредственной близости от аномальных проявлений и могут соответствовать им. Небольшое общее число выделенных аномалий и небольшие количественные изменения в выделенных за два года аномалиях могут указывать на тенденцию к росту интенсивности газовой разгрузки на участке.

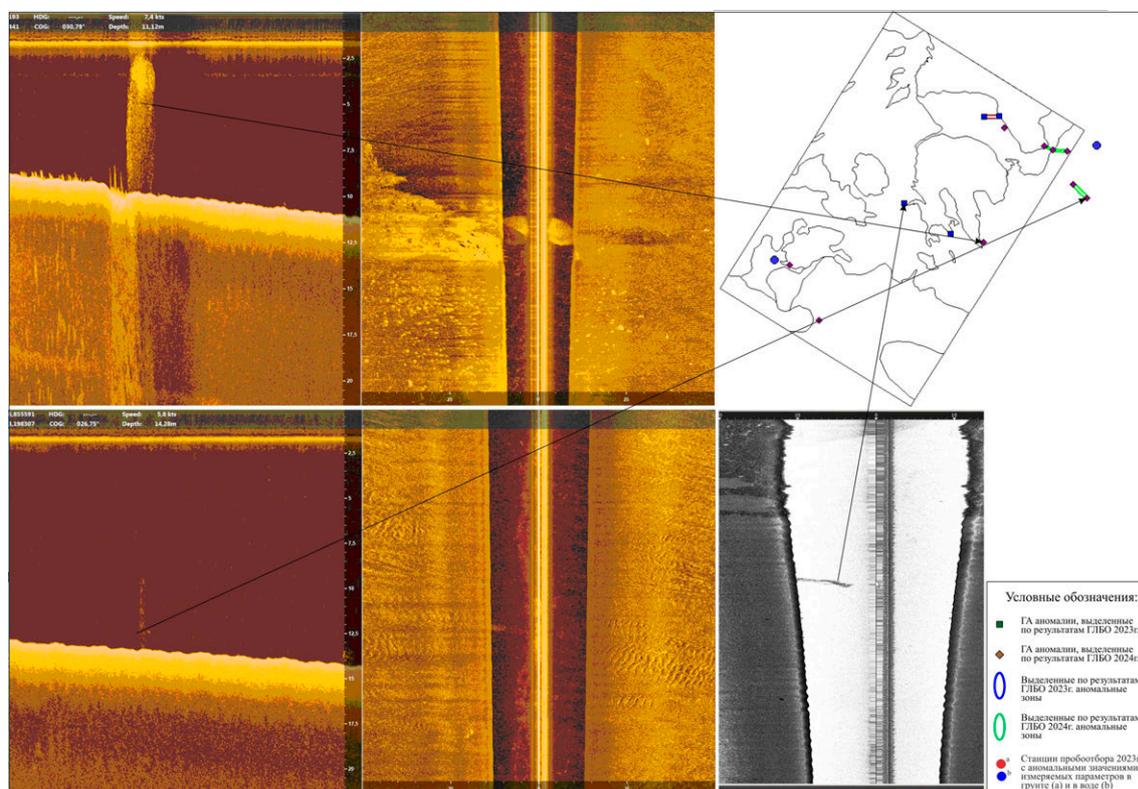


Рис. 3.21. Распределение зон газо-флюидной разгрузки, выделенных по геофизическим данным на участке «Охотское» в 2023–2024 годах

Ключевой участок «Пригородное»

Участок «Пригородное» находится в непосредственной близости от порта Корсаков, к востоку от него (см. рис. 2.1). Береговая зона на данном участке носит абразионный характер, где средневысокие горы непосредственно подходят к береговой черте. Здесь развиты обвально-осыпные процессы. Вдоль берега развит скальный бенч.

Рельеф морского дна имеет сложный характер. На каркасной модели рельефа донной поверхности четко выделяются две зоны: прибрежная, характеризующаяся сложным очертанием изолиний рельефа с просматривающимся северо-восточным простиранием линейных объектов, и, мористее, пологонаклонная равнина с уклонами дна 0,5–0,7%, выраженная изобатами, параллельными современной береговой линии.

Граница между этими районами очень резкая, имеет линейный характер, что наводит на мысль о наличии здесь активизированного в четвертичное время разлома. При этом в юго-восточном углу планшета отчетливо видно небольшое поднятие.

В процессе проведения геолого-геофизических исследований на участке Пригородное очень часто отмечались газовые факелы, что свидетельствует об активизации процессов газо-флюидной разгрузки (рис. 3.22).

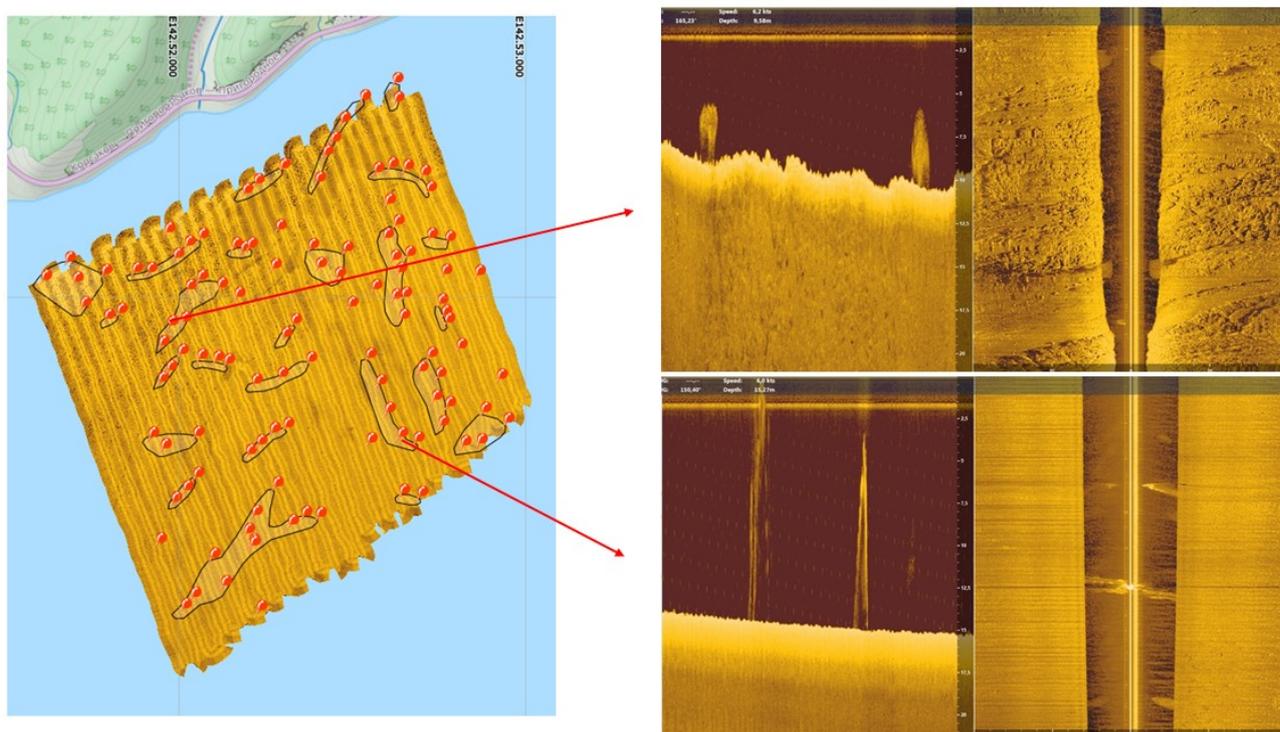


Рис. 3.22. Эхограмма и акустическая фотография морского дна с отображением газовых факелов, участок Пригородное. Красными точками отмечены гидроакустические аномалии

На участке «Пригородное» по работам, выполненным в 2023 г., отмечено 17 ГАА, расположенных исключительно в прибрежной его части и составляющих 5 аномальных зон с плотностью распространения от 250 до 1000 проявлений на квадратный километр. Одна из них почти полностью и три частично перекрываются зонами, выделенными по результатам работ 2024 г. (рис. 3.23).

В результате исследований, выполненных в 2024 г., выделено 123 аномалии, которые достаточно равномерно распределены по участку исследований и образуют 27 аномальных зон с плотностью распространения от 250 до 1500 проявлений на квадратный километр. Перекрытие их с аналогичными, выделенными по результатам работ 2023 г., образуют 8 зон повторяемости аномальных проявлений (рис. 3.23). Таким образом, в сравнении с предыдущим годом количество аномальных проявлений выросло в 7 раз, указывая тем самым на значительно возросшую интенсивность процессов газовой-флюидной разгрузки на участке «Пригородное».

Результаты ГЛБО и эхолотирования подчеркивают линейность в строении и северо-восточную направленность форм донных образований этой части участка. Эти же исследования позволили выделить серию уступов северо-восточного простирания высотой до 5 м, выполненных коренными породами, где существует благоприятная обстановка для развития гравитационных процессов.

Сложный характер рельефа, во многом контролируемый структурными грядками, приводит к тому, что мощность донных отложений на этом участке не испытывает заметных колебаний. Это хорошо видно при сопоставлении данных эхолотного промера.

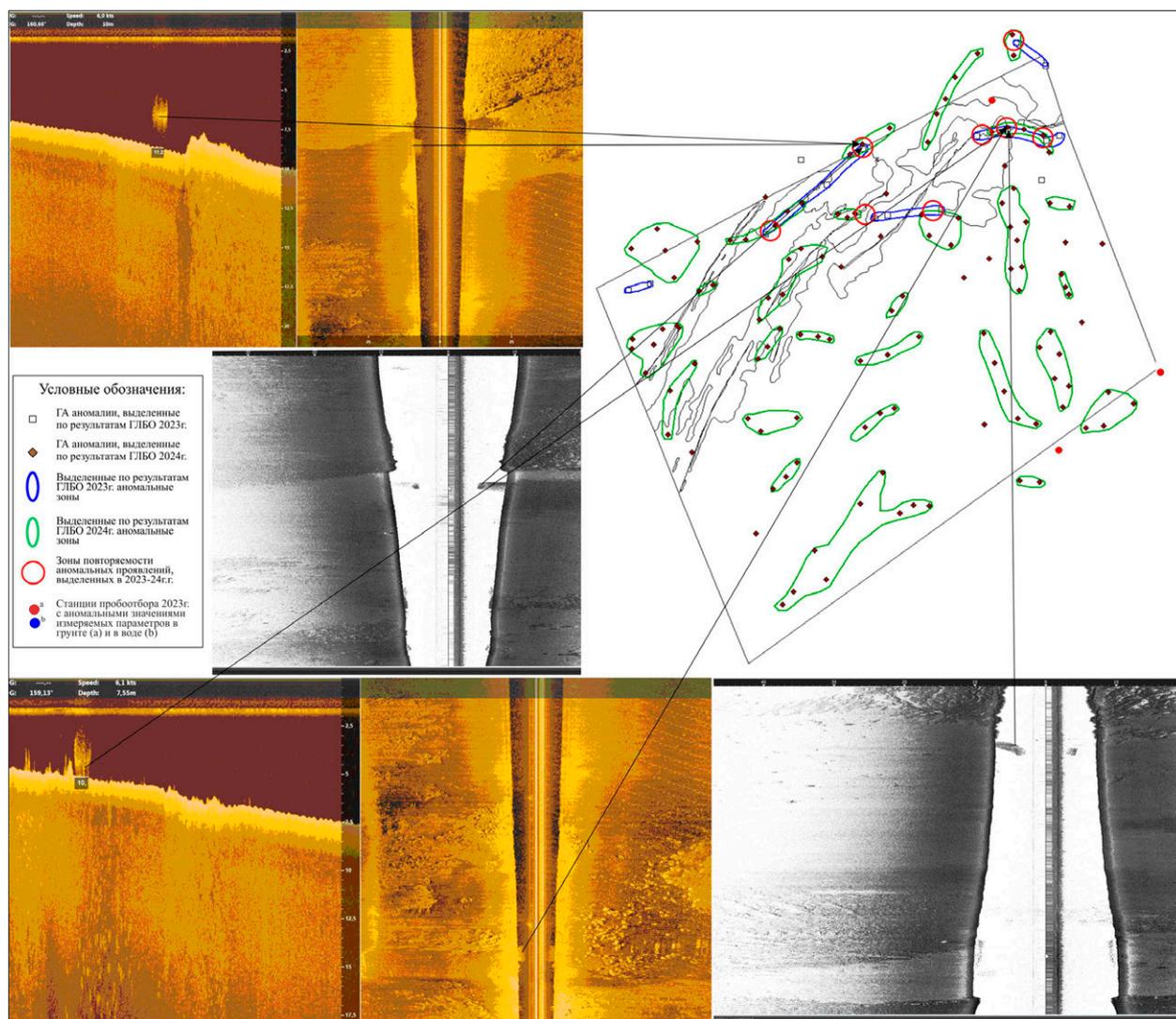


Рис. 3.23. Распределение зон газовой-флюидной разгрузки, выделенных по геофизическим данным на участке «Пригородное» в 2023–2024 годах

Фациальная зональность определяется структурными грядами в северной части участка. В межгрядовом пространстве выделяются фации: течениевая транзитная в северо-восточном углу планшета и течениевая денудационная к юго-западу от нее. Вся южная слабо наклоненная равнина относится к фациальной зоне течениевой денудации при ограниченном развитии процессов перемещения обломочного материала.

Основными опасными геологическими процессами на участке «Пригородное» в 2024 г. были флюидно-газовая разгрузка и литодинамические процессы, ограниченно развиты гравитационные процессы (рис. 3.24). Выявленные газовые аномалии имеют явно наложенный характер и секут как структурные элементы, так и геоморфологические объекты. Возможно, это связано с тем, что интенсивный перенос водных масс в некоторой мере смазал первичную картину распределения газовых факелов.

Из литодинамических процессов наиболее опасным представляются потоки песчаных наносов, в зоне которых возможны размыв дна, заносимость объектов и их интенсивная карразия сольтирующими зернами песчаной размерности.

В целом данный район неблагоприятен для освоения дна любыми видами инфраструктуры.

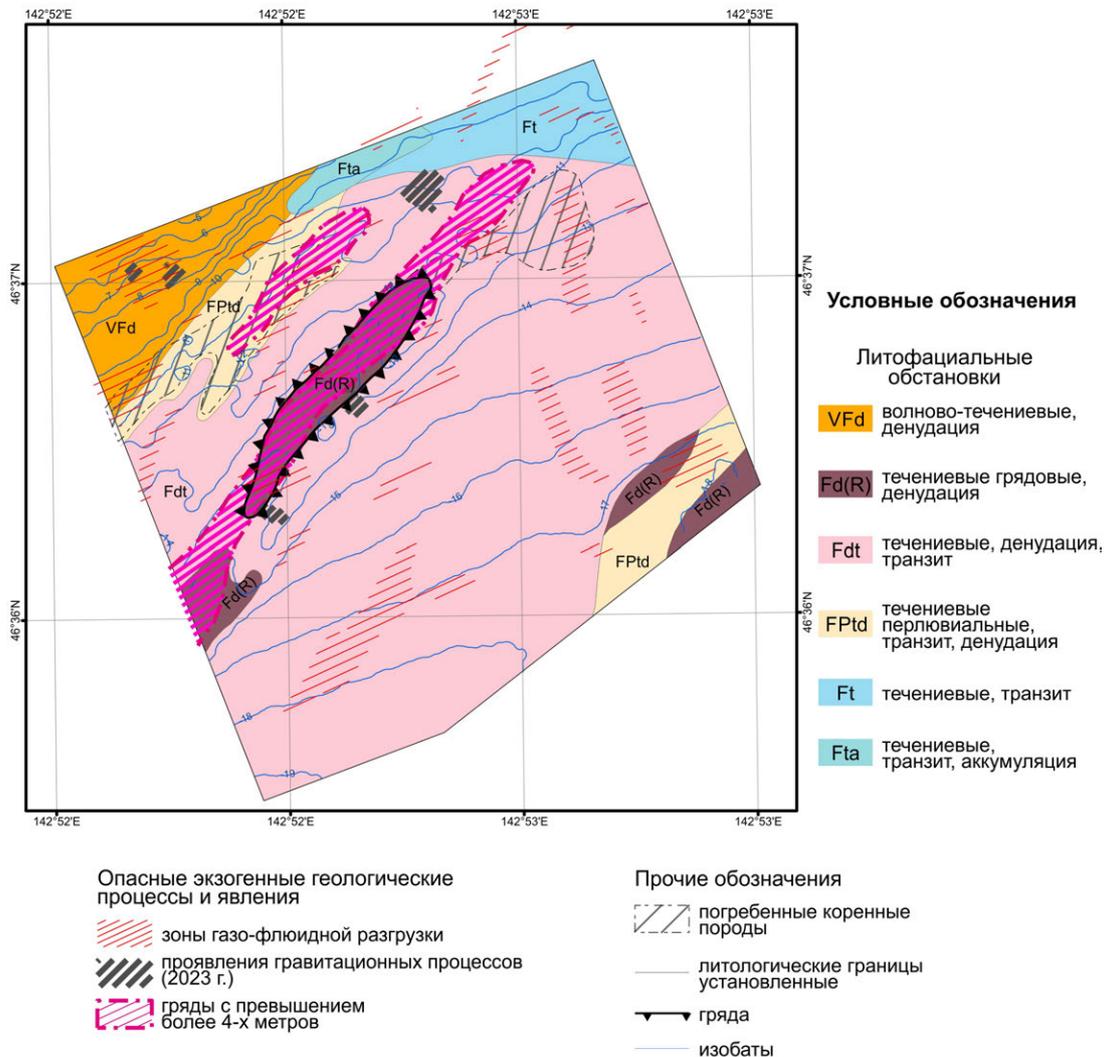


Рис. 3.24. Карта проявлений опасных экзогенных геологических процессов участка «Пригородное»

Ключевой участок «Соловьевка»

Ключевой участок «Соловьевка» находится в кутовой части залива Анива напротив поселка Третья Падь. Берег близ участка абразионный и представляет высокую крутую террасу. Поверхность вдольберегового склона составляет бенч.

Поскольку сам участок находится в пределах изобат 3–5 м, то есть в зоне сугубого мелководья, то практически вся донная поверхность его подвержена волновому воздействию. Также из-за пространственного положения участка большое влияние на формирование осадков оказывает и близость стока реки Соловьевки. Очевидно, что рельеф и состав отложений северной и приближенной к берегу частей донной поверхности участка в большей степени формируют именно стоковые течения, что и обуславливает развитие здесь грубообломочных отложений и коренных пород. Рельеф и состав осадков остальной части участка, очевидно в большей степени, подвержен волновому воздействию, и донные отложения представлены разнозернистыми песками, причем тонкозернистая их составляющая может поступать сюда с твердым стоком.

Поля мелкозернистого песка в северо-восточном углу планшета отнесены нами к течению транзиту, хотя и влияние волнения здесь нельзя отрицать. В северо-западном углу планшета располагается мелкое поле зоны подводной эрозии (денудации), в результате чего на поверхности залегают несортированные крупно-среднезернистые пески. Большая часть морского дна представляет зону развития нефелоидно-течениевых отложений с переменным развитием транзитных и аккумулятивных процессов. Единственным и существенным дополнением является контур плотного субстрата, установленный по данным ГЛБО. Средняя часть планшета относится к зоне течениевых отложений (транзит, аккумуляция). По флангам участка развиты нефелоидно-течениевые фациальные зоны. На севере, ближе к устью реки, располагается зона течениевых транзитных отложений, формирующих уже, вероятно, более мощный покров динамичных песчаных отложений.

Результаты работ, проведенных в 2023 г. на участке «Соловьевка», представлены 16 ГАА, составивших 3 аномальные зоны с плотностью распространения от 50 до 70 проявлений на квадратный километр (рис. 3.25).

Результаты работ 2024 г. позволили выделить 31 аномалию, из которых было составлено 7 аномальных зон с плотностью распространения от 100 до 800 проявлений на квадратный километр и имеющими одно перекрытие с выделенными ранее. Отмечается 5 зон повторяемости аномальных проявлений, указывая на стабильность процессов дегазации в этих районах. Количественное увеличение аномальных проявлений в 2 раза позволяет говорить о возрастании интенсивности процессов газовой-флюидной разгрузки на участке «Соловьевка» (см. рис. 3.25).

Изложенное позволяет предположить, что главным опасным геологическим процессом (рис. 3.26) здесь являются литодинамические, причем сооружение любых инженерных объектов вызовет не только процессы размыва/аккумуляции у самого сооружения, но и может сказаться на устойчивости прилежащих берегов. Другим опасным геологическим процессом является флюидно-газовая разгрузка. Аномальные содержания углеводородов и гелия в придонной воде и осадке приурочены к зоне влияния крупного регионального тектонического нарушения (см. рис. 2.1, 3.26).

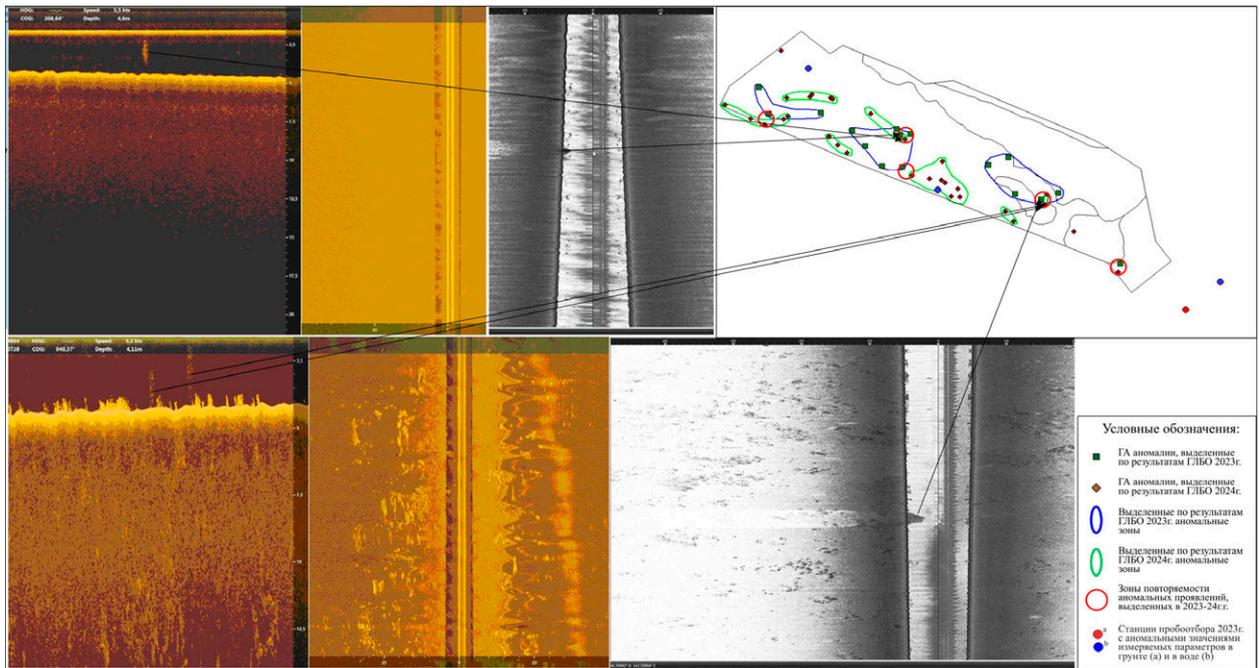


Рис. 3.25. Распределение зон газо-флюидной разгрузки, выделенных по геофизическим данным на участке «Соловьевка» в 2023–2024 годах

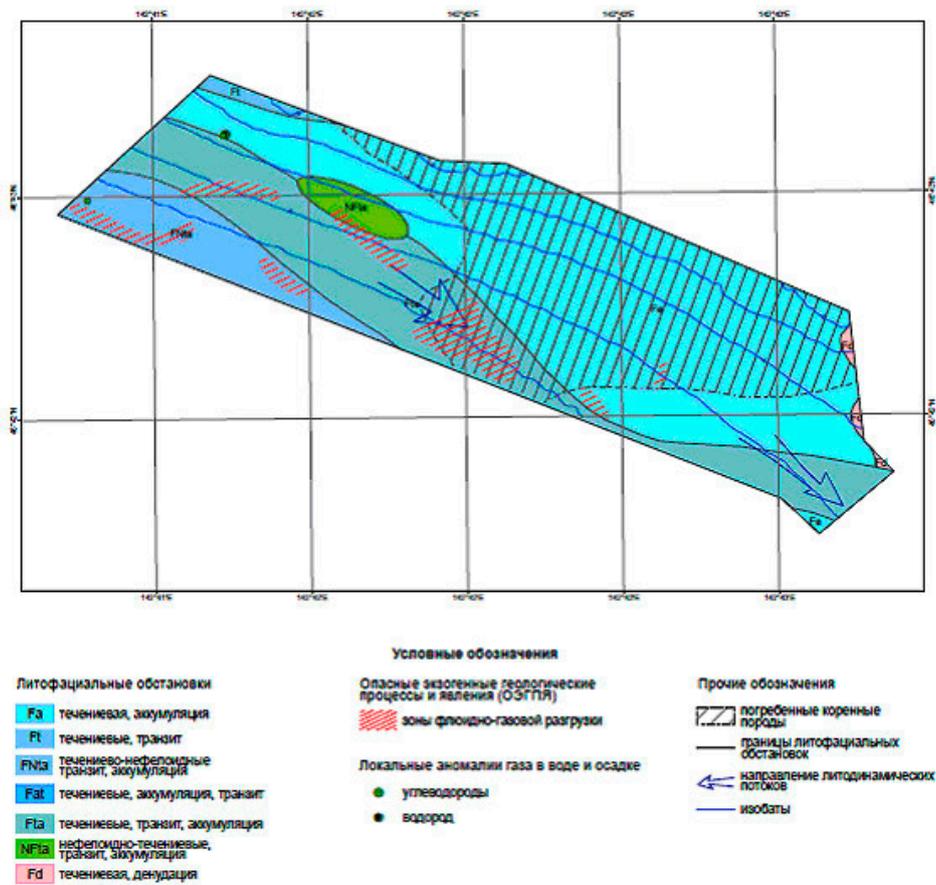


Рис. 3.26. Карта проявлений опасных экзогенных геологических процессов участка «Соловьевка»

Ключевой участок «Таранай»

Участок «Таранай» находится в заливе Анива, напротив северной оконечности одноименного поселка и устья реки Таранай. Береговая зона здесь представлена широким (50–80 м) пляжем полного профиля с авандюнами в его тыловой части. В приустьевой зоне на космоснимке отчетливо просматриваются серии вдольбереговых валов. В приустьевой части реки фиксируется обширная отмель, представляющая собой затопленную часть авандельты. Устье реки отделено от моря длинной косой северо-восточного простирания, что указывает на вдольбереговое перемещение обломочного материала к вершине залива Анива. Таким образом, присутствуют все признаки аккумулятивного побережья.

До глубин 5–6 м, в пределах берегового склона, развита течениево-волновая транзитно-денудационная фациальная зона, внутри которой выделены зоны размываемых вдольбереговых баров. Ближе к нижней части склона усиливаются процессы размыва морского дна и появляются пятна, сложенные крупными несортированными песками с гравием.

По-видимому, здесь мощность осадков уменьшается за счет возрастания турбулентности течений, и в присклоновой части из-под перемещающихся песков начинают «просвечивать» подстилающие образования, вплоть до скальных пород палеогена–неогена, фиксируя участки грядового рельефа.

Сама зона течениевых песков достигает глубин 15 м. Рельеф ее представлен ровной, выположенной поверхностью с уклонами $1,2 \div 1,4$ град.

Повышение в этих песках содержания пелитовой фракции приводит к тому, что эти осадки становятся текучими и представляют собой слабые в геотехническом отношении грунты.

Именно в них и были выявлены основные ГАА, маркирующие выходы газа (рис. 3.27). Характер их распространения по площади указывает на возможное биогенное происхождение этих аномалий.

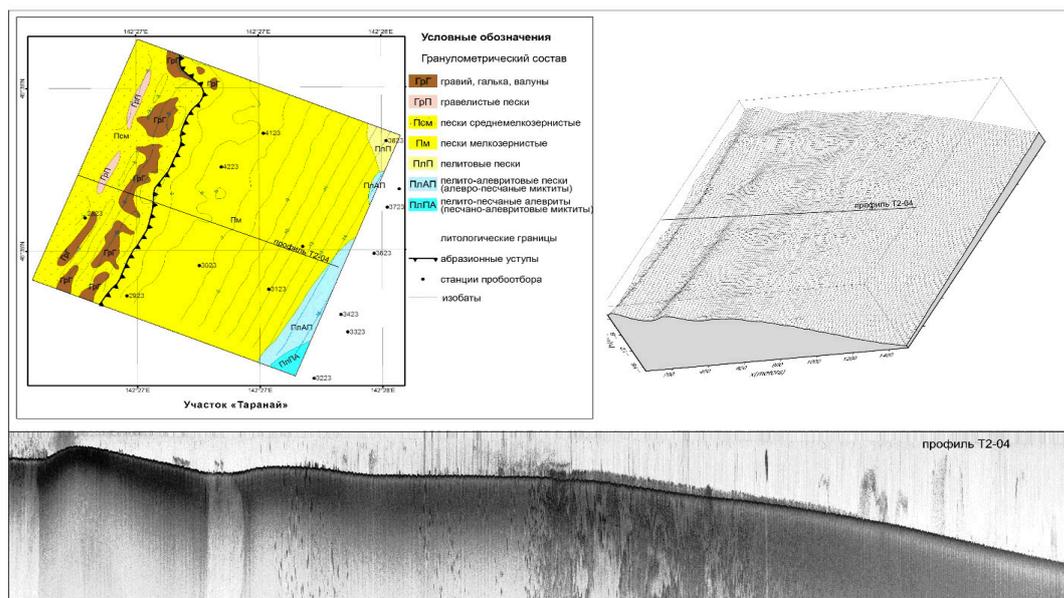


Рис. 3.27. Литологическая карта, каркасная модель рельефа донной поверхности и сонограмма по профилю Т2-04. Участок «Таранай», 2024 год

По результатам работ 2023 г. на участке «Таранай» выделено 8 ГАА, 7 из которых расположены компактно и формируют в южной части участка аномальную зону с плотностью 180 проявлений на квадратный километр (рис. 3.28). Эта же зона включает станцию пробоотбора с аномальными значениями измеряемых параметров в воде. Ровно такое же количество аномалий отмечено и по результатам работ 2024 г. Семь аномалий образуют две зоны с плотностью 200 и 470 проявлений на квадратный километр. Одинаковое количество аномальных проявлений, выделенных в разные года, может указывать на относительную стабильность процессов газовой-флюидной разгрузки на участке «Таранай».

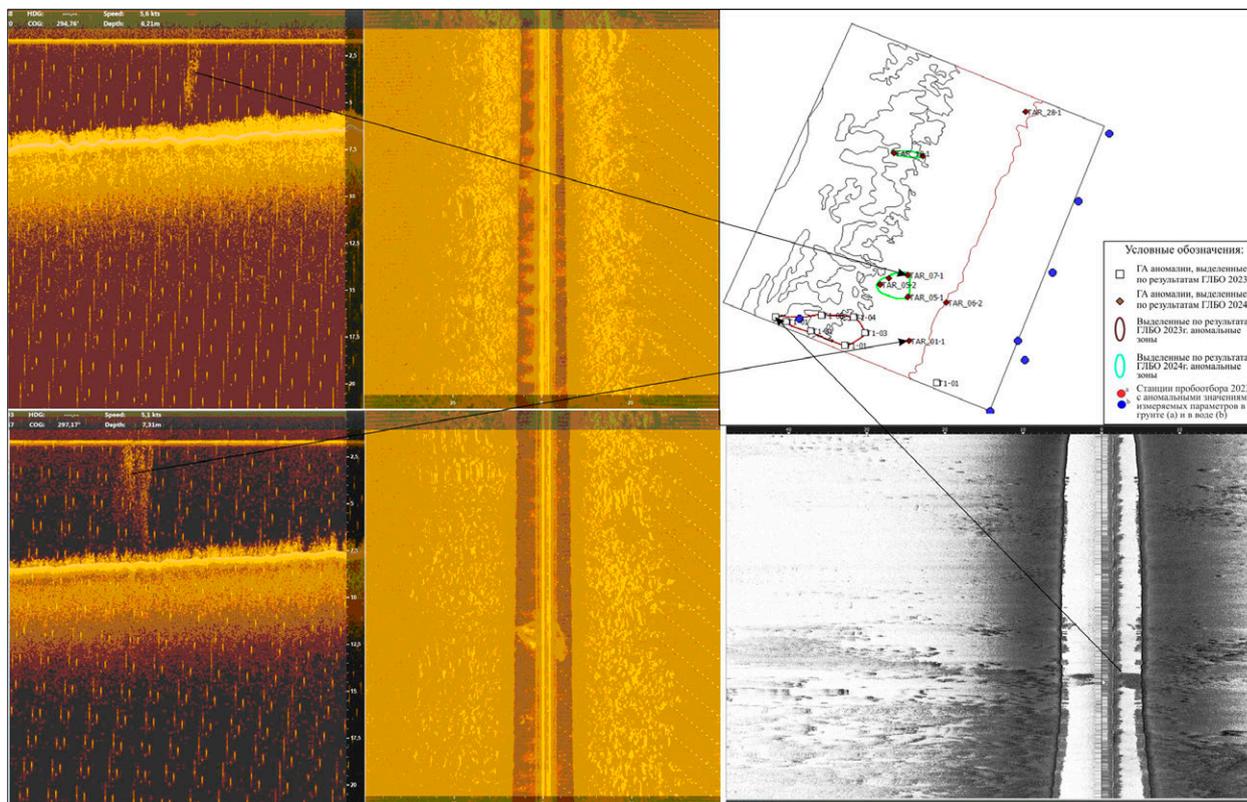


Рис. 3.28. Распределение зон газовой-флюидной разгрузки, выделенных по геофизическим данным на участке «Таранай» в 2023–2024 годах

Зона нефелоидно-течениевых отложений сместилась на более низкие батиметрические уровни, что указывает, вероятно, на усиление интенсивности течениевых процессов в 2024 г. по отношению к 2023 г.

В целом же с точки зрения литодинамических процессов участок «Таранай» входит в состав аккумулятивных береговых зон с циклическим изменением интенсивности лито-гидродинамических процессов. Соответственно, опасные геологические процессы на этом участке достаточно ограничены и могут быть связаны с усилением процессов размыва в случае нарушения природных седиментологических потоков и с процессами флюидно-газовой разгрузки (рис. 3.29).

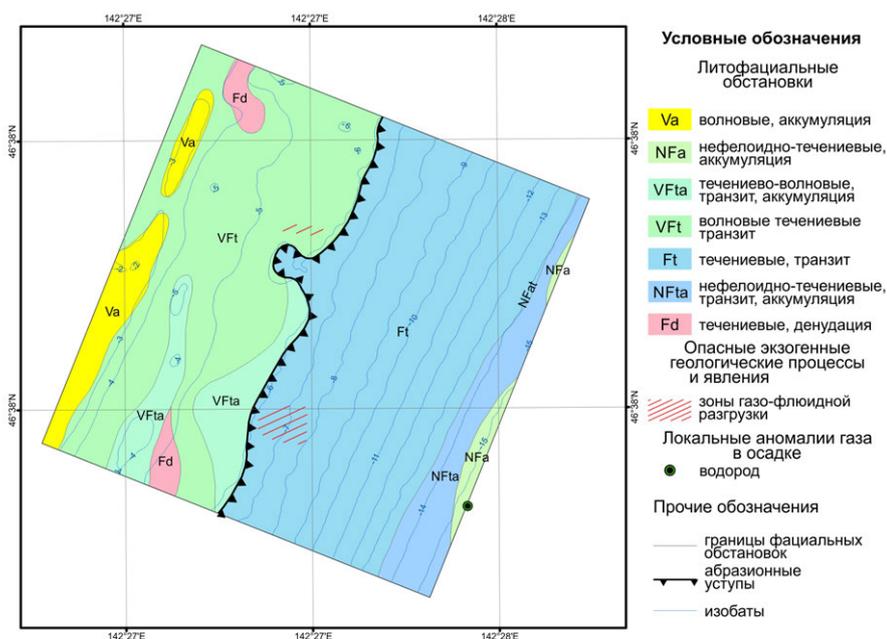


Рис. 3.29. Карта проявлений опасных экзогенных геологических процессов участка «Таранай»

Ключевой участок «Песчанское»

Участок «Песчанское» находится в привершинной части залива Анива на траверзе села Песчанское, в 0,2 км от линии берега.

Берег аккумулятивный, низменный, с серией вдольбереговых валов. Вдоль него тянется пляж шириной 50–60 м с авантюнами.

Участок расположен в пределах изобат от 2 до 10 м. В геоморфологическом отношении представляет собой полого погружающуюся в южном направлении равнину. Поверхность дна ровная, с отдельными мелкими песчаными грядами в верхней части подводного берегового склона, очертания которой периодически меняются в результате волнового воздействия. Глубже дно становится ровным, что характерно для аккумулятивных побережий. Характер развития литодинамических процессов на участке «Песчанское» аналогичен таковому на участке «Таранай». В 2022 г., как и на участке «Таранай», перлювиальные транзитные фациальные обстановки, существовавшие в 2021 г., сменились течениевым транзитом, а в зоне сугубого мелководья на значительной площади режим накопления донных осадков сменился их транзитом. В 2023 г. волновая фациальная зона сдвинулась к верхней рамке планшета, при этом исчезли условия для формирования осадков в условиях волнового и частично нефелоидного режима (возможно, осадки этой зоны, как было сказано выше, были погребены под течениевыми образованиями). Тип осадков четко связан с глубиной. Донные отложения на участке представлены в основном песками различной зернистости, которые вниз по склону закономерно сменяются песчанистыми и алевритистыми миктитами.

Опасные экзогенные процессы, выявленные на участке, представлены только флюидно-газовой разгрузкой (рис. 3.30).

На участке «Песчанское» по результатам работ 2023 г. выделено 49 аномалий, большая часть которых составляет 10 аномальных зон с плотностью распространения от 300 до 500 проявлений на квадратный километр (рис. 3.31). В средней части участка на трех станциях пробоотбора были установлены повышенные содержания углеводов в придонной воде.

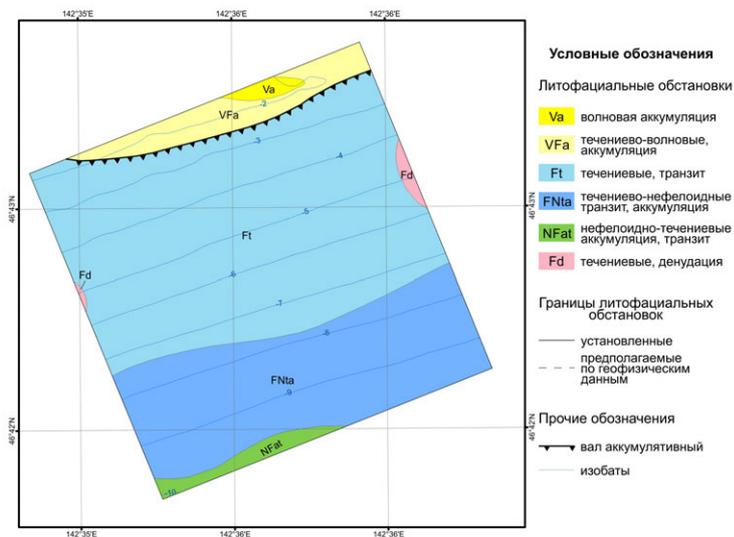


Рис. 3.30. Карта проявлений опасных экзогенных геологических процессов участка «Песчанское»

По геофизическим данным 2024 г., отмечено только 2 ГАА, объединенных в небольшую зону, расположенную обособленно в юго-восточной оконечности участка (см. рис. 3.31). Падение количества аномальных проявлений более чем в 20 раз однозначно указывают на весьма значительное снижение интенсивности процесса дегазации осадков на участке «Песчанское».

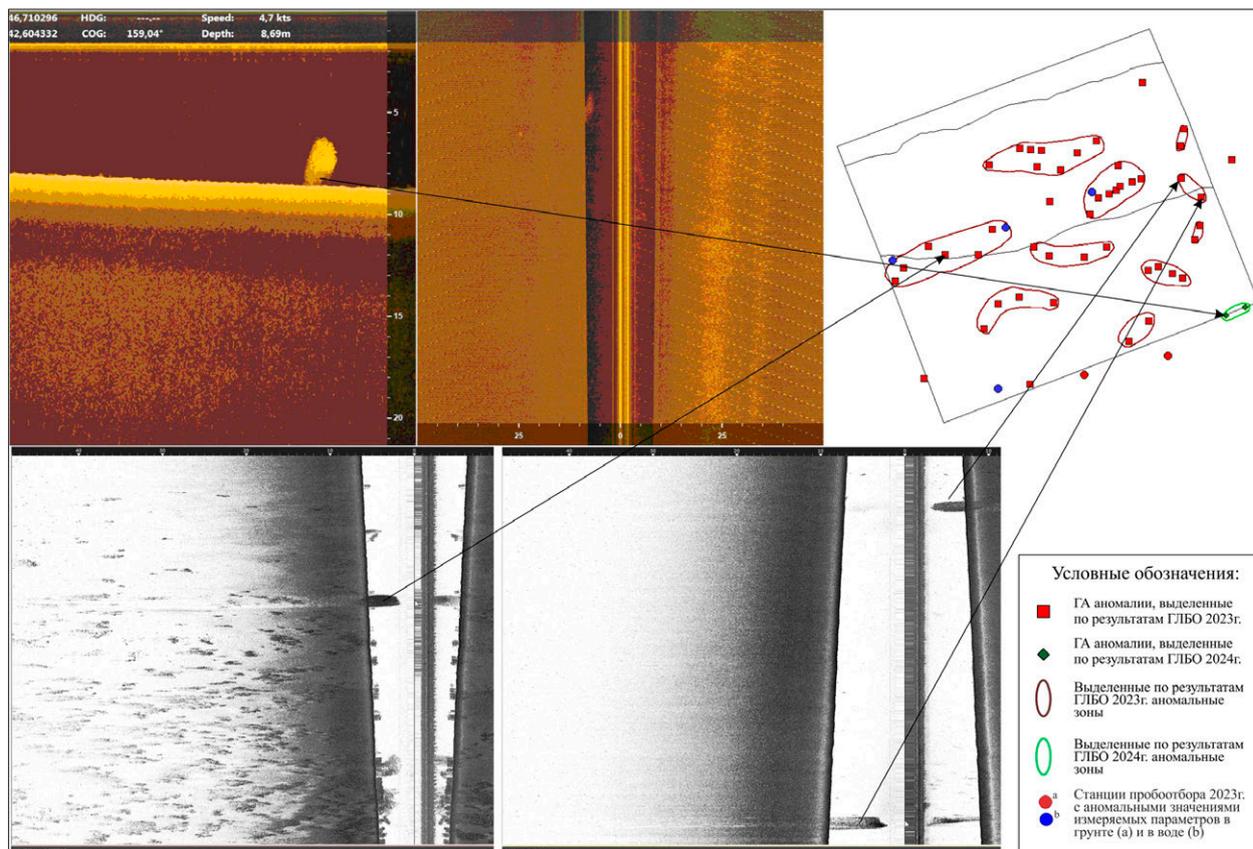


Рис. 3.31. Распределение зон газово-флюидной разгрузки, выделенных по геофизическим данным на участке «Песчанское» в 2023–2024 годах

3.3. РЕГИОНАЛЬНАЯ АКТИВНОСТЬ ГРАВИТАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ В ПРИБРЕЖНО-ШЕЛЬФОВЫХ ЗОНАХ ЯПОНСКОГО И ОХОТСКОГО МОРЕЙ

Проведенный по данным эхолотирования анализ рельефа морского дна показал, что изученные 10 участков подводного берегового склона в большинстве случаев схожи по строению. Они имеют довольно ровные профили с уклонами от долей градуса до первых градусов (табл. 3).

Участки «Пригородное», «Охотское», «Холмск», «Ясноморское» и «Восточное» имеют профили подводного берегового склона с уклонами, превышающими 4°, там возможно развитие гравитационных процессов. Профили склонов часто бывают осложнены наличием бенчей и баров, грядами высотой более 4 м.

Локально установлены подводные ложбины стока, которые с некоторым допущением могут рассматриваться как формы рельефа дна, образованные, как и подводные каньоны, за счет линейно проявленных гравитационных (или эрозионных) процессов.

Кроме крутизны склонов, вероятность проявления гравитационных ЭГП определяется типом донных грунтов.

Дно в полосе подводного берегового склона, по данным гранулометрического анализа, в основном сложено песчаными осадками различной крупности, того же минерального состава, что и пляжевые отложения.

Таблица 3.
Уклон рельефа дна
на ключевых участках

Участок	Уклон, град.
«Взморье»	$\frac{0-1,2}{0,4}$
«Восточное»	$\frac{0-7,2}{0,7}$
«Макаров»	$\frac{0-1,2}{0,3}$
«Охотское»	$\frac{0-4,8}{0,7}$
«Песчанское»	$\frac{0-0,8}{0,3}$
«Пригородное»	$\frac{0-4,3}{0,5}$
«Соловьевка»	$\frac{0-2,4}{0,3}$
«Таранай»	$\frac{0-1,8}{0,6}$
«Холмск»	$\frac{0-5,6}{1}$
«Ясноморское»	$\frac{0-7,4}{1,5}$

Гранулометрический состав донных отложений (134 пробы) определялся в стационарной лаборатории ВНИИОкеангеология согласно Методическим рекомендациям № 144, утвержденным Федеральным научно-методическим центром лабораторных исследований и сертификаций минерального сырья «ВИМС» в 2001 г. Границы фракций измерялись в миллиметрах. Статистическая обработка результатов всех образцов была выполнена с помощью программы GRADISTAT [Blott, Pye, 2001]. Для каждого образца были определены моды распределения и рассчитаны максимальный диаметр, медианный размер зерна, сортировка, асимметрия и эксцесс. Расчеты выполнены методом арифметических моментов [Седиментология..., 1980] и методом Фолка — Варда [Folk, Ward, 1957], модифицированным Блоттом и Пи [Blott, Pye, 2001], который дает более точные оценки для общей гранулометрической характеристики образца.

Интерпретация гранулометрических данных играет важную роль при определении генетических типов обломочных пород. Степень сортировки, медиана, модальность и другие гранулометрические коэффициенты отражают условия гидродинамического режима, способ и дальность транспортировки. Для реконструкции обстановок седиментации применяются различные генетические диаграммы, построенные на основе парной корреляции. Нами были использованы методы генетической интерпретации гранулометрических данных алевропесчаных пород Г. Ф. Рожкова.

Результаты измерений для использования статистического анализа были объединены по классу крупности обломков и частиц в песчаную фракцию (>100 мк), крупноалевритовую (50–100 мк), мелкоалевритовую (10–50 мк) и глинистую (<10 мк), согласно классификации А. В. Раукаса [Раукас, 1981].

По соотношению различных фракций отложения представлены широким спектром гранулометрических типов. Количество песчаной фракции колеблется от 3,5 до 100%. По содержанию песчаной фракции бóльшая часть отложений представлена песком (песчаной фракции $>90\%$) либо песком алевритистым (песка 60–90%) (по классификации Н. Н. Верзилина). Незначительная часть отложений представлена песчанистыми и илисто-песчанистыми алевритами (содержание алевритовой фракции 40–55%, песчаной — 21–42%, глинистой — 32–44%). Единичные пробы представлены илистыми песками и песчаными илами.

Различия фракционного состава отложений отразились в их гранулометрических спектрах. Пески (за исключением 5 проб в 2024 г., бимодальных) и алевритистые пески характеризуются унимодальным распределением с модой в области песчаных фракций (130–815 мк), разброс мод отражает широкий спектр гранулометрических типов: максимальная частота встречаемости отмечена для значений 130 и 180 мк. Алевритовые пески демонстрируют в основном унимодальные спектры, несколько проб 2024 г. — бимодальные, с основным пиком в области 130 мк и с дополнительным в области крупноалевритовых (56 мк) фракций. Песчанистые алевриты демонстрируют бимодальные и унимодальные спектры с основным пиком в области крупноалевритовых фракций (56–82 мк) и дополнительным пиком в области глинистых фракций (3–7,5 мк) или же в области песчаных фракций (130–815 мк). 4 пробы илистых песков, илисто-песчанистых алевритов, алевритистых песков и песчаных алевритов демонстрируют тримодальное распределение. Наиболее близки к логнормальным распределениям спектры песчаных отложений. Таким образом, максимальное количество проб с бимодальным распределением отмечено в выборке 2024 г. — 19 (участки «Пригородное», «Соловьевка», «Таранай», «Взморье», «Восточное» и «Макаров»); в выборке 2023 г. их 9: «Таранай», «Песчанское», «Взморье» и «Восточное».

Статистические характеристики распределений значений гранулометрических коэффициентов по участкам в 2024 г. приведены в табл. 4.

Таблица 4. Статистические характеристики распределений значений гранулометрических коэффициентов по участкам в 2024 году

Участок	Параметр	Число проб	Среднее	Медиана	Минимум	Максимум	Ст. откл.
«Таранай»	Сортировка	13	5,5	7,4	1,2	10,2	3,9
	Асимметрия	13	-0,3	-0,3	-0,6	-0,2	0,2
	Эксцесс	13	1,5	1,0	0,8	4,1	1,2
	Мода 1 (мк)	13	112	82	57	258	51
	Мода 2 (мк)	5	42,0	7,5	7,5	180	77,1
	Мода 3 (мк)	1	7,5	7,5	7,5	7,5	
	Md (мк)	13	76	52	13	241	70
«Песчанское»	Сортировка	13	3,6	3,2	1,3	7,0	1,9
	Асимметрия	13	-0,5	-0,5	-0,8	0,2	0,2
	Эксцесс	13	1,9	1,7	1,1	3,8	0,8
	Мода 1 (мк)	13	102	82	57	130	28
	Md (мк)	13	79	88	28	135	32
«Соловьевка»	Сортировка	18	4,5	3,8	1,3	7,4	1,9
	Асимметрия	18	-0,5	-0,6	-0,7	-0,1	0,2
	Эксцесс	18	1,7	1,3	0,8	3,6	0,9
	Мода 1 (мк)	18	91	82	30	180	37
	Мода 2 (мк)	1	7,5	7,5	7,5	7,5	
	Md (мк)	18	66	64	10	200	49
«Холмск»	Сортировка	9	1,3	1,3	1,3	1,3	0,0
	Асимметрия	9	-0,1	-0,1	-0,2	-0,1	0,0
	Эксцесс	9	1,2	1,1	1,1	1,5	0,1
	Мода 1 (мк)	9	180	180	180	180	0
	Md (мк)	9	167	167	162	174	4
«Ясноморское»	Сортировка	4	1,6	1,5	1,5	1,7	0,1
	Асимметрия	4	0,2	0,2	0,1	0,3	0,1
	Эксцесс	4	1,2	1,3	1,0	1,3	0,1
	Мода 1 (мк)	4	180	180	180	180	0
	Md (мк)	4	183	183	174	192	7
«Макаров»	Сортировка	15	2,1	1,8	1,2	5,3	1,3
	Асимметрия	15	-0,29	-0,19	-0,80	0,37	0,32
	Эксцесс	15	1,7	1,2	0,8	4,9	1,1
	Мода 1 (мк)	15	130	130	130	130	0
	Мода 2 (мк)	2	157	157	57	258	142
	Md (мк)	15	115	122	33	144	26

Участок	Параметр	Число проб	Среднее	Медиана	Минимум	Максимум	Ст. откл.
«Взморье»	Сортировка	14	1,4	1,3	1,2	1,8	0,2
	Асимметрия	14	0,03	0,05	-0,42	0,37	0,22
	Эксцесс	14	1,2	1,1	0,7	2,1	0,4
	Мода 1 (мк)	14	134	130	130	180	13
	Мода 2 (мк)	1	358	358	358	358	
	Md (мк)	14	135	128	117	208	23
«Восточное»	Сортировка	31	2,4	1,5	1,2	14,4	2,7
	Асимметрия	31	-0,19	-0,16	-0,82	0,37	0,28
	Эксцесс	31	1,6	1,2	0,7	5,3	1,1
	Мода 1 (мк)	31	129	130	57	180	16
	Мода 2 (мк)	5	87	8	8	358	153
	Md (мк)	31	119	126	9	172	30
«Охотское»	Сортировка	8	1,4	1,4	1,2	1,7	0,2
	Асимметрия	8	0,21	0,22	0,04	0,39	0,12
	Эксцесс	8	1,2	1,0	0,8	1,9	0,4
	Мода 1 (мк)	8	149	130	130	180	26
	Md (мк)	8	152	144	128	205	27
«Пригородное»	Сортировка	8	3,9	2,3	1,4	12,2	3,9
	Асимметрия	8	-0,40	-0,26	-1,00	0,14	0,51
	Эксцесс	8	7,6	1,2	0,7	51,2	17,6
	Мода 1 (мк)	8	301	130	130	815	317
	Мода 2 (мк)	4	219	194	130	358	110
	Мода 3 (мк)	4	222	32	8	815	396
	Md (мк)	8	444	181	134	1000	407

Вариации медианного размера зерна и коэффициента сортировки (табл. 4, рис. 3.32, 3.33) свидетельствуют о достаточно стабильных условиях осадконакопления в течение 2023–2024 гг.

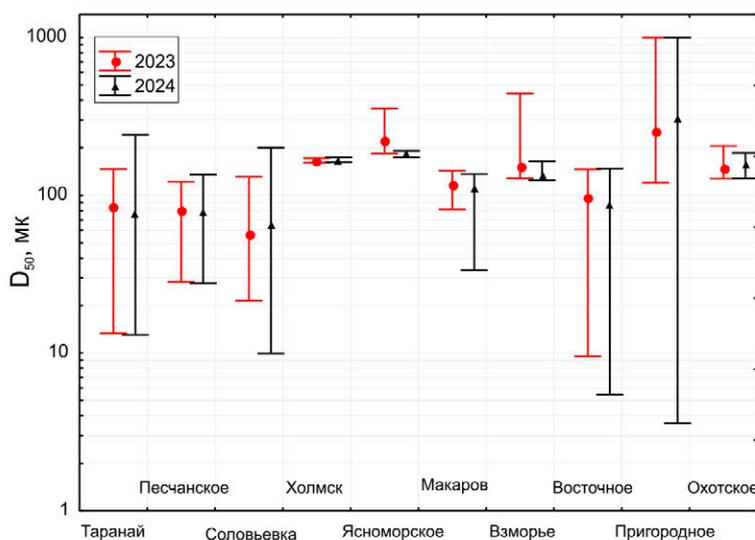


Рис. 3.32. Вариации медианного размера зерна в отложениях ПБС исследованных участков по годам (медиана и размах выборок)

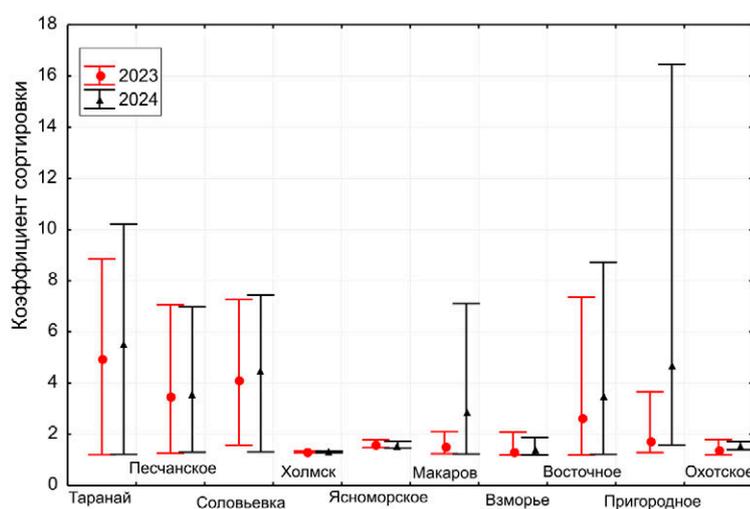


Рис. 3.33. Вариации коэффициента сортировки в отложениях ПБС исследованных участков по годам (медиана и размах выборок)

при проведении обследования ключевых участков в 2024 г. Рассчитаны длина, ширина и площадь проявления. Приведены координаты центра проявления.

В 2024 г. площадной и частотный коэффициенты активности гравитационных процессов в прибрежно-шельфовой зоне Охотского моря составили 54 и 51% соответственно. Площадной и частотный коэффициенты активности гравитационных процессов в прибрежно-шельфовой зоне Японского моря составили 39 и 31% соответственно, оказавшись выше, чем в 2023 г., по площади, но ниже по частоте (22 и 45%).

Стабильные условия осадконакопления, очевидно, существуют на всех участках, за исключением «Ясноморского» и «Взморья», где наблюдается некоторое уменьшение медианного размера зерна и улучшение сортировки осадка, что может свидетельствовать о некотором изменении условий осадконакопления в сторону формирования зоны аккумуляции осадочного вещества, динамика осадков становится менее интенсивной. Ухудшение сортировки наблюдается на участках «Песчанское», «Соловьевка» и «Таранай». Участки «Песчанское», «Таранай», «Соловьевка», судя по отрицательной корреляции между медианым размером зерна и коэффициентом сортировки $(-0,9)$, испытывают активное волновое воздействие. На участке «Пригородное» ситуация изменилась, преобладают процессы вымывания тонких фракций.

В табл. 5 представлены морфометрические параметры проявлений гравитационных процессов, зафиксированных в прибрежно-шельфовых зонах Японского и Охотского морей

Таблица 5. Морфометрические параметры проявлений гравитационных процессов, зафиксированных в прибрежно-шельфовых зонах Японского и Охотского морей

Уникальный номер	Прибрежно шельфовая зона	Географическая привязка	Координаты		Генетический тип ЭГП	Длина проявления, м	Ширина проявления, м	Площадь проявления, м ²
			ГСК-2011					
			широта	долгота				
101.34.223	Охотское море	П. Восточное	142.6447833	48.2767448	Оползни	256,1	108,9	15 525
101.34.224	Охотское море	П. Восточное	142.6378852	48.2717023	Оползни	80,4	53,9	2893
101.34.225	Охотское море	П. Восточное	142.6402187	48.2733440	Оползни	57,8	29,5	1287
101.34.226	Охотское море	П. Восточное	142.6395456	48.2715422	Оползни	89,4	59,1	3555
101.34.227	Охотское море	П. Восточное	142.6376469	48.2664133	Оползни	73,1	48,4	2641
101.34.228	Охотское море	П. Восточное	142.6360575	48.2646424	Подводная осыпь	54,8	38,2	1105
101.34.229	Охотское море	П. Восточное	142.6308586	48.2505646	Подводная осыпь	147,0	45,8	4590
101.34.230	Охотское море	П. Восточное	142.6318721	48.2521882	Подводная осыпь	80,0	47,6	2818
101.34.231	Охотское море	П. Восточное	142.6340233	48.2534440	Подводная осыпь	46,8	39,3	1173
101.34.232	Охотское море	П. Восточное	142.6334674	48.2517964	Подводная осыпь	42,7	24,2	796
101.34.233	Охотское море	П. Восточное	142.6435260	48.2714702	Подводная осыпь	27,0	14,1	289
101.34.234	Охотское море	П. Восточное	142.6442482	48.2736518	Подводная осыпь	132,3	82,1	5311
101.34.235	Охотское море	П. Восточное	142.6439094	48.2711948	Подводная осыпь	72,8	44,8	2180
101.34.236	Охотское море	П. Восточное	142.6509647	48.2607381	Подводная осыпь	189,1	113,0	7033
101.34.237	Охотское море	П. Восточное	142.6510828	48.2580599	Подводная осыпь	77,2	47,9	2396
101.34.238	Охотское море	П. Охотское	143.1951414	46.8569200	Подводная осыпь	455,5	296,9	37 564
101.34.239	Охотское море	П. Охотское	143.1902166	46.8571545	Подводная осыпь	315,4	150,5	15 940
101.34.240	Охотское море	П. Охотское	143.1891729	46.8561974	Оползни	74,0	61,8	3286
101.34.241	Охотское море	П. Охотское	143.1902838	46.8559278	Оползни	69,6	34,1	1675
101.34.242	Охотское море	П. Охотское	143.1908522	46.8562725	Оползни	70,2	32,4	1683
100.34.243	Японское море	П. Ясноморское	141.8853842	46.7538252	Оползни	210,7	124,1	11 335
100.34.244	Японское море	П. Ясноморское	141.8858348	46.7521660	Оползни	127,0	54,7	4610
100.34.245	Японское море	П. Ясноморское	141.8784694	46.7507117	Оползни	205,4	140,0	14 136
100.34.246	Японское море	П. Ясноморское	141.8858860	46.7603133	Оползни	214,3	87,4	9697
100.34.247	Японское море	П. Ясноморское	141.8919705	46.7610240	Оползни	129,0	47,2	4515
101.34.248	Охотское море	П. Охотское	143.1895770	46.8562187	Оползни			
101.34.249	Охотское море	П. Охотское	143.1903080	46.8560894	Оползни			
101.34.250	Охотское море	П. Охотское	143.1895996	46.8570802	Оползни			
101.34.251	Охотское море	П. Охотское	143.1911493	46.8562170	Оползни			
100.34.252	Японское море	П. Ясноморское	141.8855065	46.7519581	Оползни			
100.34.253	Японское море	П. Ясноморское	141.8853417	46.7538517	Оползни			
100.34.254	Японское море	П. Ясноморское	141.8783399	46.7625690	Оползни			
100.34.255	Японское море	П. Ясноморское	141.8919376	46.7617804	Оползни			
100.34.256	Японское море	П. Ясноморское	141.8861277	46.7534011	Оползни			
101.34.257	Охотское море	П. Восточное	142.6449933	48.2768456	Оползни			
101.34.258	Охотское море	П. Восточное	142.6447970	48.2764112	Оползни			
101.34.259	Охотское море	П. Восточное	142.6448123	48.2759915	Оползни			
101.34.260	Охотское море	П. Восточное	142.6444225	48.2741308	Оползни			
101.34.261	Охотское море	П. Восточное	142.6447847	48.2715446	Оползни			
101.34.262	Охотское море	П. Восточное	142.6378866	48.2710154	Оползни			

Выделены как точечные проявления по данным эхолотирования

3.4. РЕГИОНАЛЬНАЯ АКТИВНОСТЬ ПРОЦЕССОВ ГАЗО-ФЛЮИДНОЙ РАЗГРУЗКИ В ПРИБРЕЖНО-ШЕЛЬФОВЫХ ЗОНАХ ЯПОНСКОГО И ОХОТСКОГО МОРЕЙ

В полевой сезон 2024 г. для изучения газовой составляющей воды и осадка было отобрано 44 пробы донных отложений (ковш, поверхность) и 141 проба придонной воды. Определялись (метод head space) метан и его гомологи (C2-C5), непредельные УВ: этилен, пропилен, бутен, бутилен; неорганические газы — азот, кислород, углекислый газ, водород, гелий в донных отложениях и придонной воде. В 40 пробах донных отложений определены содержания тяжелых металлов (Zn, Cu, Cd, Pb, Hg, Fe, Ca, Co, Ni, Mn), нефтяных углеводородов, ПАУ и фенолов.

Так же как и в 2023 г., гомологи (начиная с бутана) и непредельные УВ (этилен, пропилен, бутен и изобутен) в заметных количествах определены во всех отобраных в 2023 г. пробах донных грунтов и придонных вод, что позволило уточнить природу проявленных аномалий. Содержания ПАУ и фенолов во всех образцах оказались ниже порога определения. Фоновые содержания нефтепродуктов в 2024 г. оказались чуть выше, чем в 2023 г. (8,7 и 8 мг/кг соответственно). Повышенные содержания НУВ обнаружены в донных грунтах участков «Таранай», «Песчанское», «Пригородное», «Соловьевка», «Макаров» и «Восточное».

Статистическая обработка анализов донных отложений показала (рис. 3.34), что распределение практически всех параметров подчиняется нормальному закону. Распределение некоторых газов полимодальное, что свидетельствует о присутствии в выборке углеводородов различного генезиса.

После редуцирования выборки были рассчитаны фоновые концентрации углеводородов и неорганических газов в донных отложениях изучаемого региона (табл. 6).

Таблица 6. Статистические характеристики распределения и фоновые концентрации органических и неорганических газов в донных отложениях (мг/кг)

	Число проб	Среднее	Минимум	Максимум	Ст. откл.	Коэффициент вар.	Фоновое содержание
Метан	44	11 531	3,46	114 829	25 649	222	9,34
Этан	44	8,03	0,11	110,5	19,44	242	0,50
Этилен	44	3,30	0,11	40,4	7,30	221	1,22
Пропан	44	1,84	0,30	5,7	1,26	68	0,42
Пропилен	44	1,06	0,11	8,1	1,58	150	0,57
Изобутан	44	0,81	0,32	4,7	0,65	80	0,06
н-Бутан	44	0,07	0,00	0,3	0,07	100	0,30
Изобутилен + бутен	44	0,41	0,06	2,6	0,52	127	0,72
Изопентан	44	0,13	0,06	0,7	0,09	71	0,12
Пентан	44	1,06	0,02	9,4	2,11	198	0,12
He	44	75,31	35,43	199,8	41,58	55	8,72
H ₂	44	23,77	2,70	99,1	20,07	84	67
CO ₂	44	25 264	676	151 489	45 627	181	5195
O ₂ *	44	4,25	0,20	18,5	6,06	143	1,35
N ₂ *	44	94,34	74,69	101,9	7,65	8	94,3

* Содержания кислорода и азота приведены в процентах.

Значимые (выше порога определения) содержания ПАУ и фенолов в 2024 г. не были отмечены. Следует отметить сильную вариабельность содержаний кислорода при мало-вариабельном N_2 . Значения коэффициента N/O, отражающего уровень микробиальной активности, достигали в этом году значений, превышающих 400.

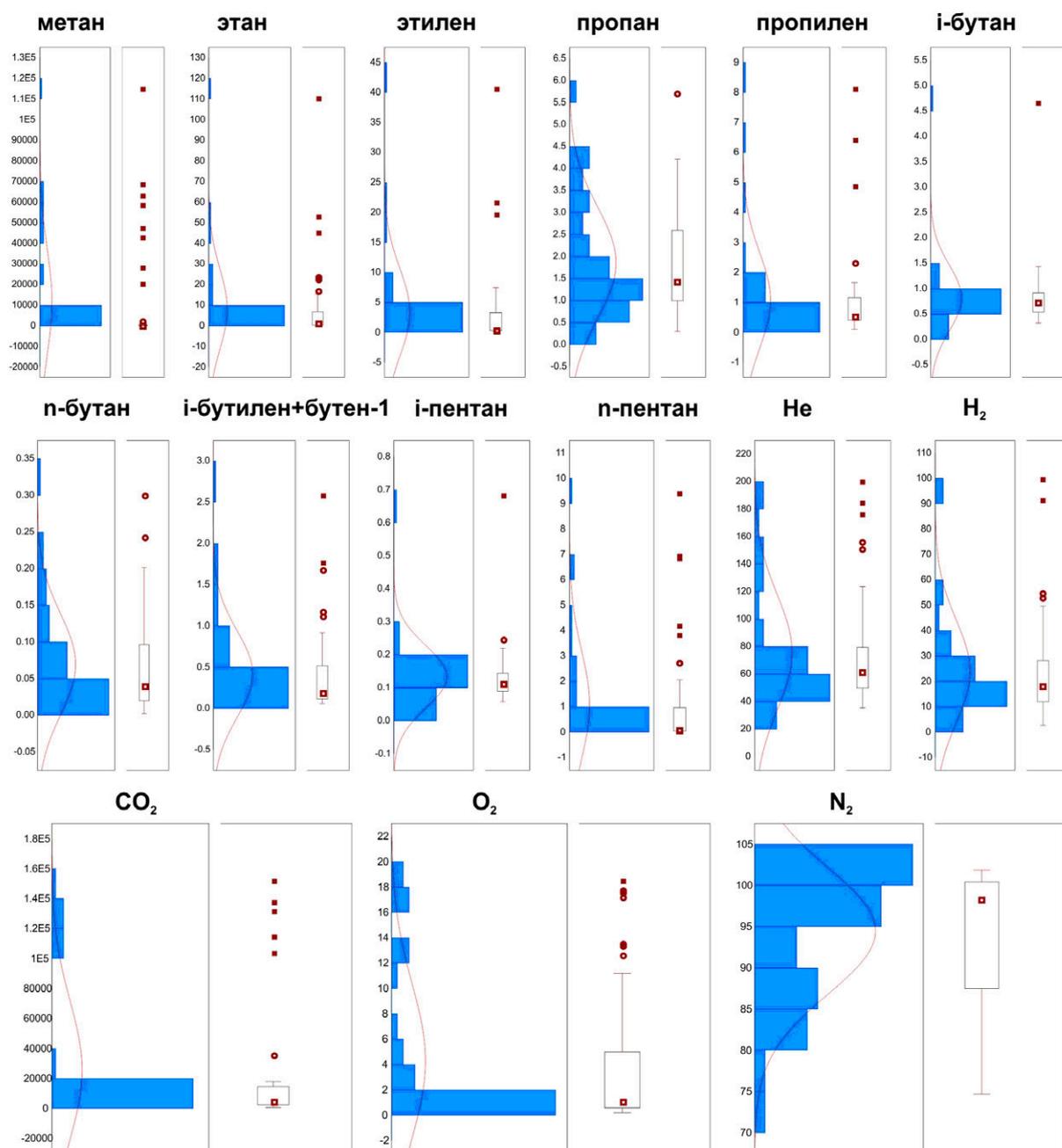


Рис. 3.34. Гистограммы распределения органических и неорганических газов в донных отложениях

Статистическая обработка анализов распределения макро- и микроэлементов в донных отложениях показала (табл. 7), что распределение всех параметров, кроме Cu и Ni, характеризуется низкой или умеренной степенью вариации и подчиняется нормальному закону.

Таблица 7. Распределение макро- и микроэлементов в донных отложениях (мг/кг)

	Число проб	Среднее содержание	Медиана	Минимум	Максимум	Ст. откл.	Коэффициент вар.
Fe	40	28 400	28 500	18 000	35 000	3650	13
Mn	40	241	240	190	370	39	16
Zn	40	64	66	33	83	13	20
Cu	40	23	19	9	66	15	67
Cd	40	0,90	0,70	0,30	2,70	0,65	73
Pb	40	15	16	7	23	4	26
Co	40	8	9	6	11	2	18
Ni	40	20	20	13	27	4	19
Hg	40	30	29	11	73	11	37
As	40	12	12	4	18	3	27

Геохимическая специализация донных отложений естественным образом отражает геохимическую специализацию коренных пород юго-западного Сахалина [Петрография и петрология..., 2001]. Это породы вулканогенно-терригенного комплекса: Чеховский, Анивский, Татарский комплексы, Аракайская, Холмская, Невельская свиты.

В целом для вулканогенно-терригенного комплекса характерен контрастный состав, объединяющий базальты, риолиты, гравелиты, туфы и туфопесчаники.

Сопоставление кларков концентрации в 2023–2024 гг. показывает (табл. 8), что в 2024 г. содержание в донных отложениях Mn, Co, Hg увеличилось, Pb, Cd и As уменьшилось. Аномальные содержания меди, кадмия, ртути и марганца отмечены в пробах участка «Восточное» (11324, 11424, 12924, 13724, 13924).

Таблица 8. Сопоставление кларков концентрации в 2023–2024 годах

Элемент	Fe	Mn	Zn	Cu	Cd	Pb	Co	Ni	Hg	As
Кк-2023	0,3	0,1	0,8	0,3	6,9	2,9	0,2	0,3	0,7	8,9
Кк-2024	0,3	0,2	0,8	0,3	5,0	2,5	0,3	0,3	1,0	6,0

Статистическая обработка анализов проб придонной воды в 2024 г. показала, что, как и в 2023 г., содержания всех газов заметно ниже содержаний аналогичных в осадке, тогда как в предыдущие годы варьировались они незначительно (за исключением содержаний углекислого газа).

После редуцирования выборки были рассчитаны статистические характеристики распределения и фоновые концентрации УВ и неорганических газов в придонной воде (табл. 9).

**Таблица 9. Распределение углеводородов (мг/кг)
и неорганических газов* в придонной воде**

	Число проб	Среднее	Минимум	Максимум	Ст. откл.	Коэффициент вар.	Фоновое содержание
Метан	142	15,9	1,9	321,5	45,31	285	4,03
Этан	142	0,023	0,004	0,088	0,01	58	0,02
Этилен	142	0,036	0,011	0,091	0,02	45	0,04
Пропан	142	0,058	0,005	0,521	0,07	116	0,05
Пропилен	142	0,033	0,006	0,111	0,02	58	0,03
Изобутан	142	0,066	0,000	0,626	0,08	122	0,05
н-Бутан	142	0,124	0,000	1,336	0,18	144	0,09
Изобутилен + бутен	142	0,787	0,088	2,336	0,29	37	0,79
Изопентан	142	0,148	0,017	0,463	0,06	39	0,14
н-Пентан	142	0,040	0,000	0,131	0,02	60	0,04
He	142	33,2	3,8	78,5	16	47	33,23
H ₂	142	13,0	1,1	152,7	20	158	8,40
CO ₂	142	582	421	2065	141	24	582
O ₂	142	22	17	23	0,70	3	22
N ₂	142	81	63	87	2,46	3	81

* Содержания азота и кислорода приведены в проценты.

Гистограммы распределения органических и неорганических газов в придонной воде приведены на рис. 3.35. Распределение практически всех параметров подчиняется нормальному закону. Распределение некоторых газов полимодальное, что свидетельствует о присутствии в выборке УВ различного генезиса.

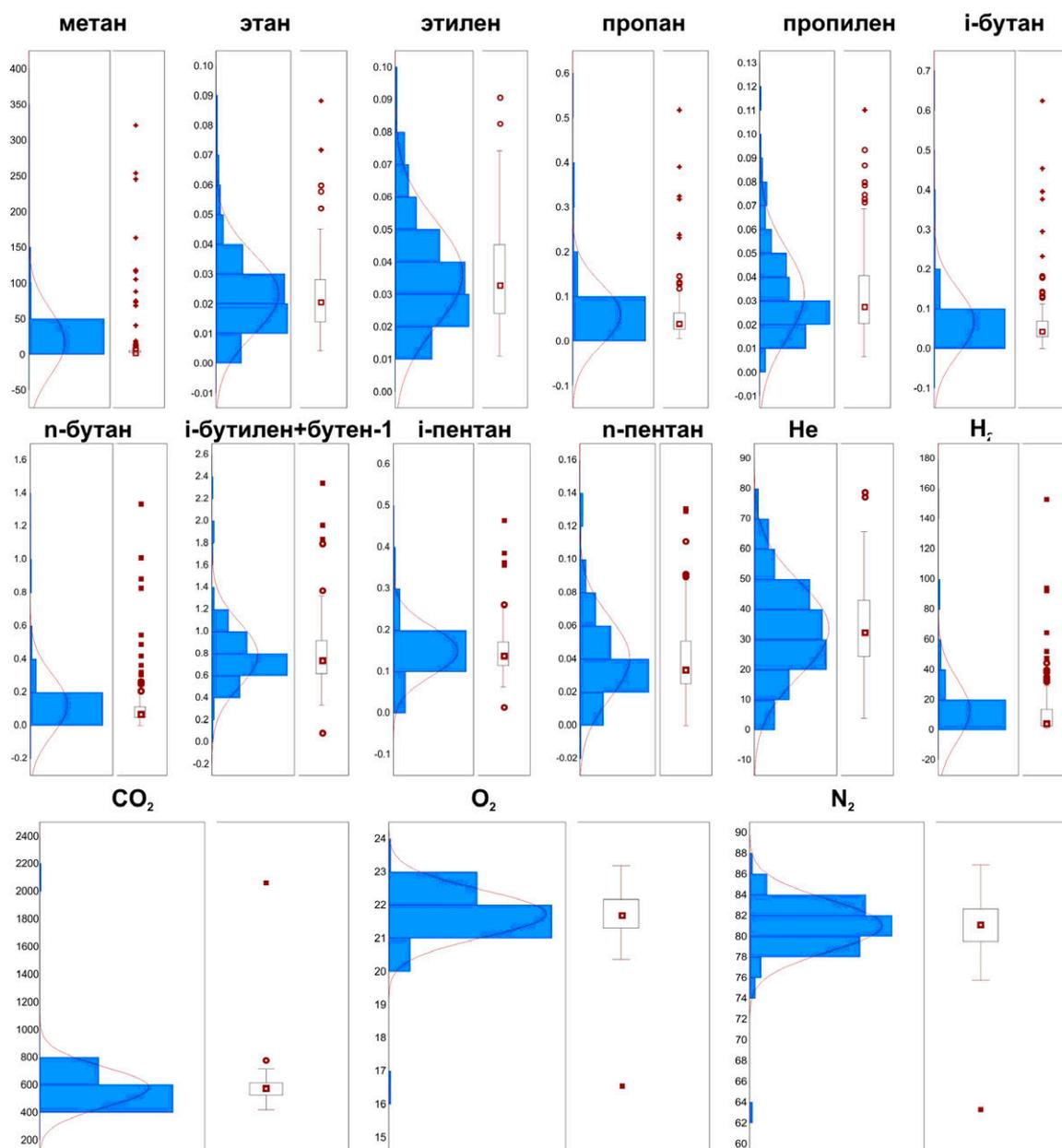


Рис. 3.35. Гистограммы распределения органических и неорганических газов в придонной воде

Отношение N/O , характеризующее развитие зон гипоксии в придонной воде в 2024 г. (вариации 3.6–3.8 при медиане 3.7), позволяет говорить о достаточно стабильной экологической ситуации на исследуемых участках. Компонентный состав газов (присутствие заметных количеств олефинов, тяжелых УВ метанового ряда, присутствие значимых количеств гелия и водорода) свидетельствует о достаточно высокой степени бактериального преобразования ОВ, незначительном влиянии техногенного загрязнения и возможной миграции УВ.

Сопоставление размаха выборок и фоновых содержаний УВ и неорганических газов в 2023–2024 гг. в донных отложениях и придонной воде показало (табл. 10, рис. 3.36), что: 1) в донных отложениях увеличился фон метана при одновременном возрастании фоновых содержаний его гомологов и непредельных УВ (за исключением изобутана, пентана и изо-пентана); фоновые содержания гелия и углекислого газа выросли, а содержания водорода уменьшились; 2) в придонной воде фон практически всех УВ уменьшился, увеличилось содержание гелия и углекислого газа. Размах выборок в 2023 г. практически для всех компонентов ниже.

Таблица 10. Сопоставление размаха выборок и фоновых содержаний углеводородов и неорганических газов в 2023–2024 годах в донных отложениях и придонной воде

Компонент	Донные отложения						Придонная вода					
	Мин 2023	Макс 2023	Фон 2023	Мин 2024	Макс 2024	Фон 2024	Мин 2023	Макс 2023	Фон 2023	Мин 2024	Макс 2024	Фон 2024
Метан	2,99	12729	6,84	3,46	114829	9,34	2,21	9	3,62	1,9	321,5	4,03
Этан	0,07	2,89	0,53	0,11	110,53	0,50	0,01	0,03	0,01	0,004	0,088	0,02
Этилен	0,19	4,84	1,34	0,30	5,70	1,31	0,01	0,07	0,03	0,011	0,091	0,04
Пропан	0,06	2,02	0,52	0,11	40,38	0,52	0,01	0,09	0,04	0,005	0,521	0,05
Пропилен	0,05	1,21	0,64	0,11	8,08	0,62	0,006	0,06	0,02	0,006	0,111	0,03
Изобутан	0,01	0,29	0,09	0,00	0,30	0,05	0,007	0,18	0,06	0,000	0,626	0,05
н-Бутан	0,01	0,74	0,27	0,06	2,56	0,23	0,006	0,39	0,12	0,000	1,336	0,09
Изобутилен + бутен	0,08	3,32	0,54	0,32	4,68	0,81	0,03	0,16	0,08	0,088	2,336	0,79
Изопентан	0,04	0,68	0,31	0,06	0,68	0,13	0,02	0,95	0,42	0,017	0,463	0,14
н-Пентан	0,01	0,89	0,15	0,02	9,41	1,06	0,01	0,18	0,06	0,000	0,131	0,04
He	4,66	37,59	8,39	35,4	199,8	60,6	5,66	38,21	11,71	3,8	78,5	33,23
H ₂	0,93	8,27	1,83	2,7	99,1	18,1	1	8	2,52	1,1	152,7	8,40
CO ₂	1302	70153	6400	676	151489	5195	380	878	577	421	2065	582
O ₂	0,44	8,81	1,44	0,2	18,5	1,35	15	22	18,88	17	23	22
N ₂	76,84	88,43	84,73	74,7	101,9	94,3	75	83	78,25	63	87	81

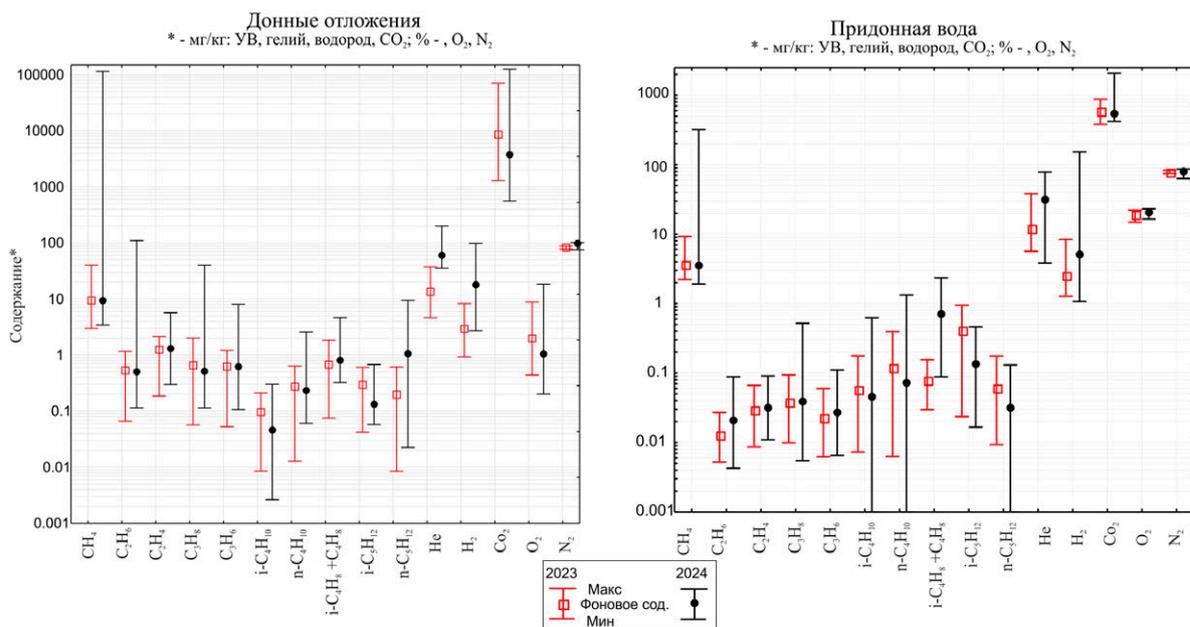


Рис. 3.36. Сопоставление размаха выборок и фоновых содержаний углеводородов и неорганических газов в 2023–2024 годах в донных отложениях и придонной воде

В табл. 11 и 12 сведены все станции, на которых фиксировались аномальные и экстремальные содержания УВ, неорганических газов и металлов в донных отложениях и придонной воде (УВ и неорганические газы). Комплексными аномалиями характеризуются участки «Восточное» и «Соловьевка», аномалии в придонной воде отмечены на участках «Холмск» и «Ясноморское», «Соловьевка», «Взморье» и «Восточное».

Аномальные и повышенные содержания гелия и водорода, свидетельствующие о современной тектонической активности региона, отмечены в донных отложениях и придонной воде на участках «Холмск», «Ясноморское», «Соловьевка», «Таранай», «Охотское», «Восточное» и «Взморье».

Обращает внимание наличие устойчивых положительных (более 0,7) корреляционных связей между содержаниями алканов и алкенов, достоверной положительной (0,6) корреляционной связи между содержаниями метана и углекислоты в осадке, что является признаком наличия сингенетических УВГ и интенсивности биохимических процессов.

Таблица 11. Аномальные и экстремальные содержания углеводородов, металлов и неорганических газов (мкг/г) в донных отложениях

Донные отложения													
Углеводороды													
Участок	Номер пробы	Широта	Долгота	метан	этан	этилен	пропан	пропен	i-бутан	n-бутан	i-бутилен + бутен-1	n-пентан	
Соловьевка	3524	46.718891	142.687068	62			3,24						
	9024	48.604234	142.795718	37	21,93	6,79	4,21					3,79	
Восточное	10924	48.272238	142.634904	20 732	15,35	5,95	4,06	1,48				2,69	
	11124	48.271176	142.634861	114 829	9,53	2,95		2,31	0,24				
	11224	48.271090	142.634531	42 821	9,55	4,96	3,79					2,07	
	11324	48.270489	142.634793	68 952	6,84	4,03		1,66				1,81	
	11424	48.269411	142.634825	77	5,68	1,97	2,70						
	11624	48.268193	142.636287	970	17,04	6,09	3,69					1,14	
	11724	48.267576	142.636670	63 390	110,53	40,38	5,70	8,08	0,30	2,56		2,75	
	11824	48.266584	142.637018	58 601	53,23	21,78	3,31	6,42		1,66		9,41	
	12024	48.265910	142.636443								4,68	0,68	6,85
	13924	48.250598	142.639575	58 434	9,48	4,81	2,99						
	15124	48.238186	142.640843		23,59	7,46	3,13					4,15	
	15524	48.264746	142.636815	2167	45,29	19,82	4,04	4,83		1,75		6,92	
	15624	48.269871	142.635063	47 618	6,66	3,70						1,24	
	15724	48.271794	142.634895	28 194	3,70	2,09							
	Неорганические газы и металлы												
Участок	Номер пробы	Широта	Долгота	He	N ₂	CO ₂	O ₂	Cu	Mn	Cd	Hg		
Таранай	724	46.621965	142.456908		91,54								
Восточное	11124	48.271176	142.634861			136 914							
	11224	48.271090	142.634531			113 862							
	11324	48.270489	142.634793	199,79		137 874				2,6	0,07		
	11424	48.269411	142.634825			131 101				2,7			
	11824	48.266584	142.637018	183,70		114 586							
	12024	48.265910	142.636443	176,87		151 489							
	12924	48.273312	142.645999				18,48	55					
	13724	48.252769	142.647423				17,47	61					
	13924	48.250598	142.639575				17,79	66	370				
	15624	48.269871	142.635063			102 909							
15724	48.271794	142.634895											

Таблица 12. Аномальные и экстремальные содержания углеводородов и неорганических газов (мкг/г) в придонной воде

Придонная вода										
Участок	Номер пробы	Широта	Долгота	Углеводороды и неорганические газы						
				метан	этан	пропен	i-бутан	n-бутан	i-пентан	H ₂
Соловьевка	3124	46.716520	142.679797	21,04						
	3524	46.718891	142.687068	44,20						
	3724	46.714794	142.685546	47,41						
Холмск	5324	47.090668	142.046708	0,15 0,18 0,41						
	5724	47.093460	142.041410	0,07 0,32 0,38 0,83 0,36						
	5924	47.095917	142.043602	0,09 0,39 0,46 1,01 0,39						
	6324	47.099968	142.046267	0,06 0,33 0,40 0,89 0,36						
	6424	47.099962	142.048207	52,17						
	6524	47.099833	142.052159	94,61						
Ясноморское	6624	46.768089	141.879312	0,23 0,24 0,49						
	7624	46.757098	141.890202	0,24 0,29 0,55 63,94						
Взморье	9424	47.828841	142.541424	0,52 0,63 1,34 0,46 47,64						

Придонная вода										
Участок	Номер пробы	Широта	Долгота	Углеводороды и неорганические газы						
				метан	этан	пропен	i-бутан	n-бутан	i-пентан	H ₂
Восточное	10924	48.272238	142.634904	69,52						
	11024	48.269571	142.638022	15,71						
	11124	48.271176	142.634861	164,61						
	11224	48.271090	142.634531	76,56						
	11324	48.270489	142.634793	105,43						
	11424	48.269411	142.634825	89,69						
	11624	48.268193	142.636287	42,16						
	11724	48.267576	142.636670	118,74						
	11924	48.265660	142.637044	73,75						
	12024	48.265910	142.636443	321,49						
	12124	48.264441	142.639027	17,17						
	13024	48.270020	142.649572							47,07
	13224	48.266702	142.654040							91,90
	13624	48.256543	142.646236	14,46						
	14824	48.231945	142.632373							91,85
	15524	48.264746	142.636815	254,51						
15624	48.269871	142.635063	247,27							
15724	48.271794	142.634895	117,65							
Охотское	17824	46.854596	143.186223							152,72

Так же как и в предыдущие годы, для выяснения природы геохимических газовых аномалий использовались следующие газогеохимические критерии: влажность газа (W%); предельных и непредельных (C2+C3) УВГ (Alk_Alkn), изоалканов (C4, C5) к их нормальным изомерам ($iC_4C_5_sumC_4C_5$), $C_5/\sum C_2-C_5$ — отношение содержания пентана к сумме гомологов C2-C5.

Расчетные газогеохимические коэффициенты для донных отложений сведены в табл. 13.

Таблица 13. Значения расчетных газогеохимических коэффициентов в донных отложениях (статистика)

	Участок	W%	$\sum iC_4C_5/\sum C_4C_5$	Alk_Alkn	$C_5/\sum C_2-C_5$
124		31	0,5	0,4	3,0
324		18	0,5	0,3	1,8
424		25	0,5	0,4	2,3
524	«Таранай»	20	0,3	0,4	1,8
624		29	0,5	0,3	3,6
724		26	0,4	0,3	3,1
824		26	0,5	0,4	2,5
Среднее		25	0,45	0,35	2,60
Мин-макс		18–31	0,28–0,51	0,31–0,42	1,83–3,58
1924		27	0,5	0,3	3,0
2024		21	0,5	0,2	2,5
2124	Песчанское	22	0,4	0,3	2,6
2224		46	0,4	0,5	2,1
2324		26	0,3	0,5	2,1
Среднее		28	0,42	0,36	2,44
Мин-макс		21–46	0,29–0,52	0,25–0,49	2,08–2,95
3124		22	0,5	0,4	2,8
3524		5	0,3	0,3	0,5
3624		25	0,3	0,4	1,5
3724		20	0,4	0,3	2,5
3924	«Соловьевка»	9	0,3	0,5	0,7
4124		24	0,4	0,4	2,5
4524		27	0,5	0,3	4,3
4624		25	0,6	0,2	3,2
Среднее		20	0,41	0,35	2,24
Мин-макс		5–27	0,27–0,60	0,24–0,51	0,52–4,28
8124		30	0,5	0,5	2,5
9024	«Макаров»	48	0,1	0,8	5,6
Среднее		39	0,25	0,67	4,02

	Участок	W%	$\Sigma iC_4C_5/\Sigma C_4C_5$	Alk_Alkn	$C_5/\Sigma C_2-C_5$
10924		0	0,1	0,8	0,0
11124		0	0,3	0,7	0,0
11224		0	0,1	0,7	0,0
11324		0	0,1	0,7	0,0
11424		11	0,1	0,7	1,0
11624		3	0,04	0,8	0,1
11724		0	0,06	0,9	0,0
11824		0	0,02	0,9	0,0
12024	«Восточное»	10	0,09	0,4	44,6
12924		16	0,38	0,5	2,0
13724		16	0,44	0,4	2,8
13924		0	0,22	0,8	0,0
14924		11	0,4	0,5	1,0
15124		57	0,03	0,9	6,6
15524		3	0,03	0,9	0,3
15624		0	0,12	0,8	0,0
15724		0	0,3	0,7	0,0
Среднее		8	0,16	0,71	3,44
Мин-макс		0–57	0,02–0,44	0,40–0,92	0,00–44,59
15824	«Пригородное»	15	0,3	0,4	1,9
16124		21	0,4	0,3	3,8
Среднее		18	0,35	0,35	2,84
18524	«Горнозаводск»	16	0,5	0,3	1,8
18624		18	0,3	0,3	3,8
18724		1	0,5	0,2	0,1
Среднее		11	0,44	0,26	1,89
Мин-макс		1–18	0,28–0,53	0,18–0,32	0,08–3,80

Количественное соотношение УВГ состава C₂-C₅ и общего содержания УВГ, характеризующее коэффициентом влажности УВГ, позволяет оценить вклад эпигенетической составляющей в газовой фазе. Если значение данного показателя не превышает 5%, то газ, вероятно, бактериального происхождения. В выборке проб значения W <5% отмечены в пробах участка «Восточное» и «Соловьевка». Значения $C_1/\Sigma C_2-C_5$ и коэффициента N/O в этих пробах также высоки, что подтверждает наличие интенсивного метаногенеза.

Известно, что непредельные углеводороды представляют собой наиболее распространенные УВ растений и животных, однако они не обнаружены в нефтях, так как крайне неустойчивы и еще в процессе диагенеза быстро восстанавливаются до алканов [Хант, 1982; Abrams, 2005]. С другой стороны, в этих же работах показано, что олефины (этилен и пропилен), а также парафины (этан и пропан) могут образовываться в незначительных количествах в современных морских илах в результате процессов брожения. Таким образом, в донных отложениях присутствуют сингенетичные олефины (C₂, C₃) и парафины (C₂, C₃),

при этом соотношение (этан + пропан)/(этан + пропан + этилен + пропилен) (Alk/Alkn) в фоновых условиях не превышает 0,5. В случае подтока термогенных УВ значение соотношения будет стремиться к 1. Отношение алкан/алкен во всех пробах, за исключением некоторых образцов с участка «Восточное», менее или равно 0,5.

Значение соотношения $C_5/\sum C_2-C_5$, превышающее 0,5, может являться признаком миграционной аномалии УВГ. В образцах 2024 г. по этому критерию можно сделать вывод о миграционной природе УВ на всех участках, за исключением проб с $W < 5\%$ на участке «Восточное».

Применение соотношения изоалканов к нормальным изомерам основано на различиях в их свойствах. Нормальные изомеры — более высокотемпературные соединения. В породах на больших глубинах и, как правило, в более древних скоплениях УВ нормальный бутан преобладает над изобутаном. По данным Дж. Ханта [Хант, 1982], в составе нефти нормальных алканов (в том числе пентана и гексана) почти в 2 раза больше, чем соответствующих изоалканов. Таким образом, в составе миграционного потока УВ к поверхности нормальные изомеры преобладают. Однако при биодегградации изоалканы труднее подвергаются воздействию микроорганизмов. Известно, что на пути диффузионного потока углеводородов (например, от залежи) в поверхностных отложениях развиваются популяции УВ-окисляющих бактерий, которые образуют биологический барьер, так называемый бактериальный фильтр [Оборин, Стадник, 1996]. Бактерии предпочитают потреблять нормальные алканы (по сравнению с изоалканами) и, таким образом, смещают исходное соотношение (i-алканы/i+n-алканы) в сторону 1. При этом, по данным А. А. Оборина, слишком высокие концентрации УВ угнетают деятельность потребляющих их микроорганизмов. Поэтому над зонами разломов «бактериальный фильтр» отсутствует и количество нормальных изомеров остается высоким. Аналогичная ситуация возникает в случае нефтяного загрязнения изучаемой территории.

В нашей выборке 2024 г. по соотношению изоалканов к нормальным алканам фиксируется влияние тектонической активности. Нефтяного загрязнения ни на одном из исследованных участков не обнаружено.

На диаграмме в координатах $C_5/\sum C_2-C_5/\sum C_4C_5$ (рис. 3.37) отчетливо видно, что в большей части проб присутствуют термогенные УВ.

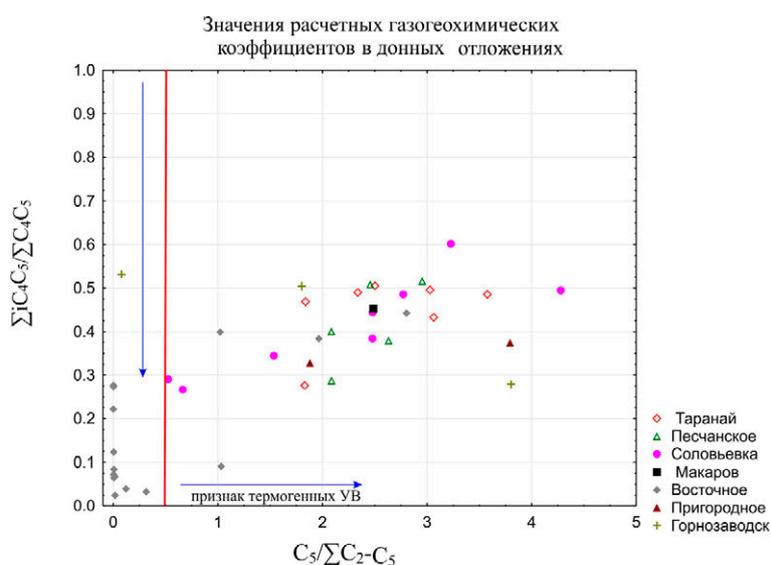


Рис. 3.37. Диаграмма $C_5/\sum C_2-C_5/\sum C_4C_5$

Средние, максимальные и минимальные содержания метана, гелия и водорода в придонных средах ключевых участков в 2023–2024 гг. показаны на рис. 3.38, 3.39.

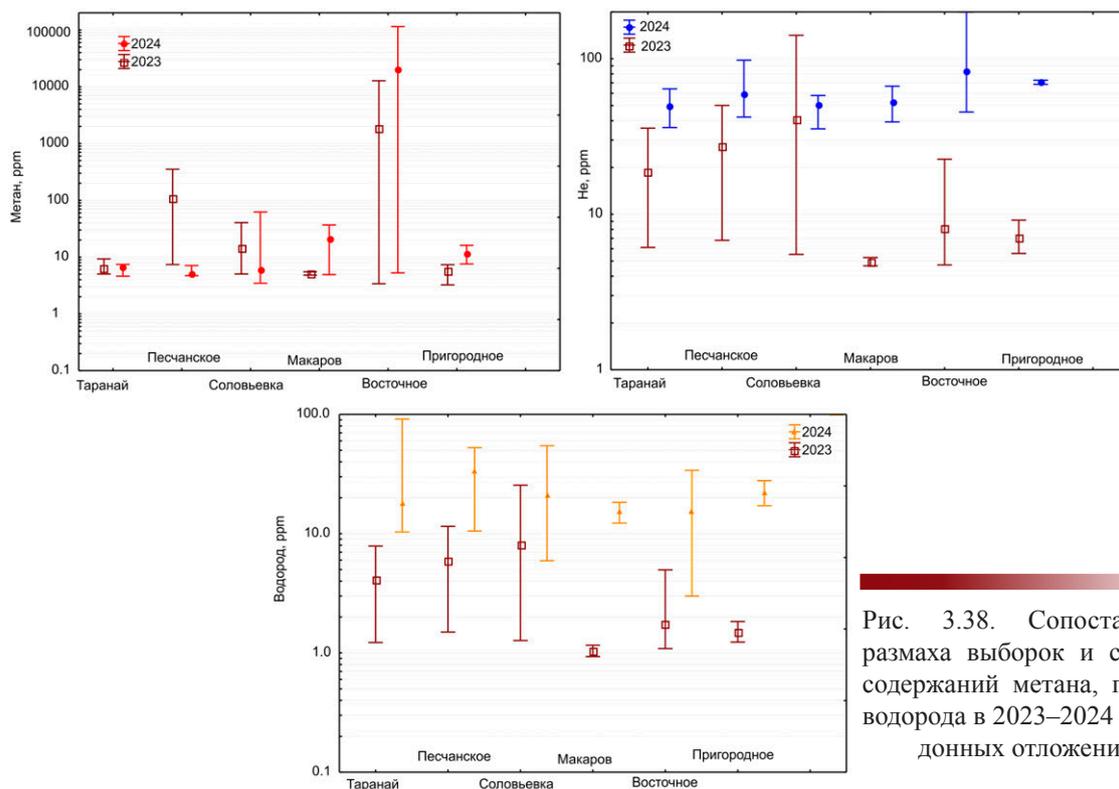


Рис. 3.38. Сопоставление размаха выборок и средних содержаний метана, гелия и водорода в 2023–2024 годах в донных отложениях

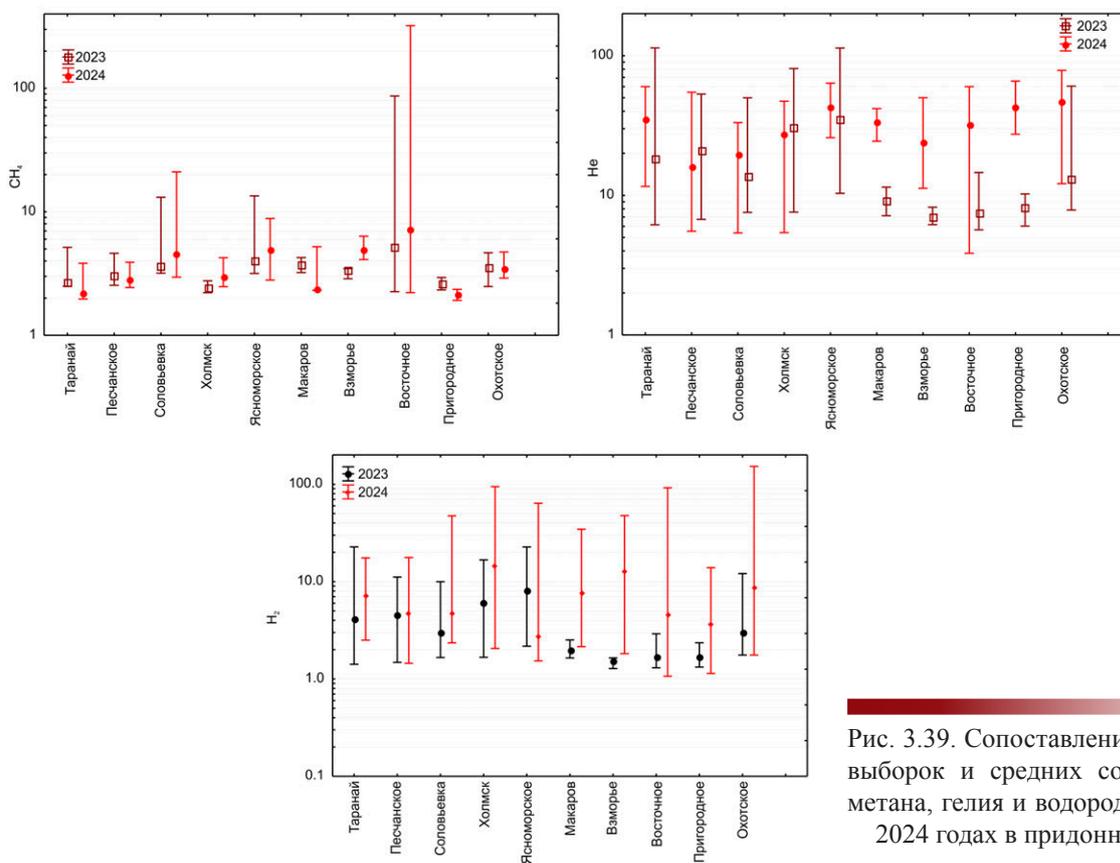


Рис. 3.39. Сопоставление размаха выборок и средних содержаний метана, гелия и водорода в 2023–2024 годах в придонной воде

Анализ данных этих рисунков позволяет заключить, что тектоническая активность региона в 2024 г. была выше (повышенные содержания гелия в придонных средах всех ключевых участков).

Сопоставление данных 2023 и 2024 гг. позволило уточнить контуры зон устойчивой флюидно-газовой разгрузки (повторяющиеся из года в год повышенные и аномальные значения содержаний УВ, гелия и водорода в донных отложениях и придонной воде) на участках «Песчанское», «Таранай», «Восточное» и «Взморье», а также по данным мониторинга 2024 г. уточнить зоны флюидно-газовой разгрузки на участках «Ясноморское» и «Холмск».

В 2024 г. наблюдалась активизация геодинамических процессов, приводящих к появлению газовых аномалий миграционной природы. Это связано с более высокой, чем в 2023 г., сейсмической активностью региона (рис. 3.40).

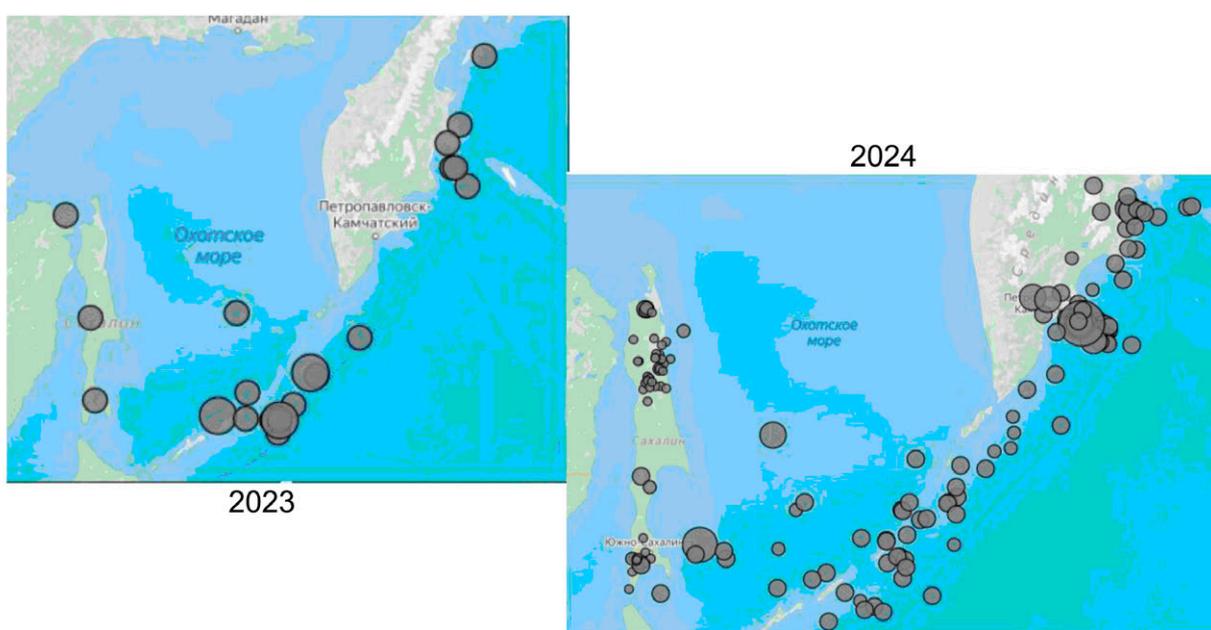


Рис. 3.40. Количество сейсмических событий в 2023–2024 годах (данные сайта Eqalet.ru)

Анализ данных мониторинга показывает, что, по данным опробования 2023–2024 гг., преобладают УВ миграционной и смешанной природы. Участки повышенных содержаний приурочены к зонам влияния разрывных нарушений, причем это распределение коррелирует с распределением гелия и водорода. Лишь в некоторых станциях можно предположить наличие биогенной компоненты.

В табл. 14 приведены морфометрические параметры зон устойчивой газо-флюидной разгрузки, выделенных по данным обследования ключевых участков в 2024 г.

Таблица 14. Каталог проявлений флюидно-газовой разгрузки в прибрежно-шельфовых зонах Японского и Охотского морей

Уникальный номер	Прибрежно-шельфовая зона	Географическая привязка	ГСК-2011		Длина проявления, м	Ширина проявления, м	Площадь проявления, м ²
			широта	долгота			
2	3	5	8	9	11	12	13
100.37.263	Японское море	П. Ясноморское	142.6402201	46.7543627	167,6	38,9	5250
100.37.264	Японское море	П. Ясноморское	142.6395470	46.7601271	423,7	114,3	26 150
100.37.265	Японское море	Г. Холмск	142.6376483	47.0982699	174,8	44,5	6700
100.37.266	Японское море	Г. Холмск	142.6360589	47.0991454	129,6	26,1	2930
100.37.267	Японское море	Г. Холмск	142.6308600	47.0995925	152,9	26,8	3280
100.37.268	Японское море	Г. Холмск	142.6318735	47.0932291	106,7	19,1	1710
100.37.269	Японское море	Г. Холмск	142.6340247	47.0867187	122,9	24,0	2360
101.37.270	Охотское море	П. Соловьевка	142.6334688	46.7154832	521,7	139,7	30 580
101.37.271	Охотское море	П. Соловьевка	142.6435274	46.7168699	409,8	81,3	22 910
101.37.272	Охотское море	П. Соловьевка	142.6442496	46.7135736	244,8	75,2	13 030
101.37.273	Охотское море	П. Соловьевка	142.6439108	46.7111646	468,0	281,3	73 410
101.37.274	Охотское море	П. Соловьевка	142.6509661	46.7088118	167,0	63,4	7950
101.37.275	Охотское море	П. Соловьевка	142.6510842	46.7098453	119,3	43,7	3390
101.37.276	Охотское море	П. Соловьевка	143.1951427	46.7149237	397,7	71,0	24 250
101.37.277	Охотское море	П. Пригородное	143.1902180	46.6170128	255,4	204,8	33 010
101.37.278	Охотское море	П. Пригородное	143.1891742	46.6140977	218,6	143,2	20 560
101.37.279	Охотское море	П. Пригородное	143.1902852	46.6158478	74,5	32,0	1730
101.37.280	Охотское море	П. Пригородное	143.1908536	46.6177917	301,9	51,8	8520
101.37.281	Охотское море	П. Пригородное	141.8853856	46.6124396	288,9	71,8	10 270
101.37.282	Охотское море	П. Пригородное	141.8858362	46.6141449	149,5	38,2	4540
101.37.283	Охотское море	П. Пригородное	141.8784708	46.6162426	349,5	103,1	18 960
101.37.284	Охотское море	П. Пригородное	141.8858874	46.6181108	93,9	40,5	2700
101.37.285	Охотское море	П. Пригородное	141.8919719	46.6117449	193,0	38,9	5830
101.37.286	Охотское море	П. Пригородное	143.1895784	46.6101189	148,8	40,1	4360
101.37.287	Охотское море	П. Пригородное	143.1903094	46.6143698	131,2	33,1	3170
101.37.288	Охотское море	П. Пригородное	143.1896010	46.6203399	209,2	46,1	7380
101.37.289	Охотское море	П. Пригородное	143.1911507	46.6217388	398,6	53,3	10 910
101.37.290	Охотское море	П. Пригородное	141.8855079	46.6206150	235,3	68,1	7070
101.37.291	Охотское море	П. Пригородное	141.8853431	46.6176848	165,8	134,3	14 910
101.37.292	Охотское море	П. Пригородное	141.8783413	46.6174048	369,3	105,5	23 670
101.37.293	Охотское море	П. Пригородное	141.8919389	46.6159323	94,1	26,2	2070
101.37.294	Охотское море	П. Пригородное	141.8861291	46.6134408	284,9	100,2	18 390
101.37.295	Охотское море	П. Пригородное	142.6449947	46.6120744	212,9	119,3	17 040
101.37.296	Охотское море	П. Пригородное	142.6447984	46.6129220	384,4	93,3	19 350
101.37.297	Охотское море	П. Пригородное	142.6448137	46.6139349	249,1	56,5	8890
101.37.298	Охотское море	П. Пригородное	142.6444239	46.6081163	639,2	234,7	55 090
101.37.299	Охотское море	П. Пригородное	142.6434287	46.6117789	202,7	83,0	11 490
101.37.300	Охотское море	П. Пригородное	142.6439883	46.6099141	95,8	36,6	2770

Уникальный номер	Прибрежно-шельфовая зона	Географическая привязка	ГСК-2011		Длина проявления, м	Ширина проявления, м	Площадь проявления, м ²
			широта	долгота			
2	3	5	8	9	11	12	13
101.37.301	Охотское море	П. Пригородное	141.8867018	46.6153289	110,2	40,0	2950
101.37.302	Охотское море	П. Пригородное	141.8905247	46.6184441	100,0	45,8	3400
101.37.303	Охотское море	П. Пригородное	142.0399264	46.6233237	105,4	55,8	4350
101.37.304	Охотское море	П. Таранай	142.0469876	46.6245061	178,8	149,8	18 060
101.37.305	Охотское море	П. Таранай	142.0494693	46.6305540	163,5	31,3	4210
101.37.306	Охотское море	П. Взморье	142.0478347	47.8411871	330,3	80,6	21 860
101.37.307	Охотское море	П. Взморье	142.0504393	47.8326821	522,2	420,3	141 510
101.37.308	Охотское море	П. Взморье	142.6821899	47.8313865	218,7	65,7	11 710
101.37.309	Охотское море	П. Восточное	142.6875102	48.2708524	507,2	167,8	33 820
101.37.310	Охотское море	П. Восточное	142.6902179	48.2764874	379,6	69,6	14 090
101.37.311	Охотское море	П. Восточное	142.7001791	48.2725895	220,7	65,9	10 650
101.37.312	Охотское море	П. Восточное	142.7068075	48.2678683	126,3	41,0	4050
101.37.313	Охотское море	П. Восточное	142.7104009	48.2662319	147,8	28,0	3220
101.37.314	Охотское море	П. Восточное	142.6948609	48.2653841	429,7	103,8	20 230
101.37.315	Охотское море	П. Восточное	142.8614302	48.2624472	147,8	63,1	5890
101.37.316	Охотское море	П. Восточное	142.8610131	48.2606498	331,8	87,1	10 590
101.37.317	Охотское море	П. Восточное	142.8632911	48.2624027	119,3	22,9	2220
101.37.318	Охотское море	П. Восточное	142.8661026	48.2633742	79,3	23,1	1410
101.37.319	Охотское море	П. Восточное	142.8619065	48.2530030	655,3	179,0	74 200
101.37.320	Охотское море	П. Восточное	142.8660683	48.2517774	101,4	41,2	2900
101.37.321	Охотское море	П. Восточное	142.8670629	48.2507439	153,8	83,9	9150
101.37.322	Охотское море	П. Восточное	142.8695838	48.2569425	269,4	118,3	23 760
101.37.323	Охотское море	П. Восточное	142.8706859	48.2533782	109,2	42,0	3540
101.37.324	Охотское море	П. Восточное	142.8668271	48.2615720	186,0	130,8	17 390
101.37.325	Охотское море	П. Восточное	142.8681425	48.2629222	106,4	52,5	4400
101.37.326	Охотское море	П. Восточное	142.8704838	48.2569847	78,4	27,2	1650
101.37.327	Охотское море	П. Охотское	142.8740407	46.8567901	115,3	19,4	1120
101.37.328	Охотское море	П. Охотское	142.8772480	46.8550667	106,2	17,0	1530

3.5. СТЕПЕНЬ РЕГИОНАЛЬНОЙ АКТИВНОСТИ ОПАСНЫХ ЭКЗОГЕННЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ПРИБРЕЖНО-ШЕЛЬФОВЫХ ЗОНАХ ЯПОНСКОГО И ОХОТСКОГО МОРЕЙ

В результате проведенных в 2024 г. исследований были определены площади распространения ОЭГП по 10 ключевым участкам мониторинга (табл. 15).

Таблица 15. Установленные опасные экзогенные геологические процессы и площади (кв. км) их проявлений по участкам

Участки	Газово-флюидная разгрузка	Грядовый рельеф, h >4 м	Гравитационные	Грязевой вулканизм
«Взморье»	0,45			
«Восточное»	0,4	0,9	0,05	0,36
«Макаров»				
«Охотское»	0,05		0,014	
«Холмск»	0,04		0,005	
«Ясноморское»	0,22	0,39	0,035	
«Таранай»	0,04	0,03		
«Песчанское»				
«Соловьевка»	0,2			
«Пригородное»	0,32			

По данным мониторинга оценена степень региональной активности ОЭГП (площадной и частотный коэффициенты активности, %) в 2024 г. (табл. 16).

Таблица 16. Степень региональной активности* опасных экзогенных геологических процессов (площадной и частотный коэффициенты активности (Ап и Ач), %) по сравнению с 2023 годом

Процессы	Таксон	2023		2024	
		Ап	Ач	Ап	Ач
Флюидно-газовая разгрузка	ПШЗ Охотского моря	27	37	48	52
		Восточно-Сахалинский шельф	35	35	35
	Залив Анива	16	43	68	63
	ПШЗ Японского моря	81	31	72	23
Гравитационные	ПШЗ Охотского моря	Установлено впервые		54	51
	Восточно-Сахалинский шельф	54		51	
	Залив Анива	0		0	
	ПШЗ Японского моря	22	45	39	31

* Степени региональной активности ОЭГП (отражающие относительную частоту активных проявлений ОЭГП) ранжируются следующим образом: очень высокая (более 50%); высокая (25–50%); средняя (10–25%); низкая (менее 10%).

Таким образом, в 2024 г. степень активности гравитационных процессов и газовой-флюидной разгрузки в ПШЗ Охотского и Японского морей высокая и очень высокая, что может быть связано с высоким уровнем сеймотектонической активности региона в летний период 2024 г.

Результаты оценки региональной активности ОЭГП отображены на карте активности опасных экзогенных геологических процессов (рис. 3.41), составленной как обобщение доступных литературных и фондовых данных и результатов оценки активности ОЭГП по 10 ключевым участкам мониторинга в 2024 г.

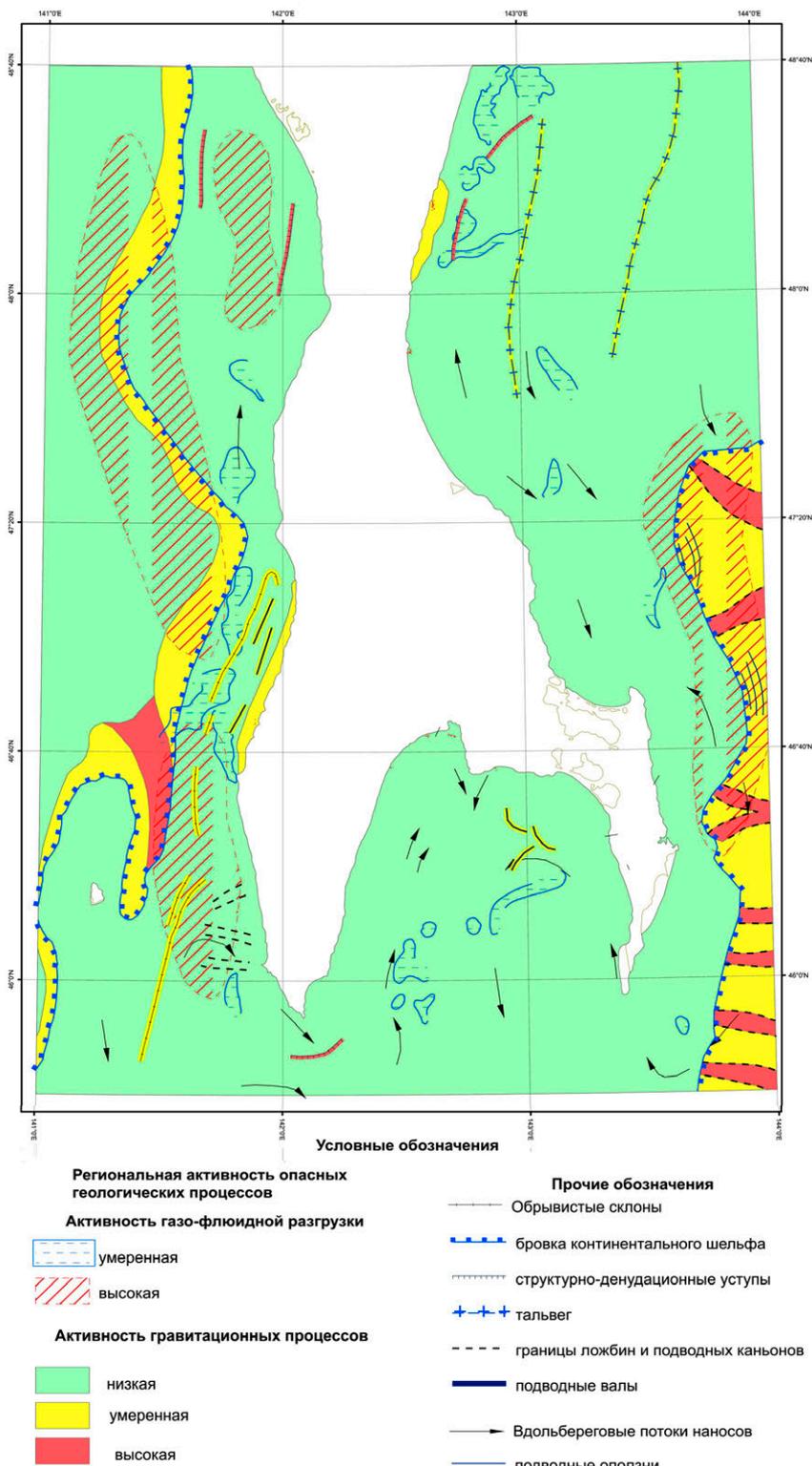


Рис. 3.41. Карта активности опасных экзогенных геологических процессов (масштаб 1:1 000 000)

4. ПРОГНОЗ РАЗВИТИЯ ОПАСНЫХ ЭКЗОГЕННЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ НА 2025 ГОД И ОПРАВДЫВАЕМОСТЬ ПРОГНОЗА

Прогноз составлен с использованием метода экспертных оценок на основе сравнительно-геологического анализа данных об активности ЭГП и факторах их развития. При этом учитывались выявленные ранее пространственно-временные закономерности развития проявлений процессов: многолетняя унаследованность и тенденция их развития в течение 2020–2024 гг.

В составе работ проведено краткосрочное региональное прогнозирование следующих типов ЭГП и их комплексов: гравитационных процессов, газово-флюидной разгрузки и грязевого вулканизма. Оценка и прогноз гравитационных процессов основываются прежде всего на результатах сравнения данных ежегодного эхолотного промера и особенностей гранулометрического состава донных отложений. Газово-флюидная разгрузка и проявления грязевулканической активности оцениваются по динамике содержаний и состава газовой фазы в донных отложениях и придонной морской воды. Дополнительно, по данным локации бокового обзора, грязевулканическая активность оценивается по динамике площадей донной поверхности, характерной исключительно для грязевых вулканов.

4.1. ГОДОВОЙ ПРОГНОЗ РАЗВИТИЯ ОПАСНЫХ ЭКЗОГЕННЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Составлен предварительный прогноз развития ОЭГП на основе наблюдений на 10 пунктах сети и литературных данных.

Сведения о прогнозируемой активности экзогенных геологических процессов на 2025 г. представлены в табл. 17.

Таблица 17. Прогнозируемая активность экзогенных геологических процессов на 2025 год в прибрежно-шельфовых зонах Охотского и Японского морей

Наименование пункта наблюдения	Прогнозируемая активность экзогенных геологических процессов на 2025 г.			
	очень высокая	высокая	средняя	низкая
Охотское море				
«Макаров»				ГФ
«Восточное»		ГФ	ГВ, Гр	
«Взморье»				ГФ
«Охотское»			Гр	ГФ
«Пригородное»			ГФ	Гр
«Песчанское»			ГФ	
«Соловьевка»		ГФ		
«Таранай»		ГФ		
Японское море				
«Ясноморское»			ГФ, Гр	
«Холмск»			ГФ, Гр	

Примечание: ГФ — газово-флюидная разгрузка; ГВ — грязевого вулканизм; Гр — гравитационные процессы.

Гравитационные процессы. Под влиянием литодинамики и морфологических особенностей донного рельефа создаются предпосылки для развития гравитационных процессов, активизация которых зафиксирована на участке «Ясноморское». Впервые выделены зоны развития гравитационных процессов на участках «Восточное», «Пригородное», «Охотское» и «Холмск». Интенсивность их на участках проявляется в значительном изменении мощности осадков за период наблюдений 2022–2023 гг. Уступы высотой до 6 м с учетом интенсивного воздействия литодинамики создают благоприятную обстановку для развития в их пределах гравитационных процессов. Так, на подводном береговом склоне на участке «Охотское» проявление последних в виде оползней высотой около 1–1,5 м и протяженностью в основании около 15 м фиксируется в северо-восточной части участка.

Газово-флюидная разгрузка. В 2024 г. в исследуемом регионе наблюдалась активизация геодинамических процессов, приводящих к появлению газовых аномалий миграционной природы. Сопоставление размаха выборок и фоновых содержаний УВ и неорганических газов в 2023–2024 гг. в донных отложениях и придонной воде показало, что: 1) в донных отложениях увеличился фон метана при одновременном возрастании фоновых содержаний его гомологов и непредельных УВ (за исключением изобутана, пентана и изопентана); фоновые содержания гелия и углекислого газа выросли, а содержания водорода уменьшились; 2) в придонной воде фон практически всех УВ уменьшился, увеличилось содержание гелия и углекислого газа. Размах выборок в 2023 г. практически для всех компонентов ниже.

Комплексными аномалиями характеризуются участки «Восточное» и «Соловьевка», аномалии в придонной воде отмечены на участках «Холмск» и «Ясноморское», «Соловьевка», «Взморье» и «Восточное».

Аномальные и повышенные содержания гелия и водорода, свидетельствующие о современной тектонической активности региона, отмечены в донных отложениях и придонной воде на участках «Холмск», «Ясноморское», «Соловьевка», «Таранай», «Охотское», «Восточное» и «Взморье».

По интенсивности проявления газо-флюидной разгрузки 10 пунктов наблюдения можно расположить в ряд от большей к меньшей: «Восточное», «Соловьевка», «Пригородное», «Таранай», «Ясноморское», «Холмск», «Песчанское», «Взморье», «Макаров», «Охотское».

В донных отложениях концентрация метана достигает 114 829 ppm, этана — 110 ppm, этилена — 41 ppm, пропана — 4,2 ppm, пропилена — 8,1 ppm, изобутана — 0,3 ppm, н-бутана — 2,6 ppm, углекислого газа — 151 489 ppm, гелия — 199,8 ppm. В придонной воде концентрации углеводородных газов значительно ниже, чем в донных отложениях, и их максимальные содержания составляют: метан — 321,5 ppm, этан — 0,088 ppm, этилен — 0,091 ppm, пропан — 0,521 ppm, пропен — 0,111 ppm, изобутан — 0,626 ppm, бутан — 1,336 ppm, гелий — 78,5 ppm, водород — 152,7 ppm, углекислый газ — 2065 ppm.

Углекислый газ, гелий и водород часто образуют комплексные аномалии с углеводородами, но могут образовывать и самостоятельные проявления флюидно-газовой разгрузки. В областях флюидно-газовой разгрузки в донных отложениях концентрации углекислого газа достигают 151 489 ppm, а в воде — лишь 2065 ppm. Гелий и водород в осадках и придонной воде в зонах разгрузки встречаются в сопоставимых концентрациях. Гелий в осадке — до 199 ppm, в воде — до 78,5 ppm; водород в осадке — до 99 ppm, в воде — до 152,7 ppm. Наиболее активное поступление газов (гелий, водород, метан) и наличие индикаторов грязевого вулканизма (ртути) установлены в донных отложениях и придонной воде на ключевом участке «Восточное», расположенном всего в 10 км от Пугачевских грязевых вулканов. Наличие широкого

ореола повышенных концентраций метана, от 6 до 39 мл/кг, при фоновых значениях 3–4 мл/кг в придонном слое воды свидетельствует об эмиссии газов в настоящее время, что позволяет уверенно прогнозировать продолжение разгрузки и в 2025 г.

Анализ данных мониторинга показывает, что, по данным опробования 2022–2023 гг., преобладают УВ миграционной и смешанной природы. Участки повышенных содержаний приурочены к зонам влияния разрывных нарушений, причем это распределение коррелирует с распределением гелия и водорода. Лишь в некоторых станциях можно предположить наличие биогенной компоненты.

В 2024 г. наблюдалась активизация геодинамических процессов, приводящих к появлению газовых аномалий миграционной природы. Это связано с более высокой, чем в 2023 г., сейсмической активностью региона, что позволяет уверенно прогнозировать продолжение разгрузки и в 2024 г.

Грязевой вулканизм. Проявления грязевого вулканизма нами впервые установлены на пункте наблюдения «Восточное» в 2021 г. Здесь выявлено наиболее активное поступление газов (гелий, водород, метан) в придонную воду, а также, кроме газов, в донных отложениях обнаружены индикаторы грязевого вулканизма (ртуть). По всей видимости, в донных отложениях отражается геохимическое поле Пугачевской группы грязевых вулканов, эпицентр которых находится на суше в 10 км к юго-западу. Пугачевский вулкан просыпается с периодичностью 30–40 лет, последняя активизация наблюдалась в 2005 г. Наиболее сильное извержение этого вулкана зарегистрировано в 1934 г. Потоки выбрасываемой грязи были настолько мощными, что валили и ломали деревья. Взрывы большой силы с подъемом грязевой струи на высоту до 50 м происходили в 1929, 1961, 2005 гг. очевидцы рассказывают, что подобные явления сопровождаются сильным гулом, напоминающим шум реактивного двигателя. Значительные по весу куски грязи отлетают от кратеров на 100 м. Подсчеты показали, что в 1961 г. объем выброшенной грязевой массы составлял 15 000 тонн [Мельников, 2011].

Поскольку Пугачевский грязевой вулкан в той или иной степени активен со времени его первого описания еще японским геологом в начале XX в. [Мельников, Ершов, 2010; Ершов и др., 2010], то и в следующем году подводное его проявление будет активно, вероятно, на уровне средней степени. Для прогноза активного извержения вулкана нужны многолетние ряды инструментальных наблюдений.

4.2. ОЦЕНКА ОПРАВДЫВАЕМОСТИ ПРОГНОЗА ОПАСНЫХ ЭКЗОГЕННЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Оценка оправдываемости прогнозов развития ОЭГП осуществляется на основе их проверки путем сопоставления прогнозирувавшейся в 2023 г. на 2024 г. и фактически наблюдавшейся степени активности ЭГП в 2024 г. Сводные данные об оправдываемости прогноза приведены в табл. 18.

Таблица 18. Оправдываемость прогнозов экзогенных геологических процессов по территории прибрежно-шельфовой зоны Охотского и Японского морей на 2024 год

Прибрежно-шельфовая зона Пункты наблюдения	Гравитационные процессы			Газово-флюидная разгрузка			Грязевые вулканы			Примечание
	I	II	III	I	II	III	I	II	III	
1	2			3			4			5
ПШЗ Японского моря	1	2	У	2	2	Х	–	–	–	
«Ясноморское»	1	2	У	1	3	Н	–	–	–	В 2023 г. впервые выявлена площадная зона газово-флюидной разгрузки
«Холмск»	–	1	У	1	2	У	–	–	–	В 2023 г. гравитационные процессы выявлены впервые
ПШЗ Охотского моря	1	2	У	2	2	Х	2	2	Х	Грязевой вулканизм выявлен впервые в 2021 г.
«Макаров»	–	–	Х	1	1	Х	–	–	–	
«Восточное»	–	3	Н	4	4	Х	2	2	Х	В 2023 г. гравитационные процессы выявлены впервые
«Взморье»	–	–	Х	1	1	Х	–	–	–	
«Охотское»	–	1	У	1	1	Х	–	–	–	В 2023 г. гравитационные процессы выявлены впервые
«Пригородное»	–	1	У	1	1	Х	–	–	–	В 2023 г. гравитационные процессы выявлены впервые
«Песчанское»	–	–	Х	2	2	Х	–	–	–	
«Таранай»	–	–	Х	1	2	У	–	–	–	
«Соловьевка»	–	–	Х	1	2	У	–	–	–	

Графа 1. Прибрежно-шельфовая зона моря и название пункта наблюдения.

Графы 2–4. Информация об оправдываемости прогнозов для различных генетических типов ОЭГП:

I — прогнозирувавшаяся активность ОЭГП на 2024 г. (4 — очень высокая, 3 — высокая, 2 — средняя, 1 — низкая);

II — наблюдавшаяся активность ОЭГП в 2024 г. (4 — очень высокая, 3 — высокая, 2 — средняя, 1 — низкая);

III — оправдываемость прогноза (H — прогноз не оправдался, У — прогноз оправдался удовлетворительно, X — прогноз оправдался хорошо).

Графа 10. Примечание. Краткий анализ возможных причин, по которым прогноз не оправдался.

Примечания к таблице: а) «←» — процесс не развит; б) н. д. — нет данных о степени активности ОЭГП.

Прогноз активизации гравитационных процессов оправдался в удовлетворительной степени для участков «Ясноморское», «Восточное», «Охотское» и «Холмск», отсутствие этих процессов, как и в 2023 г., отмечено на участках «Взморье», «Песчанское», «Таранай», «Соловьевка» и «Макаров». Впервые выделены зоны развития гравитационных процессов на участках «Восточное», «Пригородное», «Охотское» и «Холмск».

Прогноз **газово-флюидной разгрузки** оправдался на семи участках. Удовлетворительно прогноз оправдался на участках «Таранай», «Соловьевка» и «Холмск», где в 2024 г. активность газово-флюидной разгрузки возросла с низкой до средней. На участке «Ясноморское» прогноз газово-флюидной разгрузки оправдался плохо, активность ее возросла с низкой до высокой. Степень оправдываемости прогнозов газово-флюидной разгрузки невысока, так как интенсивность процесса обусловлена сейсмотектонической активностью, которая, в свою очередь, непредсказуема в годовом цикле наблюдений.

Проявление **грязевого вулканизма** на участке «Восточное» выявлено нами впервые в 2021 г. Прогноз активности грязевого вулканизма на 2024 г. оправдался на «хорошо». Активность данного процесса в 2024 г. была оценена как высокая.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Бюллетень о состоянии недр прибрежно-шельфовых зон Японского и Охотского морей в 2024 г. составлен по итогам выполненных исследований на пунктах наблюдательной сети, а также по результатам сбора, анализа и обобщения опубликованных и неопубликованных источников информации о состоянии недр прибрежно-шельфовых зон. Он несет новейшую геологическую информацию о состоянии недр и активности ОЭГП региона. Охарактеризованы наблюдательная сеть и применяемые методы, региональная активность ОЭГП, прогноз их развития.

Оценена региональная активность ОЭГП в прибрежно-шельфовых зонах Японского и Охотского морей за 2024 г.

Составлен прогноз развития опасных экзогенных процессов на основе наблюдений на 10 пунктах наблюдательной сети и литературных данных. Исходя из анализа этого материала, можно прогнозировать высокую степень активности газово-флюидной разгрузки на Восточно-Сахалинском шельфе, умеренную — в заливе Анива и в ПШЗ Японского моря, умеренную степень активности гравитационных процессов в ПШЗ Охотского и Японского моря.

В 2024 г. установлено активное состояние гравитационных процессов на участке «Ясноморское», отмечены зоны развития гравитационных процессов на участках «Восточное», «Охотское» и «Холмск», подтверждена по геофизическим и геохимическим данным площадная зона газово-флюидной разгрузки на участке «Ясноморское».

В 2024 г. в исследуемом регионе наблюдалась активизация геодинамических процессов, приводящих к появлению газовых аномалий миграционной природы. В результате сопоставления данных ГЛБО, полученных в 2023–2024 гг., с учетом не только количественных, но и качественных изменений выделяемых ГАА, большинству участков присущ рост интенсивности процессов газово-флюидной разгрузки. К таким участкам относятся (по степени убывания интенсивности): «Пригородное», «Восточное», «Холмск», «Соловьевка», «Ясноморское», «Охотское». Уменьшение интенсивности процессов газово-флюидной разгрузки наблюдается на участках «Песчанское» и «Взморье». Равновесное состояние процессов отмечено на участках «Таранай» и «Макаров».

Комплексными аномалиями УВ, неорганических газов и металлов характеризуются участки «Восточное» и «Соловьевка», аномалии в придонной воде отмечены на участках «Холмск» и «Ясноморское», «Соловьевка», «Взморье» и «Восточное».

Аномальные и повышенные содержания гелия и водорода, свидетельствующие о современной тектонической активности региона, отмечены в донных отложениях и придонной воде на участках «Холмск», «Ясноморское», «Соловьевка», «Таранай», «Охотское», «Восточное» и «Взморье».

Негативных воздействий ОЭГП на хозяйственные объекты в прибрежно-шельфовых зонах Японского и Охотского морей в 2024 г. не отмечалось.

Список литературы

1. Аленичева А. А., Лызганов А. В., Иванова В. В. и др. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1:1 000 000. Третье поколение. Серия Дальневосточная. Лист L-(53),54 — Южно-Сахалинск. Объяснительная записка / Минприроды России, Роснедра, ФГБУ «ВСЕГЕИ», АО «Росгеология», АО «Дальневосточное ПГО», АО «Сахалинская ГРЭ», ФГБУ «ВНИИОкеангеология». СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2021. 536 с.
2. Астахов А. С. Позднечетвертичное осадконакопление на шельфе Охотского моря. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1986. 140 с.
3. Атлас. Геология и полезные ископаемые шельфов России. 2004 г. Главный редактор: М. Н. Алексеев / ГИН РАН, ВНИИОкеангеология, ТОИ ДВО РАН, ИГЕМ РАН и др. Рабочая группа «Шельф» геологической секции Научного совета РАН по проблемам Мирового океана.
4. Баранов Б. В., Дозорова К. А., Рукавишников Д. Д. Опасные геологические процессы на восточном склоне острова Сахалин // Океанология. 2015. Т. 55, № 6. С. 1001.
5. Баранов Б. В., Лобковский Л. И., Куликов Е. А., Рабинович А. Б., Джин Я. К., Дозорова К. А. Оползни на восточном склоне о. Сахалин как источники возможных цунами // Доклады РАН. 2013. Т. 449, № 3. С. 1–4.
6. Бейзель С. А., Гусяков В. К., Рычков А. Д., Чубаров Л. Б. Вычислительные технологии определения заплесков волн цунами на отдельные участки дальневосточного побережья России. В сборнике: Проблемы комплексного геофизического мониторинга Дальнего Востока России // Труды Четвертой научно-технической конференции. Российская академия наук, Геофизическая служба, Камчатский филиал; отв. ред. В. Н. Чебров. 2013. С. 241–245.
7. Бровка П. Ф., Малюгин А. В., Микушин Ю. А. Техногенные берега острова Сахалин // Создание искусственных пляжей, островов и других сооружений в береговой зоне морей, озер и водохранилищ. Новосибирск, 2009. С. 196–200.
8. Геология и полезные ископаемые России: В 6 т. Т. 5. Арктические и Дальневосточные моря: Дальневосточные моря, их континентальное и островное обрамление / ред. В. К. Ротман. СПб.: изд-во ВСЕГЕИ, 2005. 303 с.
9. Дзюбло А. Д. Опасные природные явления при освоении нефтегазовых месторождений на шельфе Охотского моря / А. Д. Дзюбло, М. С. Савинова // Актуальные проблемы нефти и газа. 2018. № 4 (23). С. 57.
10. Ершов В. В., Шакиров Р. Б., Мельников О. А., Копанина А. В. Вариации параметров грязевулканической деятельности и их связь с сейсмичностью юга острова Сахалин // Региональная геология и металлогения. 2010. № 42. С. 49–57.
11. Жаров А. Э. Геология, геодинамика и перспективы нефтегазоносности осадочных бассейнов Татарского пролива / А. Э. Жаров, Г. Л. Кириллова, Л. С. Маргулис, Л. С. Чуйко, В. В. Куделькин, В. Г. Варнавский, В. Н. Гагаев. Владивосток: ДВО РАН, 2004. 220 с.
12. Землетрясения России в 2006 году / Гл. ред. А. А. Маловичко. Обнинск: ГС РАН, 2007. 180 с.: ил. + 1 электрон. опт. диск (CD-ROM).
13. Круглякова Р. П. и др. Геохимические методы поисков нефти и газа на акваториях // Геология, методы поисков, разведки и оценки месторождений топливно-энергетического сырья: Обзор / ООО «Геоинформцентр», 2003. 46 с.
14. Лавренова Е. А. Новые данные геохимических исследований Туапсинского прогиба на нефть и газ // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. М.: ОАО «ВНИИО-ЭНГ», 2006. № 4. С. 20–29.
15. Мельников О. А. О динамике и природе Пугачевской группы газодолитокластитовых («грязевых») вулканов на Сахалине по данным визуальных наблюдений и орогидрографии // Вулканология и сейсмология. 2011. № 6. С. 47.

16. Мельников О. А., Ершов В. В. Грязевой (газоводолитокластитовый) вулканизм острова Сахалин: история, результаты и перспективы исследований // Вестник Дальневосточного отделения РАН. 2010. № 6 (154). С. 87–93.
17. Миронюк С. Г. Газонасыщенные морские грунты и естественные газовыделения углеводородов: закономерности распространения и опасность для инженерных сооружений / С. Г. Миронюк, В. П. Отто // ГеоРиск. 2014. № 2. С. 8–18.
18. Миронюк С. Г. Геологические опасности осваиваемых месторождений восточного шельфа о. Сахалин: идентификация и принципы картографирования // Научно-технический сборник «Вести газовой науки». 2015. № 2 (22). С. 113–117.
19. Николаева А. И. Поиск донных газовых источников и газогидратов на западном склоне о-ва Сахалин (Татарский пролив, Японское море) и в заливе Терпения (Охотское море). Отчет по результатам экспедиционных исследований в 62-м рейсе НИС «Академик М. А. Лаврентьев» (19 июня — 5 июля 2013 г.). ТОИ ДВО РАН, 2013.
20. Обжиров А. И. Оползневые процессы в районе юго-западного склона Курильской котловины Охотского моря / А. И. Обжиров, Б. В. Баранов, Р. Б. Шакиров [и др.] // Геосистемы переходных зон. 2018. Т. 2, № 2. С. 92–98.
21. Обжиров А. И. Отчет по результатам экспедиционных исследований в 56-м рейсе НИС «Академик М. А. Лаврентьев» (9–28 августа 2011 г.). Поиск донных флюидных и газовых источников на новых участках северо-восточного склона острова Сахалин и в заливе Терпения. ТОИ ДВО РАН, 2011.
22. Обжиров А. И. Поиск донных газовых источников и газогидратов на северо-западном склоне острова Сахалин (Татарский пролив, Японское море) и на западном склоне Курильского бассейна (Охотское море). Отчет по результатам экспедиционных исследований в 67-м рейсе НИС «Академик М. А. Лаврентьев» (17 июня — 3 июля 2014 г.). ТОИ ДВО РАН, 2014.
23. Обжиров А. И. Распределение содержания и потоков метана на акваториях Японского, Охотского морей и Прикурильской части Тихого океана / А. И. Обжиров, Н. Л. Пестрикова, Г. И. Мишукова, В. Ф. Мишуков, А. К. Окулов // Метеорология и гидрология. 2016. № 3. С. 71–81.
24. Оборин А. А., Стадник Е. В. Нефтегазопроисковая геомикробиология. Екатеринбург, 1996. 406 с.
25. Объяснительная записка. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1:1 000 000. Третье поколение. Серия Дальневосточная. Лист L-(53),54 — Южно-Сахалинск / А. А. Аленичева, А. В. Лызганов, В. В. Иванова и др. СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2021.
26. Петрография и петрология магматических, метаморфических и метасоматических горных пород / ред. О. А. Богатиков, В. С. Попов. М.: Логос, 2001. 768 с.
27. Раукас А. В. Донные отложения Псковско-Чудского озера. Таллин, 1981. 160 с.
28. Седиментология / Р. Градзинский, А. Костецкая, А. Радомский, Р. Унруг; науч. ред. Р. Унруг; пер. с польск. Р. Е. Мельцера, Н. П. Григорьева; под ред. Н. Б. Вассоевича, М. Г. Бергера. М.: Недра, 1980. 646 с.
29. Хант Дж. Геохимия и геология нефти и газа. М.: Мир, 1982. 703 с.
30. Шакиров Р. Б., Обжиров А. И. Морфотектонический контроль потоков метана в Охотском море // Подводные исследования и робототехника. 2009. № 1 (7). С. 31–39.
31. Щетников Н. А. Цунами на побережье Сахалина и Курильских островов по мареографным данным 1952–1968 гг. Владивосток: ДВО АН СССР, 1990.
32. Abrams M. A. Significance of hydrocarbon seepage relative to petroleum generation and entrapment // Marine and Petroleum Geology. 2005. Vol. 22. P. 457–477.
33. Blott S. J., Pye K. GRADISTAT: a grain size distribution and statistics package for the analysis of unconsolidated sediments // Earth Surf. Process. Landforms. 2001. Vol. 26. P. 1237–1248.
34. Folk R. L., Ward W. C. Brazos River bar: a study in the significance of grain size parameters // Journal of Sedimentary Petrology. 1957. Vol. 27. P. 3–26.
35. Operation report of Sakhalin slope gas hydrate Project, 2014, RV Akad. M. A. Lavrentyev Cruise 67 / Y. K. Jin et al. (eds) // Incheon: Korea Polar Res. Inst., 2015. 121 p.

