



ВСЕРОССИЙСКИЙ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
им. А. П. КАРПИНСКОГО



ИНФОРМАЦИОННЫЙ БЮЛЛЕТЕНЬ

о состоянии недр прибрежно-шельфовых зон
Белого, Баренцева и Балтийского морей
Российской Федерации в 2024 г.

Санкт-Петербург
2025 г.

МИНИСТЕРСТВО ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ И ЭКОЛОГИИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
(Минприроды России)

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЮ
(Роснедра)

Федеральное государственное бюджетное учреждение
«Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А. П. Карпинского»
(ФГБУ «Институт Карпинского»)

ИНФОРМАЦИОННЫЙ БЮЛЛЕТЕНЬ

О СОСТОЯНИИ НЕДР ПРИБРЕЖНО-ШЕЛЬФОВЫХ ЗОН
БЕЛОГО, БАРЕНЦЕВА И БАЛТИЙСКОГО МОРЕЙ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ В 2024 г.

Санкт-Петербург
Издательство ФГБУ «Институт Карпинского»
2025

УДК 550.83:551.351:504(268.45/.46+261.24)(055)
ББК 26.38+26.823(912.1+912.2+922.0)
Ж26

Авторы-составители

*В. А. Жамойда, А. Г. Григорьев, А. Ю. Сергеев, Д. В. Рябчук, Д. С. Фатеев,
Л. М. Буданов, А. Н. Сукнотова, А. К. Румянцева, Е. М. Михайлов,
О. В. Дронь, И. А. Неевин, О. А. Ковалева (Институт Карпинского),
Д. В. Дорохов, Е. В. Дорохова (Институт океанологии РАН)*

Научные редакторы

Б. И. Королев, М. А. Ткаченко, П. В. Химченко

Информационный бюллетень о состоянии недр прибрежно-шельфовых зон Белого, Баренцева и Балтийского морей Российской Федерации в 2024 г. / В. А. Жамойда, А. Г. Григорьев, А. Ю. Сергеев, Д. В. Рябчук, Д. С. Фатеев, Л. М. Буданов, А. Н. Сукнотова, А. К. Румянцева, Е. М. Михайлов, О. В. Дронь, И. А. Неевин, О. А. Ковалева, Д. В. Дорохов, Е. В. Дорохова [Электронный ресурс] / Минприроды России, Роснедра, ФГБУ «Институт Карпинского». — Электрон. текстовые дан. — Санкт-Петербург : Изд-во ФГБУ «Институт Карпинского», 2025. — 1 опт. диск (DVD-ROM) (1,92 Мб). — Систем. требования: Windows; Acrobat Reader от 10.0; дисковод DVD-ROM. — Загл. с экрана. — ISBN 978-5-00266-055-1.

Данная публикация представляет собой очередной выпуск Информационного бюллетеня о состоянии недр прибрежно-шельфовой зоны Белого, Баренцева и Балтийского морей, издающегося Всероссийским научно-исследовательским геологическим институтом им. А. П. Карпинского ежегодно с 2011 г.

Электронные версии бюллетеней с 2011 по 2024 гг. размещены на сайте https://karpinskyinstitute.ru/ru/info/public/bulletin/info_marine/. В Информационном бюллетене приводится оценка региональной активности опасных экзогенных геологических процессов на основе анализа данных полевых и лабораторных исследований в 2024 г. по восьми площадным пунктам наблюдений, охватывающим Кольский залив Баренцева моря, район Соловецких островов в Белом море, а также восточную часть Финского залива и Российский сектор юго-восточной части Балтийского моря. При исследованиях применялся традиционный спектр геолого-геофизических методов работ на акватории, включающий сейсмоакустическое профилирование, гидролокацию бокового обзора, донный пробоотбор и подводное фототелепрофилирование. Определены основные тенденции развития потенциально опасных экзогенных геологических процессов за истекший годовой период.

УДК 550.83:551.351:504(268.45/.46+261.24)(055)
ББК 26.38+26.823(912.1+912.2+922.0)

ISBN 978-5-00266-055-1

© Роснедра, 2025
© ФГБУ «Институт Карпинского», 2025
© Коллектив авторов, 2025
© Издательство ФГБУ «Институт Карпинского», 2025

ОГЛАВЛЕНИЕ

СПИСОК ПРИНЯТЫХ СОКРАЩЕНИЙ	4
ВВЕДЕНИЕ	5
1. ПРИБРЕЖНО-ШЕЛЬФОВАЯ ЗОНА БАЛТИЙСКОГО МОРЯ (РОССИЙСКАЯ ЧАСТЬ)	7
1.1. Прибрежно-шельфовая зона восточной (российской) части Финского залива	7
1.1.1. Общие сведения	7
1.1.2. Наблюдательная сеть и применяемые методы	9
1.1.3. Региональная активность опасных экзогенных геологических процессов в 2024 г.	13
1.1.4. Воздействие опасных экзогенных геологических процессов на хозяйственные объекты и рекомендации по снижению ущерба	46
1.2. Прибрежно-шельфовая зона Российского сектора юго-восточной части Балтийского моря ...	48
1.2.1. Общие сведения.....	48
1.2.2. Наблюдательная сеть и применяемые методы	50
1.2.3. Региональная активность опасных экзогенных геологических процессов в 2024 г.	51
1.2.4. Воздействие опасных экзогенных геологических процессов на хозяйственные объекты и рекомендации по снижению ущерба.....	54
2. ПРИБРЕЖНО-ШЕЛЬФОВАЯ ЗОНА БЕЛОГО МОРЯ	56
2.1. Общие сведения	56
2.2. Наблюдательная сеть и применяемые методы.....	58
2.3. Региональная активность опасных экзогенных геологических процессов в 2024 г.	58
2.4. Воздействие опасных экзогенных геологических процессов на хозяйственные объекты и рекомендации по снижению ущерба.....	61
3. ПРИБРЕЖНО-ШЕЛЬФОВАЯ ЗОНА БАРЕНЦЕВА МОРЯ (РОССИЙСКАЯ ЧАСТЬ)	64
3.1. Общие сведения	64
3.2. Наблюдательная сеть и применяемые методы	65
3.3. Региональная активность опасных экзогенных геологических процессов в 2024 г.	66
3.4. Воздействие опасных экзогенных геологических процессов на хозяйственные объекты и рекомендации по снижению ущерба	70
4. ПРОГНОЗ РАЗВИТИЯ ОПАСНЫХ ЭКЗОГЕННЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ НА 2025 г. И ОПРАВДАВАЕМОСТЬ ПРОГНОЗА	71
4.1. Методика составления прогноза	71
4.2. Прогноз развития экзогенных геологических процессов в прибрежно-шельфовой зоне Балтийского моря на 2025 г.	72
4.2.1. Прогноз развития экзогенных геологических процессов в прибрежно-шельфовой зоне восточной части Финского залива Балтийского моря на 2025 г.	72
4.2.2. Прогноз развития экзогенных геологических процессов в прибрежно-шельфовой зоне Российского сектора юго-восточной части Балтийского моря на 2025 г.	75
4.3. Прогноз развития экзогенных геологических процессов в прибрежно-шельфовой зоне Белого моря на 2025 г.	76
4.4. Прогноз развития экзогенных геологических процессов в прибрежно-шельфовой зоне Баренцева моря (Кольский залив) на 2025 г.	76
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	77
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	80

СПИСОК ПРИНЯТЫХ СОКРАЩЕНИЙ

АО ИО РАН — Атлантическое отделение Института океанологии Российской Академии наук

ГГТ — герметичная грунтовая трубка или грунтовая трубка конструкции Лаури Ниемисто

ГК-1000 — государственная геологическая карта масштаба 1 : 1 000 000

ГЛБО — гидролокация бокового обзора

ГМСН — государственный мониторинг состояния недр

ЖМК — железомарганцевые конкреции

МЛСП — морская ледостойкая стационарная платформа

МЛЭ — многолучевое эхолотирование

НСАП — непрерывное сейсмоакустическое профилирование

ПР — профиль

ОВ — органическое вещество

РФ — Российская Федерация

т. н. — точка наблюдения

ст. — станция наблюдения

ЭГП — экзогенные геологические процессы

ВВЕДЕНИЕ

Данная публикация представляет собой очередной выпуск Информационного бюллетеня о состоянии недр прибрежно-шельфовой зоны Белого, Баренцева и Балтийского морей, который издается Всероссийским научно-исследовательским геологическим институтом им. А. П. Карпинского (Институтом Карпинского) ежегодно с 2011 г. В бюллетенях приводится краткая информация об итогах годовых циклов работ по государственному мониторингу состояния недр (далее — ГМСН) на территории Российской Федерации, ведущихся в соответствии с Государственным заданием Федерального агентства по недропользованию (Роснедра). Электронные версии информационных бюллетеней с 2011 по 2024 гг. размещены на сайте института: https://karpinskyinstitute.ru/ru/info/public/bulletin/info_marine/.

Актуальность проведения ГМСН в прибрежно-шельфовых зонах морей северо-запада Российской Федерации с целью оценки современного состояния экзогенных геологических процессов (далее — ЭГП) и прогноза его изменения определяется двумя важными факторами. Во-первых, глобальное изменение климата, в том числе затрагивающее и Северо-Западный регион России, в значительной мере влияет на изменение процессов морфоседиментогенеза в прибрежно-шельфовых зонах Белого, Баренцева и Балтийского морей, что, в свою очередь, сказывается на пространственном распределении и активности проявлений ЭГП. Во-вторых, и так высокий уровень освоения этих зон может существенно повыситься в ближайшие годы в связи с потребностью Российской Федерации (далее — РФ) в развитии внутренних транспортных коридоров и изменением схем логистики в морях северо-запада страны. Развитие портовой инфраструктуры, строительство новых и поддержание существующих фарватеров, отсыпка искусственных территорий требуют интенсификации процессов дноуглубления и дампинга грунтов на дно моря. Расширение строительства в береговой зоне различного рода гидротехнических сооружений (портовые терминалы и причалы, берегозащитные сооружения, намывные искусственные острова, всевозможные дамбы, путепроводы, ряжевые преграды и т. д.) также влияет на природные лито- и морфодинамические процессы, существенно изменяя рельеф дна, направление и емкость потоков наносов, характер распределения донных грунтов, то есть воздействуя на состояние недр (геологической среды).

В восточной части Финского залива и в российской части юго-восточной Балтики осуществлялась в прошлом и производится в настоящее время подводная добыча полезных ископаемых (строительные пески, песчано-гравийные смеси, железомарганцевые конкреции, янтарь), локально приводящая к кардинальным изменениям рельефа дна. Добыча нефти в прибрежно-шельфовой зоне, примыкающей к Калининградской области, потенциально может послужить причиной сейсмических событий, которые, в свою очередь, провоцируют активизацию ЭГП. Нарушения поверхности донных грунтов и приповерхностного геологического разреза имеют площадной характер в пределах якорных стоянок, что хорошо видно на записях гидролокации бокового обзора (далее — ГЛБО) и многолучевого эхолотирования (далее — МЛЭ). Наиболее подвержены негативному воздействию ЭГП различные виды подводных коммуникационных линий, особенно кабели связи и силовые кабели. Их обрыв, например, в результате воздействия гравитационных ЭГП, может нанести значительный материальный ущерб. При разрушении подводных трубопроводов (нефтепроводы, газопроводы, водопроводы, сточные трубы очистных сооружений) к экономическим потерям добавляется и экологический ущерб. Хотя ЭГП в прибрежно-шельфовых зонах Белого, Баренцева и Балтийского морей не отличаются высокой активностью, возрастающая степень использования недр обуславливает потенциальный рост опасности их проявлений.

ЭГП гравитационного типа в прибрежно-шельфовых зонах Белого, Баренцева и Балтийского морей довольно широко распространены. К ним относятся: подводные оползни (в Кольском заливе Баренцева моря, проливе Великая Салма, Кандалакшском заливе, проливе Восточная Соловецкая Салма Белого моря, на склонах банки Хитаматала и подводных террас в Финском заливе, на склонах Гданьской впадины Балтийского моря); обвальные процессы (во фиордах и по периферии подводного склона Кольского полуострова в Баренцевом море, включая губу Териберская, а также в юго-восточной Балтике на обширных площадях вокруг мыса Таран в зоне подводных обрывов (выходы осадочных пород палеогена и верхнего мела), маркирующих древние береговые линии) и т. д. Активизация гравитационных процессов может происходить как за счет естественных процессов, в частности абразии и сейсмической активности, так и вследствие антропогенного воздействия. Комплексный техногенез как фактор, являющийся триггером активизации ЭГП, по интенсивности и частоте воздействия на отдельных участках дна акваторий стал сопоставим с природными процессами.

Угрозу подводным коммуникациям и гидротехническим сооружениям наряду с гравитационными ЭГП несут донный размыв и береговая абразия, а также процессы, связанные с активной седиментацией, в том числе динамичной. Например, в Горле Белого моря или в эстуарии р. Северная Двина эти процессы создают проблемы навигации. Следует отметить, что в настоящее время литоморфодинамические процессы классифицируются как гидрологические и поэтому формально исключены из состава ЭГП.

Высокой активностью в морях северо-запада России характеризуются процессы подводной газово-флюидной разгрузки. Особенно широко распространены зоны развития газонасыщенных голоценовых отложений. В результате глобального потепления можно ожидать, что поступление органического вещества (далее — ОВ) в осадки будет со временем увеличиваться, и, следовательно, объемы биогенного метана, генерируемого в донных отложениях, будут возрастать. Соответственно, расширяться будет и площадь развития газонасыщенных грунтов. В настоящее время этот тип донных отложений выявлен в различных районах Финского залива, в Гданьской впадине в юго-восточной Балтике, локально — в Белом море. Поля покмарков, генетически связанных с выходами газа, закартированы на шельфе Баренцева моря. Подводные выходы подземных вод предположительно установлены в Онежском заливе Белого моря, в прибрежной зоне Самбийского полуострова и Куршской косы в юго-восточной Балтике, а также в Копорской губе Финского залива. В Балтийском море в районах, прилегающих к Куршской косе, установлены проявления «глинистого диапиризма»: современные — в Куршском заливе, реликтовые — со стороны открытого моря.

Мониторинг ЭГП в морских условиях, как правило, редко позволяет вести оперативные наблюдения за их конкретными проявлениями. Тем не менее традиционные методы исследований, используемые при геологической съемке шельфа, такие как гидролокация бокового обзора и непрерывное сейсмоакустическое профилирование (далее — НСАП), результаты которых подтверждаются и интерпретируются с помощью донного пробоотбора и подводного фототелепрофилирования, позволяют осуществлять качественную, а для некоторых участков и количественную, площадную оценку направленности и интенсивности гравитационных процессов, а также тенденций в развитии газофлюидных разгрузок. Это, в свою очередь, позволяет на основе экспертных оценок осуществлять прогноз изменений геологической среды в будущем в зависимости от различных сценариев развития природных и антропогенных процессов, а также качественно оценивать опасность тех или иных ЭГП.

1

ПРИБРЕЖНО-ШЕЛЬФОВАЯ ЗОНА БАЛТИЙСКОГО МОРЯ (РОССИЙСКАЯ ЧАСТЬ)

Прибрежно-шельфовые зоны восточной части Финского залива и Российский сектор юго-восточной части Балтийского моря характеризуются разнообразием проявлений ЭГП. Вследствие высокого уровня освоения дна акватории на ряде участков развитие ЭГП может создавать неблагоприятные условия для различных сфер деятельности.

1.1. ПРИБРЕЖНО-ШЕЛЬФОВАЯ ЗОНА ВОСТОЧНОЙ (РОССИЙСКОЙ) ЧАСТИ ФИНСКОГО ЗАЛИВА

1.1.1. Общие сведения

Площадь российской части Финского залива составляет около 12,5 тыс. км² [<https://www.nord-west-water.ru>]. Ее максимальная протяженность по широте от самой западной точки до устья р. Нева составляет около 215 км при наибольшей ширине (на меридиане о. Мощный) 130 км. Выделяется пять крупных заливов (губ) второго порядка (рис. 1*): на севере — Выборгский залив; на юге — Нарвский залив, Лужская и Копорская губы; на востоке Финский залив замыкается Невской губой, которая в результате строительства Комплекса защитных сооружений Санкт-Петербурга от наводнений превратилась в природно-техногенную лагуну. Площадь Невской губы составляет 329 км² при длине 21 км и ширине 15 км [Нежиховский, 1981].

Глубины в Финском заливе возрастают от вершины к устью, причем можно отметить каскадное увеличение с востока на запад глубин депоцентров (бассейнов седиментации) нефелоидных алевропелитовых илов. Большая часть залива мелководна (средняя глубина 38 м) с максимумом глубины около 80 м к востоку от о. Гогланд (по данным ФГБУ «Институт Карпинского»). Равнинный рельеф дна залива осложнен эрозионными, денудационными и аккумулятивными формами преимущественно ледникового, ледниково-водного и морского происхождения. С первой половины XVIII в. рельеф дна Невской губы затронут техногенными изменениями, наиболее активной и масштабной трансформация рельефа дна уже всей российской части Финского залива под воздействием техногенеза стала в последние десятилетия.

Крупные острова в восточной части Финского залива — Котлин, Гогланд, Сескар, Малый, Мощный, Большой Тютерс — расположены в осевой части залива. Много небольших скалистых или сложенных мореной островов находятся в районе Выборгских шхер: Крепыш, Игривый, Верховой, Тюлень, Еловый Буян, Новик, Маячный, Песчаный и т. д. К Выборгскому заливу примыкает архипелаг Берёзовые острова, количество которых достигает 50, крупнейшие из них: *Большой, Западный и Северный Берёзовые*. К списку внешних островов Финского залива относится и ряд малых островов, в основном скалистых или сложенных мореной: Родшер, Нерва, Соммерс, острова Виргини, Кокор, Куров, Чайкин, Сонин и др.



Рис. 1*. Дополнительные материалы

С внешней стороны о. Котлин находятся насыпные искусственные острова: Форт Тотлебен, Форт Обручев, 2-й Северный Форт; в Невской губе — Форт Кроншлот, Форт Александр Первый, Форт Павел Первый, Северо-Западный Бастион, 1, 2, 3-й Южные форты, 4, 5, 6-й Северные форты и остров естественного происхождения Верперлуда.

Самой крупной рекой, впадающей в Финский залив и определяющей его гидрологический режим, является Нева. Ее средний многолетний годовой расход воды составляет 78,9–81,6 км³ [Гуделис, Емельянов, 1976; Ленинград..., 1981; Нежиховский, 1981]. Средние значения ежегодного стока взвешенных наносов р. Нева достигают 510,0–514,1 тыс. т, взвешенных наносов — 65 тыс. т, ионного стока — 2870 тыс. т [Гуделис, Емельянов, 1976; Ленинград..., 1981]. Существенное влияние на гидрологический режим Финского залива оказывают также реки Луга и Нарова, впадающие в залив с южного берега, а также Сайменская система каналов, расположенная на северном берегу. Среднегодовой взвешенный сток р. Луга составляет 40,8 тыс. т, р. Нарова — 159,6 тыс. т. Для восточной части Финского залива характерен климат умеренных широт, находящихся под влиянием Атлантики.

В прибрежно-шельфовой зоне восточной части Финского залива к опасным ЭГП отнесены: гравитационные процессы (подводные оползни, обрушения), подводная разгрузка газов и образование просадок в зонах развития газонасыщенных илов и (в меньшей степени) в зонах разгрузки подземных вод (рис. 2*). Локально установлены подводные ложбины стока, которые с некоторым допущением могут рассматриваться как формы рельефа дна, образованные за счет линейно проявленного оплывания осадков (слампинг).

Гравитационные процессы (подводные оползни и осыпи) чаще всего проявляются на склонах крутизной более 5°, хотя оплывание осадков возможно и при меньших углах склона. Относительно крутые склоны фиксируются по данным НСАП в Финском заливе в основном у затопленных моренных гряд и редких положительных форм флювиогляциального генезиса (озы). Наряду с крутизной склонов вероятность проявления гравитационных ЭГП определяется типом донных грунтов. В табл. 1 приведены данные по площади распространения текучих (илы), подвижных (пески) и устойчивых (выходы неоплейстоценовых отложений, валунные отмостки) грунтов. Чаще всего процессы гравитационного оползания–оплывания грунтов наблюдаются на склонах аккумулятивных подводных террас, сложенных песком и прослеживаемых вдоль материкового берега залива и по периферии некоторых банок и крупных островов. Подвержены гравитационным процессам и техногенные формы рельефа (стенки фарватеров и карьеров по добыче песка и песчано-гравийной смеси, подводные свалки грунта и т. д.).

Общая площадь зон потенциального развития гравитационных склоновых процессов в пределах прибрежно-шельфовой зоны восточной (российской) части Финского залива составляет 453,95 км², или 3,9 % общей площади. В пунктах наблюдений площадь потенциального развития гравитационных ЭГП составляет: «Мыс Флотский — мыс Песчаный» — 16,6 км², или 2,5 %; «Выборгский залив» — 19,2 км², или 7,9 %; «Район о. Гогланд» — 21,4 км², или 4,2 %; «Кургальский риф — о. Сескар» — 29,1 км², или 3,8 %; «Копорский залив» — 0,96 км², или 0,7 %.

В восточной части Финского залива, по данным НСАП, выявлено около 250 полей проявления газонасыщенных осадков, создающих акустические аномалии («акустические окна») на разрезах НСАП.



Рис. 2*. Дополнительные материалы

Таблица 1

Площадь распространения различных типов грунтов (км²/ % от общей площади) в пунктах наблюдений восточной части Финского залива (по данным 2024 г.)

	Мыс Флотский — мыс Песчаный	Выборгский залив	Район о. Гогланд	Кургальский риф — о. Сескар	Копорский залив	Восточная часть Финского залива
Текучие	<u>361</u> 54,9	<u>116</u> 47,7	<u>338</u> 65,6	<u>223</u> 28,6	<u>59</u> 45,4	<u>4667</u> 40,0
Подвижные	<u>170</u> 25,9	<u>79,9</u> 32,9	<u>80</u> 15,5	<u>332</u> 42,5	<u>47</u> 36,1	<u>4629</u> 39,7
Устойчивые (консолидированные)	<u>126</u> 19,2	<u>46,9</u> 19,3	<u>96</u> 18,6	<u>226</u> 28,9	<u>24</u> 18,5	<u>2356</u> 20,2
Общая учитываемая площадь, км ²	657	243	515	781	130	11 634

Площадь распространения таких отложений составляет 362,4 км², или 3,1 % от общей площади дна акватории российской части Финского залива, и 7,8 % от площади илов (текучих грунтов). Суммарный объем газонасыщенных осадков, рассчитанный путем трехмерного моделирования по материалам НСАП и с использованием инструментов ArcGIS, составляет не менее 2613 млн м³. Площади дна в пределах пунктов наблюдений, характеризующиеся высокой активностью ЭГП, локализованы в зонах газонасыщенных осадков и связаны с процессами газофлюидной разгрузки.

1.1.2. Наблюдательная сеть и применяемые методы

Морские мониторинговые геолого-геофизические работы в восточной части Финского залива выполняются в пяти площадных пунктах наблюдений: «Район о. Гогланд», «Копорский залив», «Кургальский риф — о. Сескар», «Мыс Флотский — мыс Песчаный», «Выборгский залив». Для них накоплен значительный объем информации, включающий сеть профилей ГЛБО, НСАП и МЛЭ, а также базу данных донного опробования и аналитических исследований [Информационный..., 2012–2019, 2023, 2024].

В 2024 г. ГЛБО выполнялось с использованием сонара СМ-2 (С-МАХ, Великобритания) с рабочей частотой 325 кГц (дальность обзора составляет 25–150 м, разрешающая способность — 10–30 см). Для проведения НСАП в пунктах наблюдений «Мыс Флотский — мыс Песчаный», «Кургальский риф — о. Сескар», «Выборгский залив» и «Копорский залив» применялся параметрический профилограф

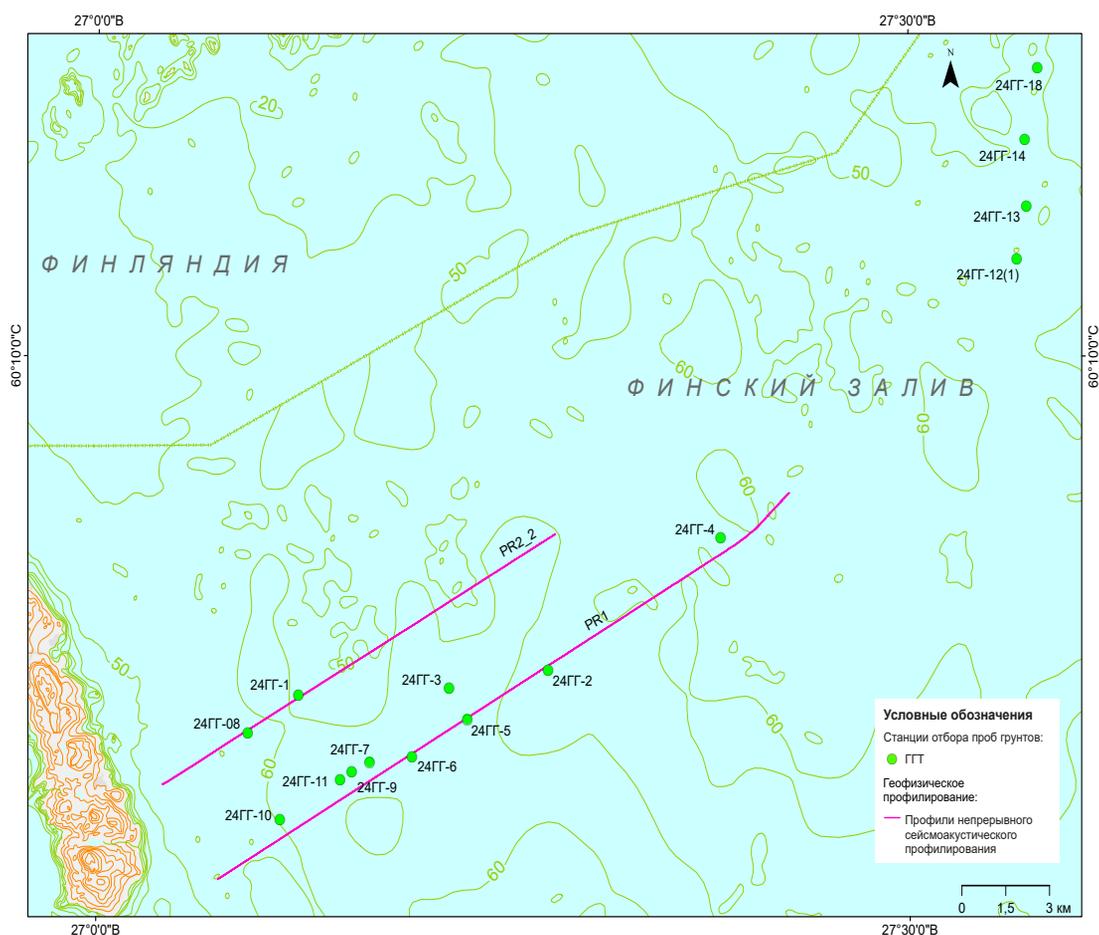


Рис. 3. Карта фактического материала полевых геолого-геофизических работ в пункте наблюдений «Район о. Гогланд» в 2024 г.

Условные обозначения элементов топографической основы соответствуют знакам Эталонной базы изобразительных средств Госгеолкарты-200: https://vsegei.ru/ru/info/normdocs/ggk200/ebz_200_x01-08-01_160223.zip

SES-2000 compact (Inppomar, Германия). Частота зондирующего сигнала 12 кГц обеспечила разрешающую способность до 5 см. В пункте наблюдений «Район о. Гогланд» НСАП производилось с использованием профилографа Parasound P70 Teledyne Reson: первичная частота — 18–24 кГц, параметрическая — 0,5–7 кГц, разрешающая способность — 0,15 м. Фототелепрофилерование выполнялось с помощью подводного дистанционно управляемого дрона Chasing M2 PRO MAX (КНР), а также экшн-камеры Sony, закрепляемой на бокс-корере. Отбор проб грунтов проводился с применением бокс-корера и герметичной грунтовой трубки (далее — ГТТ) с пластиковым вкладышем.

1. *Пункт наблюдений «Район о. Гогланд».* К северо-востоку от о. Гогланд при работах 2016–2024 гг. [Информационный..., 2017–2019, 2023, 2024] по акустическим окнам на записях НСАП, обусловленным рассеиванием акустического сигнала большим количеством пузырьков газа в осадках, закартированы поля распространения газонасыщенных грунтов с высокими концентрациями метана. Выявлено наличие протяженных линейных ложбин как в пределах зон активной аккумуляции илов (просадки), так и по периферии относительно мелководных зон (что является следствием размыва дна под действием контуритовых течений). Локально развитый контрастный рельеф дна, строение толщи четвертичных отложений и наличие тектонических нарушений позволяют прогнозировать возможность возникновения подводных оползней.

Основной задачей работ в 2024 г. в пункте наблюдений «Район о. Гогланд» являлась характеристика зон развития газонасыщенных грунтов, проявлений разгрузки газов и связанных с ними просадок грунта. Для определения характера распространения и динамики изменения газопроявлений на площади и в разрезе, а также установления возможных подводных оползней и просадок было проведено 30 км НСАП (рис. 3).

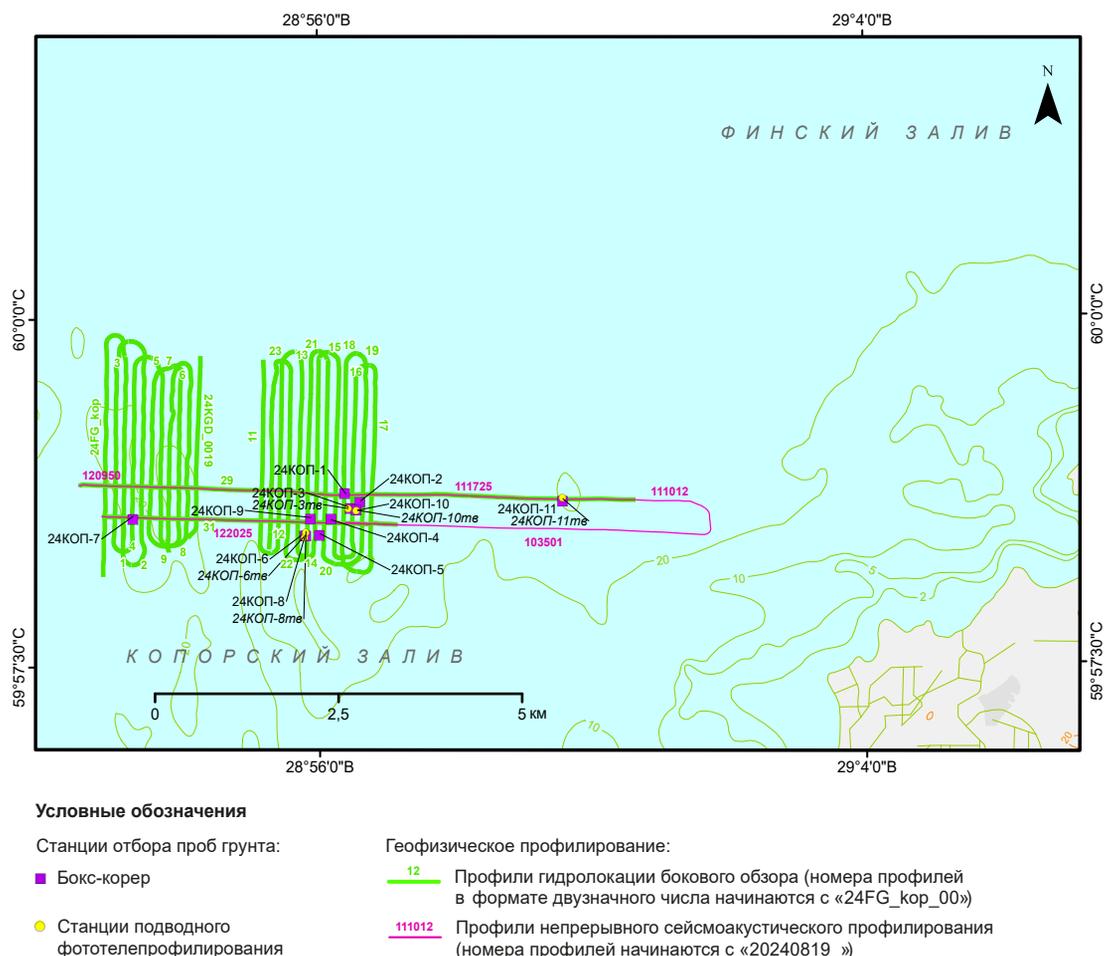
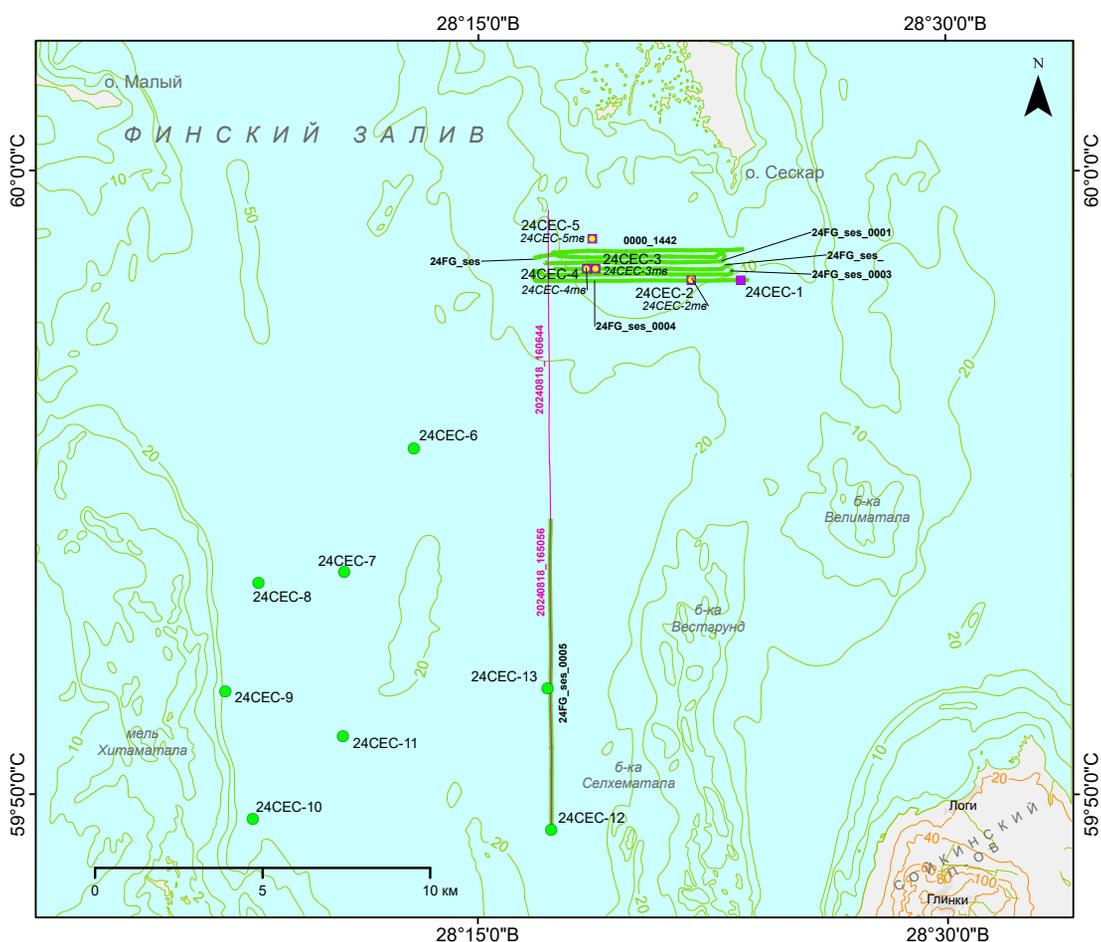


Рис. 4. Карта фактического материала полевых геолого-геофизических работ в пункте наблюдений «Копорский залив» в 2024 г.

Отбор проб грунтов для определения газового и химического состава осуществлялся на станциях мониторинговых наблюдений. Пробы грунтов были отобраны на 15 станциях. Пробы на газ отбирались с использованием ГТТ из поверхностных грунтов (0–7 см) и забоя кернов (35–58 см).

2. Пункт наблюдений «Копорский залив». В задачи работ входили мониторинг динамики развития поцмарков и выявление геохимических и гидрохимических аномалий, обусловленных проявлениями газофлюидной разгрузки. В пределах пункта наблюдений на небольшой площади обнаружено более 700 поцмарков, среди которых выделяются стабильные (постоянно наблюдаемые на записях ГЛБО) и пульсирующие (выявляемые эпизодически). Также здесь предположительно установлены тектонические нарушения и зоны трещиноватости, связанные с ними. Следует отметить, что поле поцмарков расположено в непосредственной близости от Ленинградской атомной электростанции.

В 2024 г. проведена площадная съемка ГЛБО (80 км) (рис. 4) в основном на участке, расположенном южнее скопления поцмарков, закартированных ранее (2012–2023 гг.), для определения границы их распространения. По ряду профилей проведено НСАП (20 км). Пробоотбор выполнен бокс-корером на 10 станциях с отбором проб на определение газового и химического состава. Также отобраны пробы придонной воды. На бокс-корер была установлена экшн-камера для наблюдения за поверхностью дна.



Условные обозначения

Станции отбора проб грунтов:

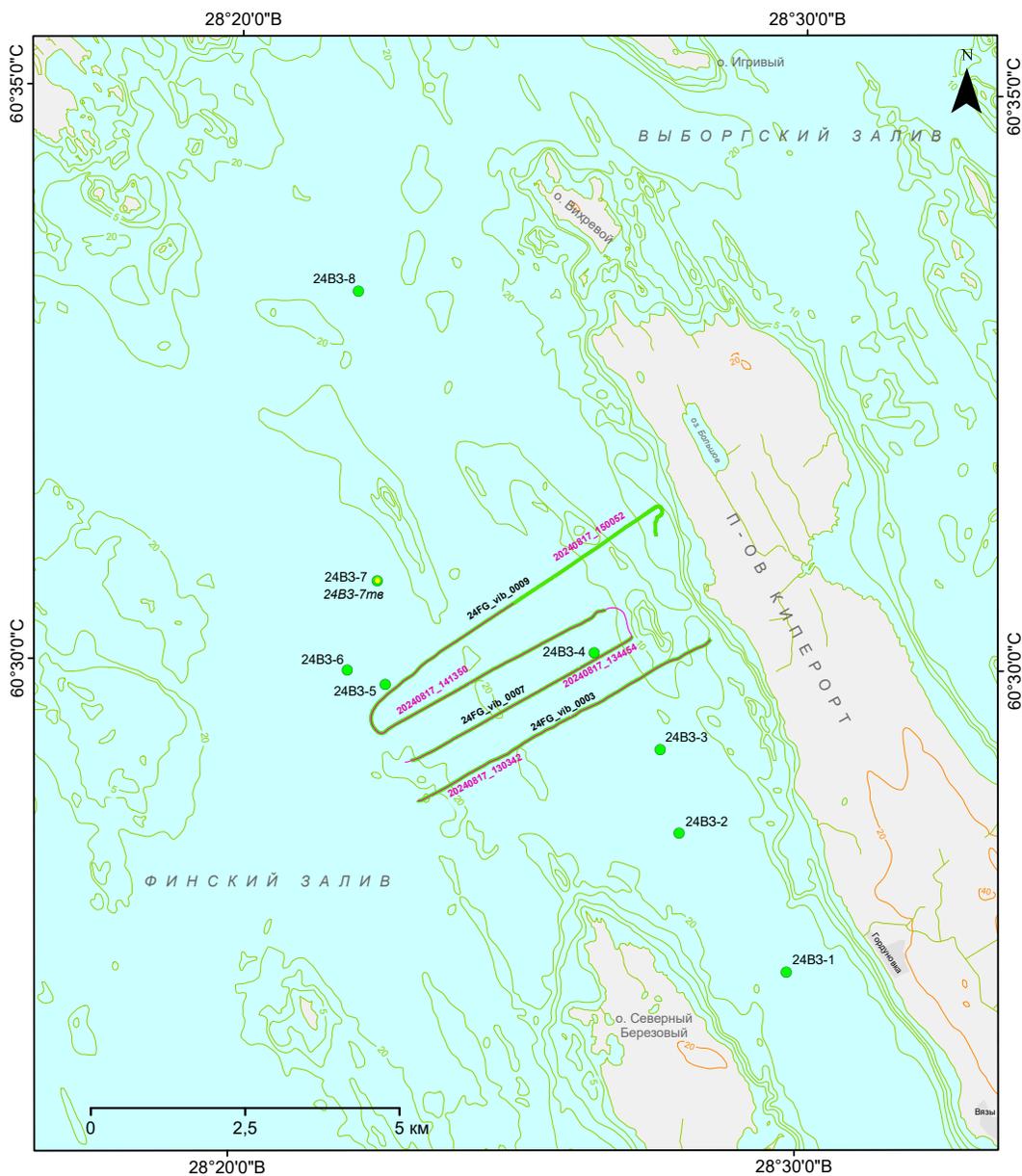
- Бокс-корер
- ГТТ
- Станции подводного фототелепрофилирования

Геофизическое профилирование:

- 24FG_ses Профили гидролокации бокового обзора
- 22 Профили непрерывного сейсмоакустического профилирования

Рис. 5. Карта фактического материала полевых геолого-геофизических работ в пункте наблюдений «Кургальский риф — о. Сескар» в 2024 г.

3. Пункт наблюдений «Кургальский риф — о. Сескар». В наиболее глубоководных частях пункта наблюдений (глубины 29–37 м) выявлены поля газонасыщенных грунтов, пространственно совпадающих с древними погребенными долинами [Информационный..., 2023]. На восточном склоне банки Хитаматала установлены проявления проявления гравитационных процессов (серия подводных оползней) [Информационный..., 2017–2019]. К югу от о. Сескар расположен подводный карьер по добыче песка, где рельеф морского дна полностью преобразован за счет формирования



Условные обозначения

Станции отбора проб грунтов:

- ГГТ
- Станции подводного фототелепрофилирования

Геофизическое профилирование:

- 24FG_vib_0007 Профили гидролокации бокового обзора
- 20240817_122710 Профили непрерывного сейсмоакустического профилирования

Рис. 7. Карта фактического материала полевых геолого-геофизических работ в пункте наблюдений «Выборгский залив» в 2024 г.

техногенных депрессий, а на выходе из Лужского залива к юго-западу от банки Селхематала находится свалка (отвал) грунта.

В 2024 г. выполнено 30 км профилирования методом НСАП для изучения распространенности газонасыщенных осадков вдоль погребенной палеодолины и проявлений гравитационных ЭГП, происходящих на склонах техногенной гряды грунтовой свалки (рис. 5). Профилирование методом ГЛБО (20 км) осуществлено к югу от о. Сескар в пределах подводной террасы на площади проведения добычи строительных песков, где из-за изменения естественного рельефа морского дна активизированы малоамплитудные гравитационные ЭГП. Отбор грунтов для определения их газового и химического состава произведен с использованием ГТТ на 13 станциях (преимущественно мониторинговых) в районах распространения газонасыщенных грунтов на выходе из Лужского залива и с помощью бокс-корера на участке добычи песков (месторождение Южный Сескар) и на одной станции в районе свалки грунтов. В подводном песчаном карьере выполнено фототелепрофилирование.

4. *Пункт наблюдений «Мыс Флотский — мыс Песчаный».* В пределах пункта наблюдений по периферии вдольбереговой подводной террасы, характеризующейся значительными углами склона, установлены проявления гравитационных ЭГП. Сходные процессы происходят по бортам отработанных подводных карьеров на поверхности террасы (месторождение Пески), где в 1972–1992 гг. проводилась добыча песков, а также на разрабатываемом месторождении строительных песков и песчано-гравийного материала «Мыс Стирсудден — мыс Кюренниemi». У подножия подводных террас выявлены протяженные зоны распространения газонасыщенных грунтов, которые пространственно совпадают с погребенными долинами.

В 2024 г. в результате профилирования НСАП (20 км) и ГЛБО (30 км) (рис. 6*) уточнены контуры техногенных депрессий (подводная отработка песка), провоцирующих активизацию ЭГП непосредственно на склоне подводной террасы. Пробоотбор грунтов в пределах пункта наблюдений выполнен на площади карьера и на станциях мониторинга (всего 8 станций) в зонах распространения газонасыщенных грунтов, развитых у подножия террасы.

5. *Пункт наблюдений «Выборгский залив».* Для пункта наблюдений характерен расчлененный рельеф с перепадами глубин от –5 до –33 м, что обусловлено развитием здесь ледниковых положительных форм и останцов коренных кристаллических пород. Контрастные формы рельефа определяют возможность проявления гравитационных ЭГП. В пределах пункта наблюдений ранее производилась экспериментально-промышленная добыча железомарганцевых конкреций (далее — ЖМК), трансформировавшая природный донный рельеф и процессы седиментации. В локальных бассейнах нефелоидной седиментации выявлено широкое распространение газонасыщенных грунтов.

В 2024 г. профилирование методами НСАП (20 км) и ГЛБО (40 км) выполнено с целью уточнения контуров участков распространения газонасыщенных грунтов на выходе из прол. Бьёркезунд и изучения возможных проявлений гравитационных процессов на участках контрастного (ледникового) рельефа дна (рис. 7). Пробы грунтов отобраны на 7 станциях для определения газового, химического и гранулометрического состава. Станции расположены как в пределах выявленных полей газонасыщенных отложений, так и на площади добычи ЖМК.



Рис. 6*. Дополнительные материалы

1.1.3. Региональная активность опасных экзогенных геологических процессов в 2024 г.

Природные гравитационные процессы (подводные оползни, обвалы, обрушения и т. д.). Северо-западная часть Российского сектора Финского залива в пределах развития кристаллических пород Балтийского щита характеризуется интенсивно расчлененным рельефом морского дна с перепадами глубин от –5 до –35 м. Редко подводные возвышенности (останцы) сложены прочными кристаллическими породами, выходящими на поверхность дна (рис. 8). Чаше картируемые гряды относятся к ледниковым образованиям, в частности формирующим на морском дне конечно-моренные комплексы различных стадий последнего оледенения (рис. 8–12).

Участки дна, характеризующиеся выходами моренных гряд с крутыми склонами и значительным распространением грубообломочного материала, фиксируются и на записях ГЛБО. В частности, на подводном береговом склоне п-ова Киперорт наблюдаются многочисленные валуны, возможно представляющие собой коллювиальные отложения, и четкие знаки ряби, свидетельствующие о высокой активности придонной гидро- и литодинамики (рис. 9).

В срединной и южной частях залива, где четвертичные отложения подстилаются осадочными образованиями венда, рельеф дна более выровнен, но и здесь встречаются ледниковые гряды. Углы склонов подводных гряд, когда они не перекрыты более поздними отложениями и выходят на поверхность дна, обычно не превышают 10°, в редких случаях достигают 23°. Морена представляет

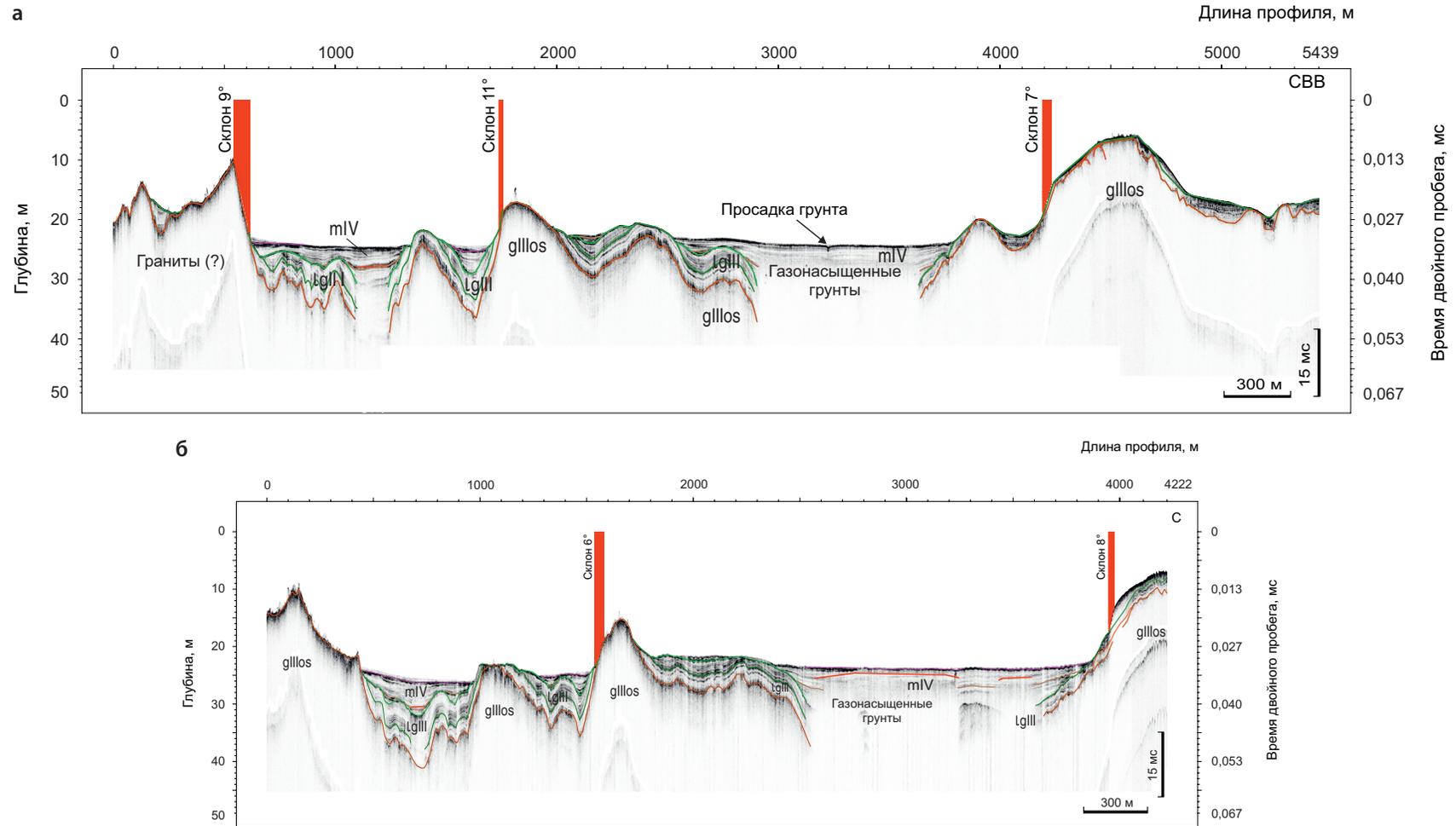


Рис. 8. Профили НСАП, пересекающие поля газонасыщенных грунтов и моренные гряды в Выборгском заливе

а — 20240817_130342; б — 20240817_134454: glllos — морена последнего оледенения, lglll — ледниково-озерные глины верхнего неоплейстоцена, mIV — голоценовые осадки объединенные (Анцилового озера, Литоринового и Постлиторинового моря)

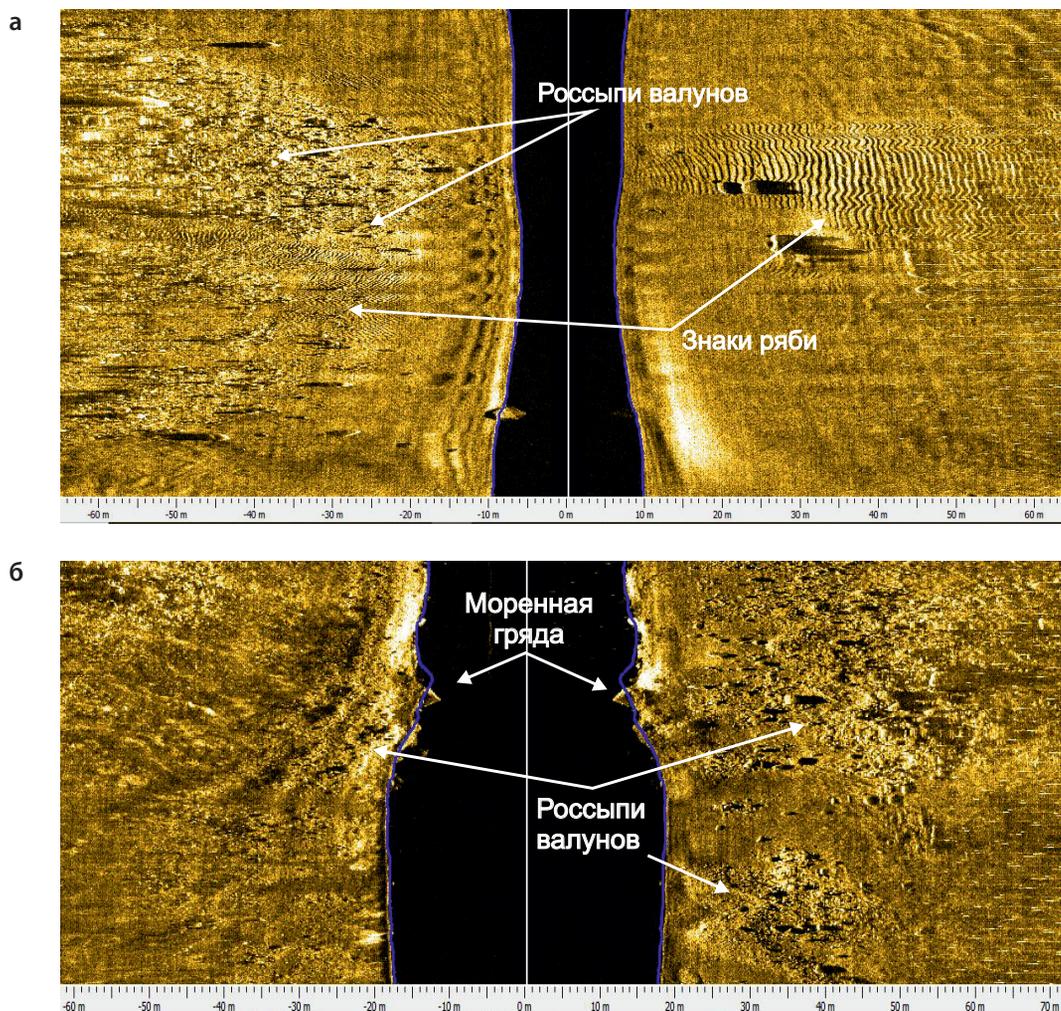


Рис. 9. Фрагменты профилей ГЛБО в Выборгском заливе

а — 24FG_vib_0009 — подводный склон п-ова Киперорт; б — 24FG_vib_0004 — моренная гряда

собой плотные валунные суглинки или супеси, но под влиянием придонных течений и еще более активного гидродинамического воздействия в пределах волнового поля происходит размыв отложений на склонах и затем перемещение обломочного материала по склону как следствие гравитационных ЭГП (рис. 10*–12).

Активными гравитационными процессами характеризуются склоны подводных песчаных террас, окаймляющих как материковые берега Финского залива, так и некоторые острова. К примеру, размеры оползневых тел, выявленных у подножия восточного склона подводной террасы мели Хитаматала (подводное продолжение Кургальского рифа), достигают 200–250 × 130–140 м [Информационный бюллетень..., 2014, 2023]. Относительно крутыми склонами характеризуются банки Селхематала, Вестгрунд и Велиматала.

Существенная, хотя и локальная, трансформация геологической среды (рельефа, распределения грунтов), способная привести к активизации малоамплитудных гравитационных ЭГП, происходит в восточной части Финского залива при подводной добыче полезных ископаемых, прежде всего строительных песков и песчано-гравийных смесей. В 2009 г. на Государственном балансе или выведенными за баланс числилось 22 подводных месторождения строительных песков, песчано-гравийных смесей и валунов [Атлас..., 2010]. В Государственном кадастре месторождений и проявлений полезных



Рис. 10*. Дополнительные материалы

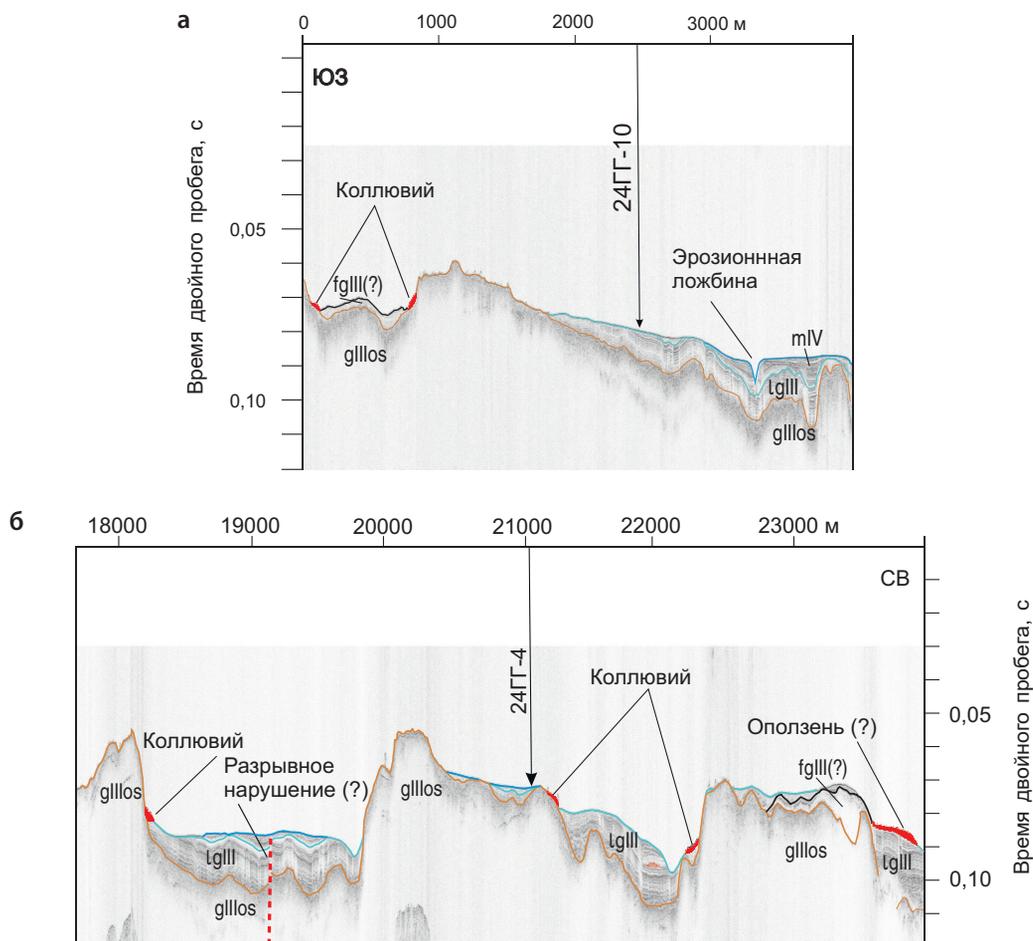


Рис. 11. Фрагменты профиля НСАП PR-1 (профилограф) в пункте наблюдений «Район о. Гогланд»
 glllos — морена; fgIII(?) — предположительно флювиогляциальные отложения; lgIII — ледниково-озерные отложения;
 mIV — голоценовые отложения (озерные анциловые, морские литориновые и постлиториновые)

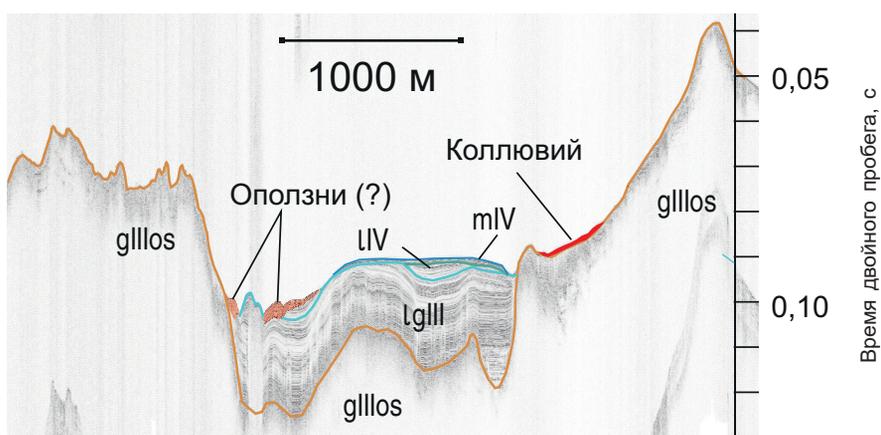


Рис. 12. Фрагмент профиля НСАП PR-2 (профилограф) в пункте наблюдений «Район о. Гогланд»
 glllos — морена; lgIII — ледниково-озерные отложения; lIV — отложения Анцилового озера; mIV — морские литориновые и постлиториновые отложения

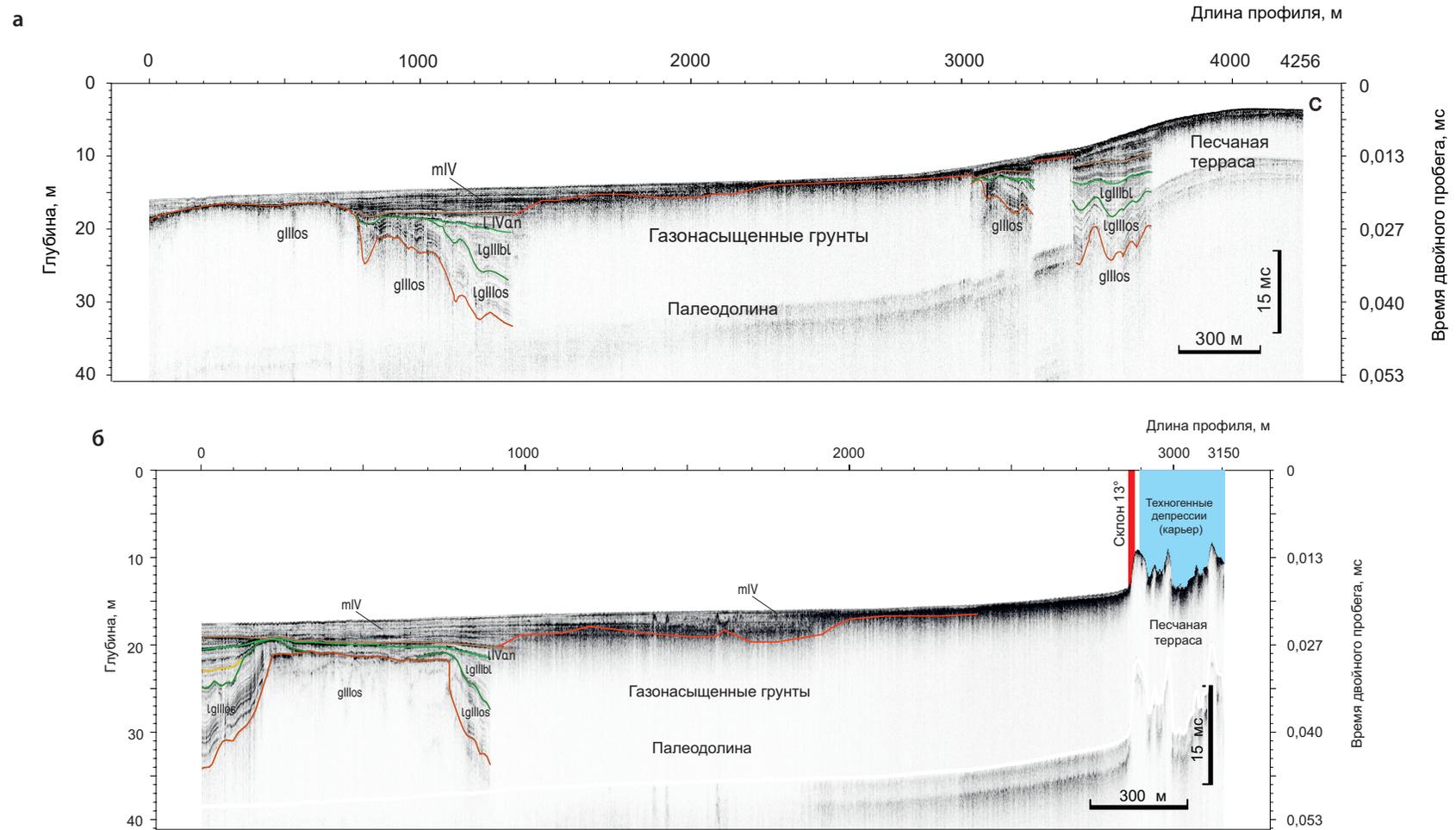


Рис. 13. Профили НСАП (параметрический профилограф), пересекающие подводную террасу в пункте наблюдений «Мыс Флотский — мыс Песчаный» (2024 г.)
 а — 20240816_155358 — ненарушенный склон террасы; б — 20240816_171351 — техногенно-нарушенный склон террасы: mIV — голоценовые морские илы, lIVan — глины Анцилового озера, нижний голоцен, lgllbl — отложения Балтийского ледникового озера, lglllos — ленточные глины, glllos — морена

ископаемых Российского Федерального геологического фонда в 2024 г. в восточной части Финского залива числятся действующие паспорта следующих месторождений строительных песков, гравийно-песчаного и гравийно-галечного материала: банки Похьякиви, Розовая, Тервахартиала, Большой Берёзовый остров, Копорская губа, Кургальский риф, Ломоносовская отмель, Лондонская отмель, мыс Песчаный — мыс Флотский, мыс Стирсудден — мыс Кюренниemi, мыс Флотский — мыс Стирсудден, Сескар, Сестрорецкое, Стирсудденские банки, Тёмная Лода, Югантовское. В 2017 г. разрабатывалось шесть месторождений из вышеперечисленных [Жигульский, 2017]. Средняя ежегодная добыча составляла около 3 млн м³. Общий объем добытых песков и песчано-гравийных смесей ориентировочно превышает 140–160 млн м³ [Атлас..., 2010].

Значительная часть добычи песков проводится на подводных прибрежных аккумулятивных террасах, протягивающихся вдоль материкового побережья и вокруг некоторых островов в срединной части залива. Меньшая часть месторождений имеет флювиогляциальный генезис.

Подводная терраса о. Рифовый — м. Флотский — м. Песчаный вытянута в субширотном направлении на 24 км, ширина — от 800 до 2300 м. В ее восточной части площадка террасы лежит на глубинах –10 м, подножие расположено на глубине –18 м. В западной части террасы (к востоку от м. Флотский) батиметрическое положение площадки не изменяется, а подножие склона опускается до глубин –20...–25 м. Уступ, ограничивающий террасу со стороны моря, имеет уклон в пределах 6–7°, максимально до 13° (рис. 13). В 2024 г. в западной части террасы проведена съемка ГЛБО вдоль кромки террасы, в центральной и восточной частях — профилирование НСАП по нормали к берегу (см. рис. 6). Как следствие техногенного воздействия в результате гравитационных ЭГП в условиях дефицита песчаных наносов происходит разрушение склона подводной вдольбереговой террасы (рис. 13, б), что в конечном итоге может привести к деградации берегов на этом участке.

Площадное распределение техногенных ложбин на склоне подводной террасы прослеживается на профиле ГЛБО, выполненном вдоль склона подводной террасы (рис. 14).

На карте проявлений ЭГП в пункте наблюдений «Мыс Флотский — мыс Песчаный» (рис. 15*) показаны обширные площади техногенного нарушения дна, где активизированы малоамплитудные гравитационные процессы.

В пределах подводного действующего карьера месторождения Южный Сескар отложения представлены песком разномерным, существенно среднезернистым (рис. 16, а) с примесью крупнозернистого



Рис. 15*. Дополнительные материалы

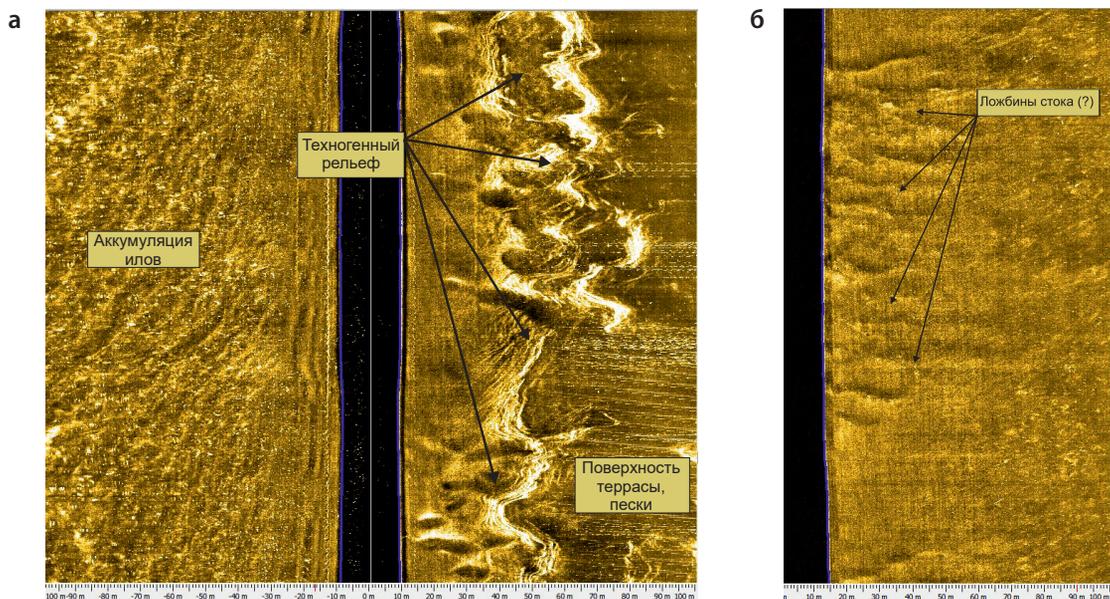


Рис. 14. Фрагменты профилей, пройденных вдоль склона подводной террасы северного берега

а — ГЛБО 24FG — техногенно измененный рельеф склона террасы; б — 24KGD_0015 — предполагаемые ложбины стока (оползни течения(?))

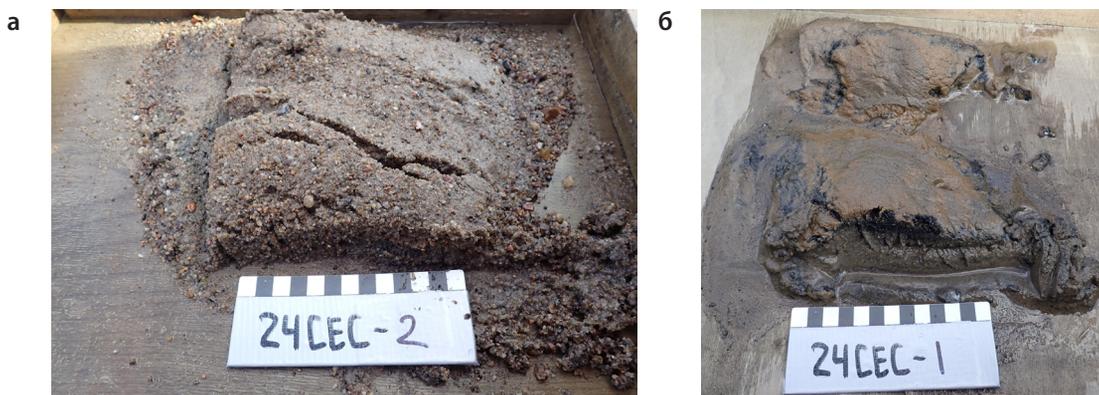


Рис. 16. Пробы песка, отобранные в подводном карьере месторождения Южный Сескар
а — ст. 24CEC-2; б — ст. 24CEC-1



Рис. 17. Фотография поверхности морского дна на ст. 24CEC-3 со знаками ряби, пески с примесью гравия

песка, гравия, дресвы и мелкой гальки. На некоторых станциях на песке наблюдается слой бурого наилка, а иногда черного песчаного алеврита (рис. 16, б). На поверхности песков повсеместно отмечаются знаки ряби, что свидетельствует о повышенной активности придонной литодинамики (рис. 17).

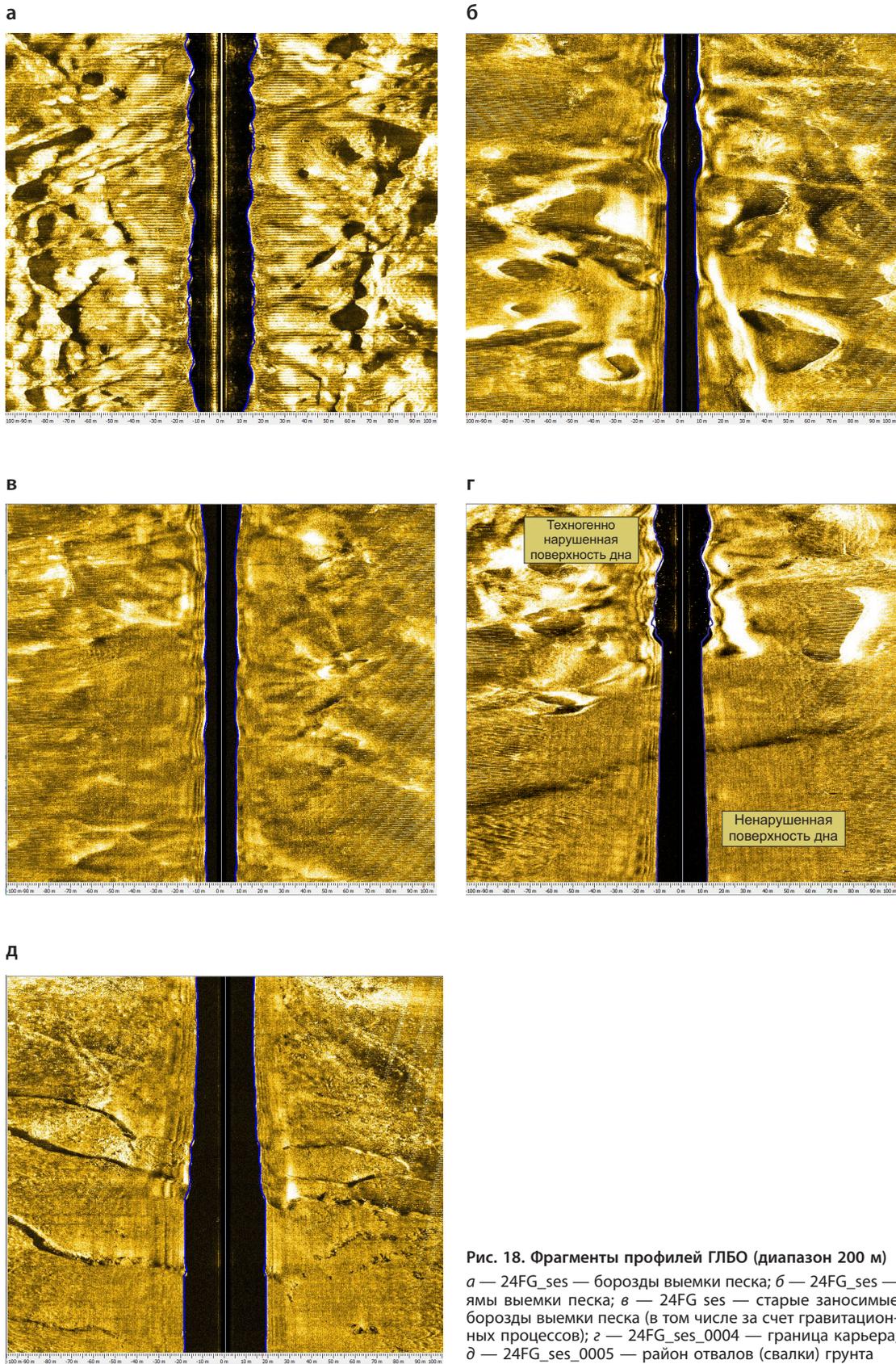
Площадная съемка ГЛБО (рис. 18) в совокупности с данными НСАП (рис. 19) в пределах подводного карьера и подводного отвала (свалки) грунта позволили уточнить площадь зоны техногенной трансформации геологической среды и динамику развития ЭГП (рис. 20*).

В пределах подводной свалки грунта на поверхности (0–1 см) осадок представлен серым глинистым разномерным песком, ниже — алевро-песчано-глинистым миктитом с зернами грубого песка и комками серой глины.

Помимо месторождений строительных песков и песчано-гравийных смесей в восточной части Финского залива, согласно Государственному кадастру месторождений и проявлений полезных ископаемых Российского Федерального геологического фонда в 2023 г., имеется четыре месторождения ЖМК: Вихревое, Рондо, Кургальское и Копорское. Экспериментально-промышленная добыча производилась в 2006–2008 гг. только на месторождении Вихревое, расположенном в пределах пункта наблюдений «Выборгский залив». Наиболее детально процессы трансформации донного рельефа и изменения распределения донных отложений изучались в 2012–2013 гг. [Информационный бюллетень..., 2013, 2014, 2023; Zhamoïda et al., 2017]. Площадь проведения подводной добычи достоверно картируется по материалам съемки ГЛБО и МЛЭ по многочисленным хаотично расположенным протяженным траншеям, относительная глубина которых составляла до 1 м.



Рис. 20*. Дополнительные материалы



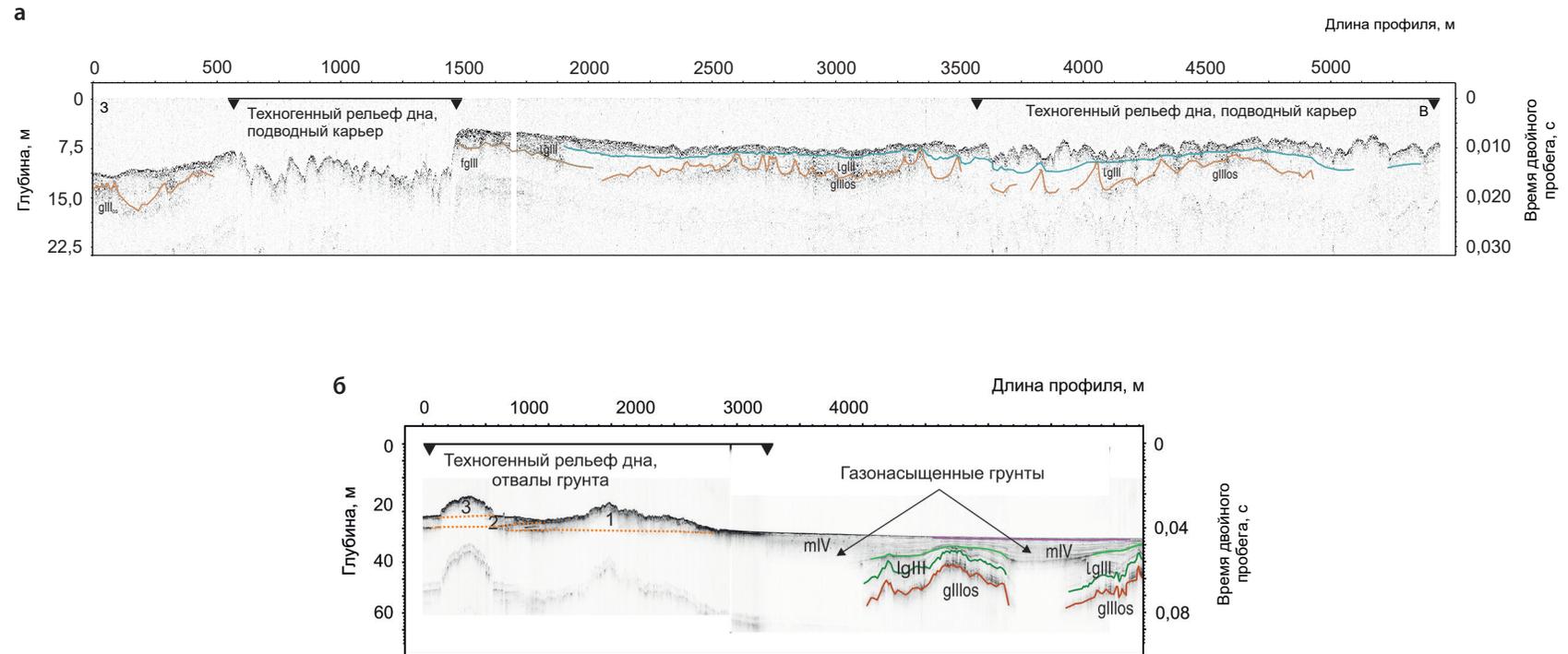


Рис. 19. Пример профилей НСАП

a — пересекающий карьер Южный Сескар — пр. 20240818_125744; *б* — пересекающий подводный отвал грунта пр. 20240818_174128: mIV — голоценовые морские илы, lgIII — неоплейстоценовые ледниково-озерные отложения, fgIII — флювиогляциальные отложения, glllos — морена; 1, 2, 3 — генерации разновозрастных техногенных отложений

В пределах площади опытно-промышленной добычи ЖМК пробы отобраны на мониторинговой станции 24В3-8.

По разрезу керна ГГТ:

- 1) 0–1 см — текучий зеленовато-серый наилок, немного хлопьевидный;
- 2) 1–15 см — серовато-черный текучий алевропелит, пористый, на срезе не пузырится, со слабым запахом сероводорода;
- 3) 15–16 см — конкреции гроздевидные сферические растущие размером от первых мм до 1 см;
- 4) 16–27 см — мягкопластичный глинистый алевропелит зеленовато-серого цвета.

Примечательно, что ЖМК залегают на глубине 15–16 см по разрезу, то есть фактически захоронены, при этом скорость осадконакопления здесь по-прежнему необычайно высокая — до 1 см/год.

В восточной части Финского залива широко развиты процессы *газофлюидной разгрузки*. Обширные площади (табл. 2) дна современных седиментационных бассейнов заполнены газонасыщенными отложениями, которые отличаются на записях НСАП по акустическим окнам или аномалиям в виде затухания акустического сигнала.

Таблица 2

Площади распространения газонасыщенных осадков в пределах пунктов наблюдений в восточной части Финского залива

Пункт наблюдений	Площадь, км ²	Процент от площади пункта наблюдений, %	Процент от площади распространения илов в пределах пункта наблюдений, %
Выборгский залив	25,1	10,3	21,6
Район о. Гогланд	50,2	9,7	14,9
Копорский залив	0,87	0,7	1,5
Кургальский риф — о. Сескар	77,7	9,9	34,8
Мыс Флотский — мыс Песчаный	80,3	12,2	22,2

Опробованные грунты в пункте наблюдений «Район о. Гогланд» представляют собой черные, реже зеленовато-серые алевропелиты от текучей до мягкопластичной консистенции. Часто грунты пористые, газонасыщенные, с устойчивым запахом сероводорода. В таком случае грунт при выемке его из трубы начинает «распираться», то есть его объем увеличивается при атмосферном давлении. Поверхностный наилок в пробах грунтов, отобранных ГГТ и бокс-корером, бурый (рис. 21), что характерно для окислительной обстановки в придонном слое воды и поверхностных осадках. В 2023 г. на некоторых станциях поверхностный наилок был черного цвета с белесоватым налетом (бактериальные маты), что косвенно свидетельствовало о дефиците кислорода в поверхностных осадках. Значение pH в придонной воде варьирует в пределах 7,54–7,91, то есть среда слабощелочная, без явных аномальных значений.

Содержание метана в грунтах, отобранных в точках мониторинга в пункте наблюдений «Район о. Гогланд» в 2024 г. (табл. 3), показало существенное увеличение по сравнению с 2023 г. [Информационный бюллетень..., 2024]. В частности, в т. н. 24ГГ-1 на интервале опробования по разрезу 56–66 см содержание метана за год увеличилось в 5 раз до ураганных 51,4 %. В тексте и на графиках приведены концентрации метана в воздушном зазоре (headspace). На остальных станциях мониторинга также наблюдается значительное увеличение концентраций метана. При этом иногда резко, почти на порядок, уменьшились концентрации CO₂ в грунтах, опробованных на станциях мониторинга в пункте наблюдений «Район о. Гогланд», и в отдельных пробах (24ГГ-7, интервалы 0–10 см, 30–40 см) отмечено очень высокое содержание H₂ (табл. 4). Статистические параметры распределения метана и его гомологов в грунтах приведены в табл. 5.

Повышенные концентрации метана приурочены к участкам со значительной мощностью илов. На рис. 22 представлен приповерхностный геологический разрез в районе расположения точек донного опробования 24ГГ-12 (1) и 24ГГ-13. На ст. 24ГГ-12 (1) мощность голоценовых илов не превышает первых метров, концентрация метана в приповерхностном слое осадков относительно мала и составляет на интервале 28–38 см — 46 004 ppm, а на интервале 0–10 см — 7013 ppm. Ст. 24ГГ-13 расположена в пределах поля газонасыщенных осадков, мощность которых достигает 10 м. Концентрация метана в приповерхностном слое осадков в этом случае на интервале 51–61 см составляет 316 558 ppm, а на интервале 0–10 см — 115 474 ppm. Таким образом, концентрация метана в приповерхностных грунтах на ст. 24ГГ-13 почти в 7 раз (нижний горизонт) и в 16 раз (верхний горизонт) превышает концентрацию метана на ст. 24ГГ-12 (1), расположенной вне поля газонасыщенных илов.

На рис. 23 представлен геологический разрез по данным НСАП (Пр-2) в районе станций 24ГГ-8 и 24ГГ-1. В таком случае станции расположены на участках распространения газонасыщенных голоценовых илов мощностью более 10 м. Концентрация метана в осадках на интервале ~50–60 см достигает аномально высоких значений: 513 594 ppm на ст. 24ГГ-1 и 243 358 ppm на ст. 24ГГ-8.

На записях НСАП (рис. 22–24) прослеживаются линейные ложбины, образование которых, возможно, обусловлено просадкой грунта после выбросов метана и высвобождения ранее занятого им объема в грунте. Протяженность этих ложбин, впервые закартированных в 2017 г. с использованием многолучевого эхолота, в пределах зон распространения газонасыщенных илов достигает нескольких километров, поперечное сечение (ширина) составляет десятки метров, иногда превышая 100–120 м, относительная глубина ложбин — несколько метров.

По вертикальному приповерхностному разрезу отложений наблюдается заметная дифференциация концентраций метана. Так, фоновое значение концентрации метана в верхней части разреза (интервал 0–10 см) значительно ниже, чем в нижележащей части разреза (интервал 50–65 см) (табл. 6).

На конкретных станциях опробования наблюдается аналогичная картина: более глубокие горизонты характеризуются повышенными концентрациями метана (рис. 25).

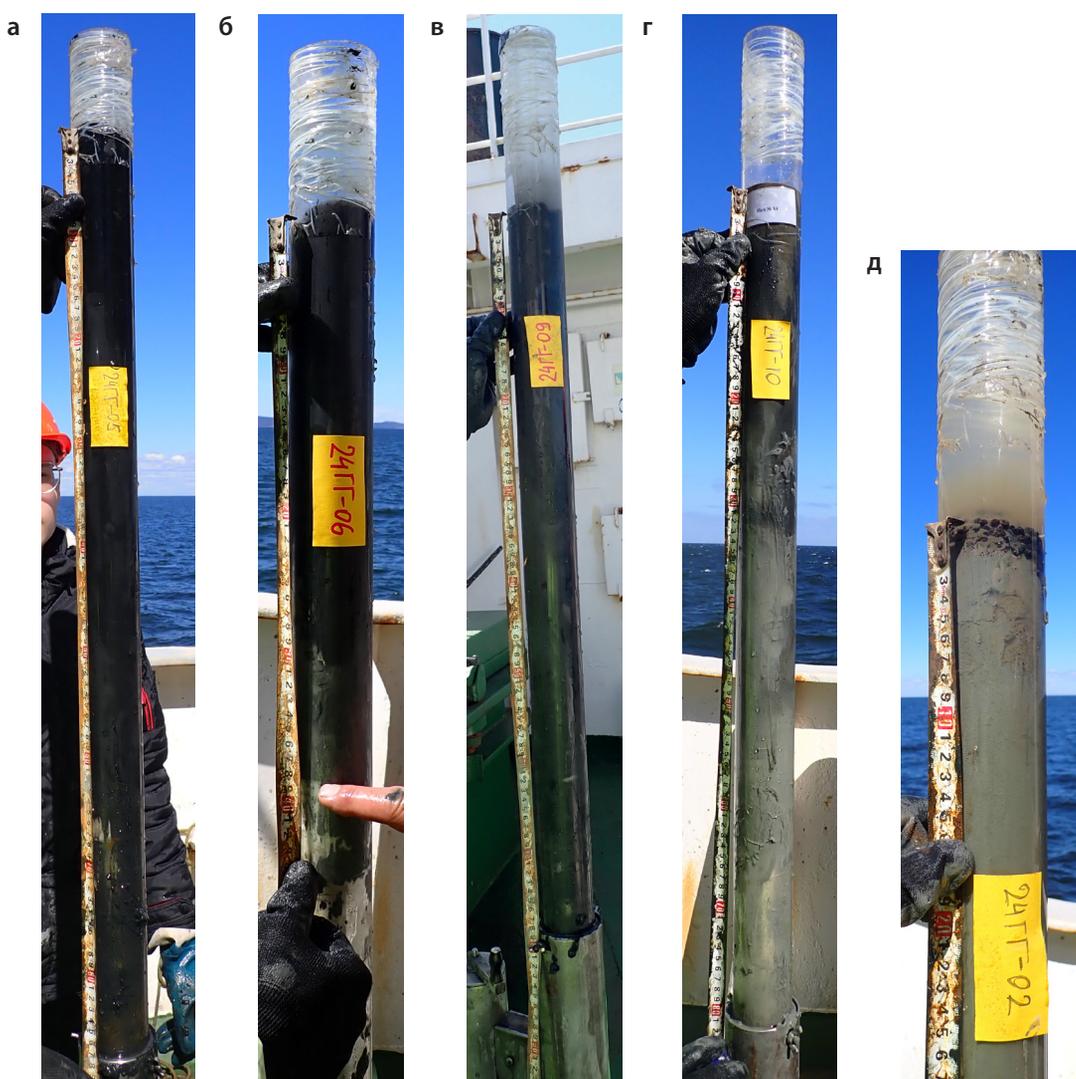


Рис. 21. Грунтовые колонки, отобранные в пункте наблюдений «Район о. Гогланд»

Современные газонасыщенные илы: а — ст. 24ГГ-05; б — ст. 24ГГ-06; в — ст. 24ГГ-09. Маломощный слой современных илов, ниже — серые глины, вероятно, анциловые: г — ст. 24ГГ-10. На поверхности слой сферических железомарганцевых конкреций, ниже — серые глины, вероятно, анциловые: д — ст. 24ГГ-02

Таблица 3

Содержание углеводородных газов в грунтах в пункте наблюдений «Район о. Гогланд»

№ п/п	Номер станции	Интервал опробования, см	Метан	Этан	Этилен	Пропан	Пропилен	i-бутан	n-бутан	i-бутилен	Бутен-1 + i-пентан	n-пентан
			CH ₄	C ₂ H ₆	C ₂ H ₄	C ₃ H ₈	C ₃ H ₆	i-C ₄ H ₁₀	n-C ₄ H ₁₀	i-C ₄ H ₈	C ₄ H ₈ + i-C ₅ H ₁₂	n-C ₅ H ₁₂
			Исходная концентрация в воздушном зазоре, ppm									
1	24ГГ-1	0–10	114 206	0,15	0,48	1,35	0,12	0,08	0,63	0,04	4,33	0,16
2	24ГГ-1	56–66	513 504	0,21	0,23	3,02	0,07	0,03	1,19	0,02	2,57	0,13
3	24ГГ-5	0–10	227 409	0,13	0,29	0,89	0,09	0,01	0,36	0,05	0,25	0,14
4	24ГГ-5	49–59	332 411	0,12	0,25	1,12	0,16	0,28	0,14	0,05	0,32	0,06
5	24ГГ-7	0–10	165 088	0,11	0,23	1,14	0,17	0,02	0,29	0,09	3,24	0,19
6	24ГГ-7	30–40	393816	0,12	0,22	1,38	0,06	0,01	0,92	0,06	0,33	0,13
7	24ГГ-7	50–60	331 033	0,15	0,15	1,13	0,11	0,01	0,74	0,07	3,29	0,09
8	24ГГ-8	0–10	54 186	0,11	0,49	1,08	0,10	0,01	0,13	0,03	3,94	0,14
9	24ГГ-8	52–62	243 358	0,13	0,51	0,87	0,23	0,01	0,20	0,03	3,87	0,23
10	24ГГ-12 (1)	0–10	7013	0,06	0,56	0,75	0,11	0,04	0,09	0,10	3,23	0,03
11	24ГГ-12 (1)	28–38	46 004	0,04	0,45	0,56	0,17	0,02	0,13	0,06	0,21	0,06
12	24ГГ-13	0–10	115 474	0,05	0,46	1,40	0,09	0,02	0,22	0,07	4,10	0,17
13	24ГГ-13	51–61	316 558	0,07	0,26	1,09	0,13	0,01	0,40	0,08	2,41	0,14
14	24ГГ-14	0–10	152 574	0,10	0,40	0,38	0,08	0,01	0,17	0,03	2,59	0,09
15	24ГГ-14	55–65	320 394	0,11	0,23	1,20	0,15	0,02	0,90	0,07	0,34	0,11
16	24ГГ-18	0–10	58 187	0,08	0,42	0,93	0,08	0,01	0,19	0,03	4,33	0,07
17	24ГГ-18	54–64	112 553	0,12	1,00	0,72	0,28	0,02	0,10	0,07	2,51	0,08

Таблица 4

**Содержание неуглеводородных газов в грунтах в пункте наблюдений «Район о. Гогланд»
(исходная концентрация газов в воздушном зазоре)**

№ п/п	Номер станции	Интервал опробования, см	CO ₂	He	H ₂	O ₂	N ₂
			ppm			%	
1	24ГГ-1	0–10	2348	131	4,82	0,12	87,7
2	24ГГ-1	56–66	1286	247	34,2	0,20	58,8
3	24ГГ-5	0–10	2916	111	13,3	0,15	79,2
4	24ГГ-5	49–59	2916	130	17,6	0,19	71,5
5	24ГГ-7	0–10	382	33,9	997	0,15	84,1
6	24ГГ-7	30–40	1364	171	276	0,10	67,6
7	24ГГ-7	50–60	662	147	27,6	0,09	71,5
8	24ГГ-8	0–10	1073	112	14,4	0,07	94,4
9	24ГГ-8	52–62	634	118	8,27	0,12	76,0
10	24ГГ-12 (1)	0–10	1688	88,9	52,8	0,30	96,0
11	24ГГ-12 (1)	28–38	1372	95,4	140,6	0,09	93,6
12	24ГГ-13	0–10	703	118	16,8	0,08	89,3
13	24ГГ-13	51–61	983	144	50,2	0,10	74,2
14	24ГГ-14	0–10	1413	118	11,9	0,08	83,2
15	24ГГ-14	55–65	2886	170	5,92	0,06	71,9
16	24ГГ-18	0–10	2759	68,2	14,2	0,10	91,9
17	24ГГ-18	54–64	674	118	23,3	0,10	88,5

Таблица 5

**Статистические параметры распределения метана и его гомологов
в грунтах в пункте наблюдений «Район о. Гогланд»**

Углеводородные газы	Кол-во набл.	Среднее	Медиана	Минимум	Максимум	Ст. откл.
		ppm				
Метан	17	206 104	165 088	7013	513 504	143 305
Этан	17	0,1	0,1	0,044	0,2	0,0
Этилен	17	0,4	0,4	0,148	1,0	0,2
Пропан	17	1,1	1,1	0,385	3,0	0,6
Пропилен	17	0,1	0,1	0,057	0,3	0,1
i-бутан	17	0,04	0,02	0,006	0,3	0,1
n-бутан	17	0,4	0,2	0,093	1,2	0,3
i-бутилен	17	0,1	0,1	0,024	0,1	0,0
Бутен-1 + i-пентан	17	2,5	2,6	0,213	4,3	1,6
n-пентан	17	0,1	0,1	0,032	0,2	0,1

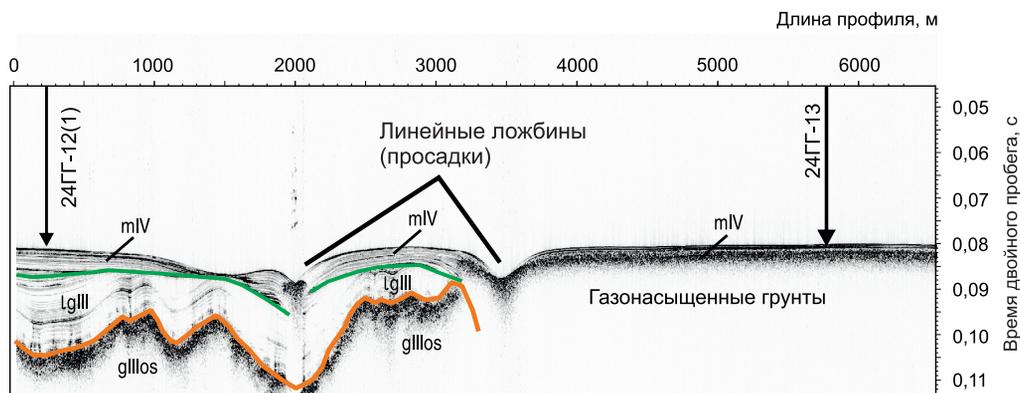


Рис. 22. Фрагмент профиля НСАП 20230515_0154 (АО ИО РАН 2024 г.) (профилограф) в пункте наблюдений «Район о. Гогланд»

mIV — голоценовые морские илы; lgIII — ледниково-озерные отложения верхнего неоплейстоцена; gIIlos — морена; 24ГГ-12 (1) и 24ГГ-13 — станции донного опробования грунтов

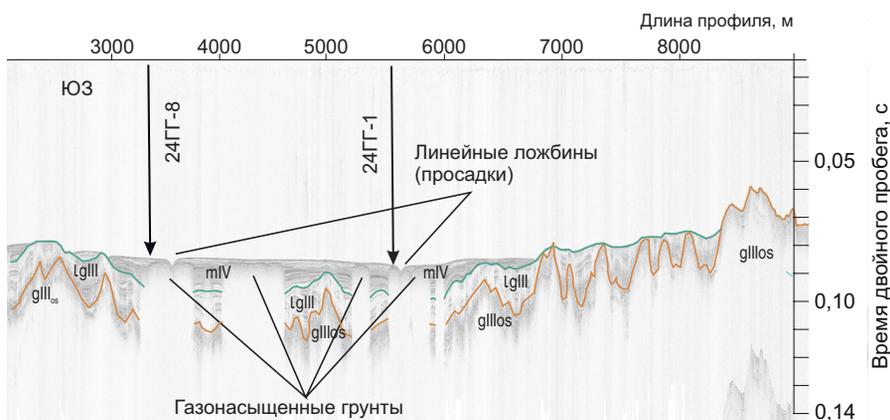


Рис. 23. Фрагмент профиля НСАП (профилограф) PR 2_2 в пункте наблюдений «Район о. Гогланд»

mIV — голоценовые отложения (озерные анциловые, морские литориновые и постлиториновые); lgIII — верхнеплейстоценовые ледниково-озерные отложения; gIIlos — морена

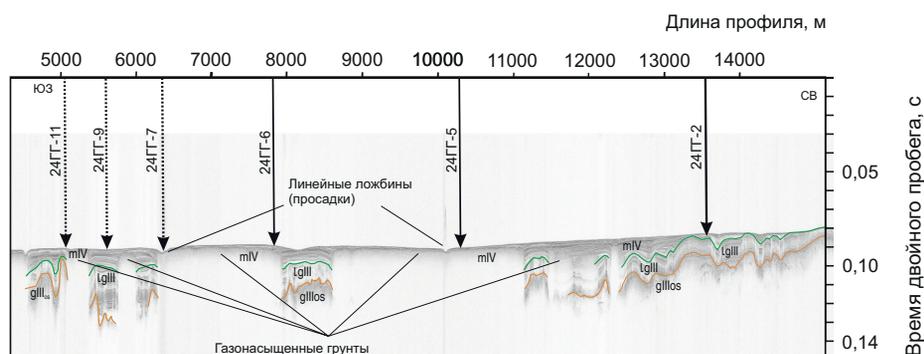


Рис. 24. Фрагмент профиля НСАП (профилограф) PR 1 в пункте наблюдений «Район о. Гогланд»

mIV — голоценовые отложения (озерные анциловые, морские литориновые и постлиториновые); lgIII — верхнеплейстоценовые ледниково-озерные отложения; gIIlos — морена. Станции 24ГГ-6, 24ГГ-5, 24ГГ-2 на линии профиля, станции 24ГГ-7, 24ГГ-9, 24ГГ-11 — проекция на профиль

Таблица 6

**Сопоставление статистических параметров распределения метана в пункте наблюдений «Район о. Гогланд»
на интервалах по разрезу осадков 0–10 см и 50–65 см**

Переменная	Интервал опробования 50–65 см					
	Кол-во набл.	Среднее	Медиана	Минимум	Максимум	Ст. откл.
Метан	7	243 187,3	316 557,9	46 003,85	332 411,2	117 592,9
Переменная	Интервал опробования 0–10 см					
	Кол-во набл.	Среднее	Медиана	Минимум	Максимум	Ст. откл.
Метан	7	126 732,0	115 474,1	54 185,82	227 408,6	61 264,09

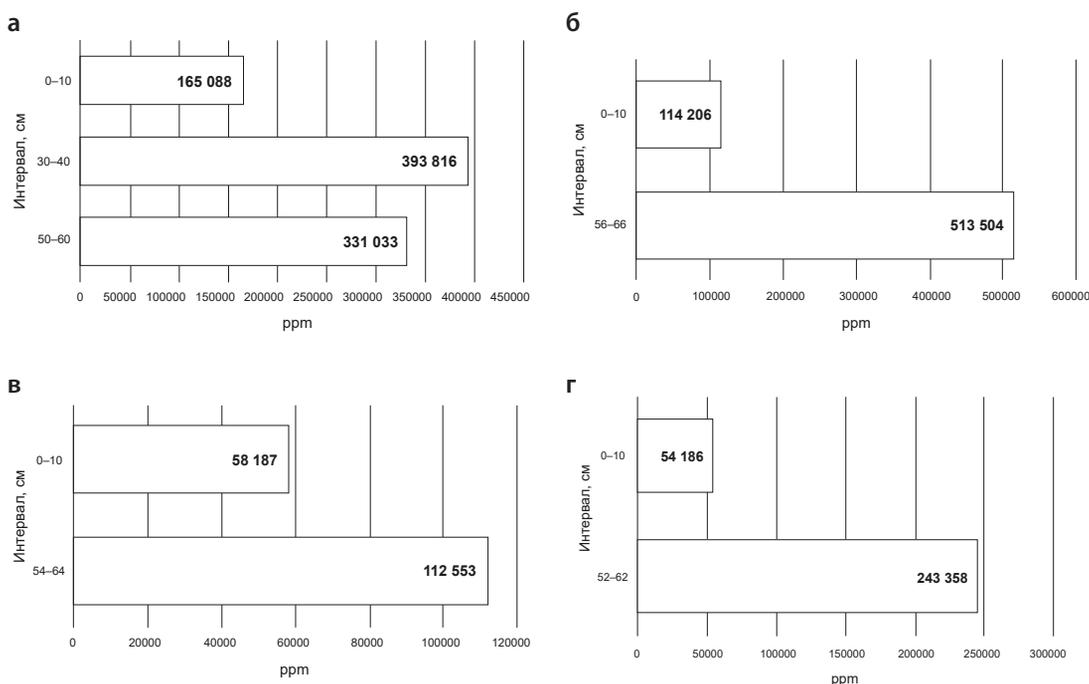


Рис. 25. Пример распределения метана по вертикальному разрезу грунтовых колонок, отобранных в пункте наблюдений «Район о. Гогланд»

а — ст. 24ГГ-7; б — ст. 24ГГ-1; в — ст. 24ГГ-18; г — ст. 24ГГ-8

Мониторинговые наблюдения на ряде станций донного опробования (рис. 26) показали, что наиболее интенсивный пульсирующий характер изменения концентрации метана в донных осадках (рис. 27–30) установлен в пределах распространения мощной толщи газонасыщенных илов в районе о. Гогланд.

Накопление метана в осадках может происходить с различной степенью интенсивности — от замедленного до скачкообразного. В первом случае процесс протекает плавно с незначительным градиентом изменения концентраций. Так, в приповерхностном горизонте осадков в точке мониторинга III за 2016–2017 гг. концентрация метана увеличилась на 14 % (с 137 790 до 157 080 ppm) (рис. 29), а в точке мониторинга I (2021–2022 гг.) — всего на 7 % (с 185 974 до 199 832 ppm) (рис. 27). Во втором случае наблюдается резкое увеличение концентрации метана в приповерхностном слое осадков. Так, в точке мониторинга I за 2018–2019 гг. концентрация метана увеличилась в 2,6 раза (с 101 854 до 272 838 ppm), в 2020–2021 гг. — в 3,8 раза (с 48 504 до 185 974 ppm), а в 2023–2024 гг. — в 3,1 раза (с 106 380 до 331 033 ppm) (рис. 27). В точке мониторинга III в 2020–2021 гг. зафиксировано повышение концентрации метана в 5,1 раза, а в 2023–2024 гг. — в 4,9 раза (рис. 29). Максимальный

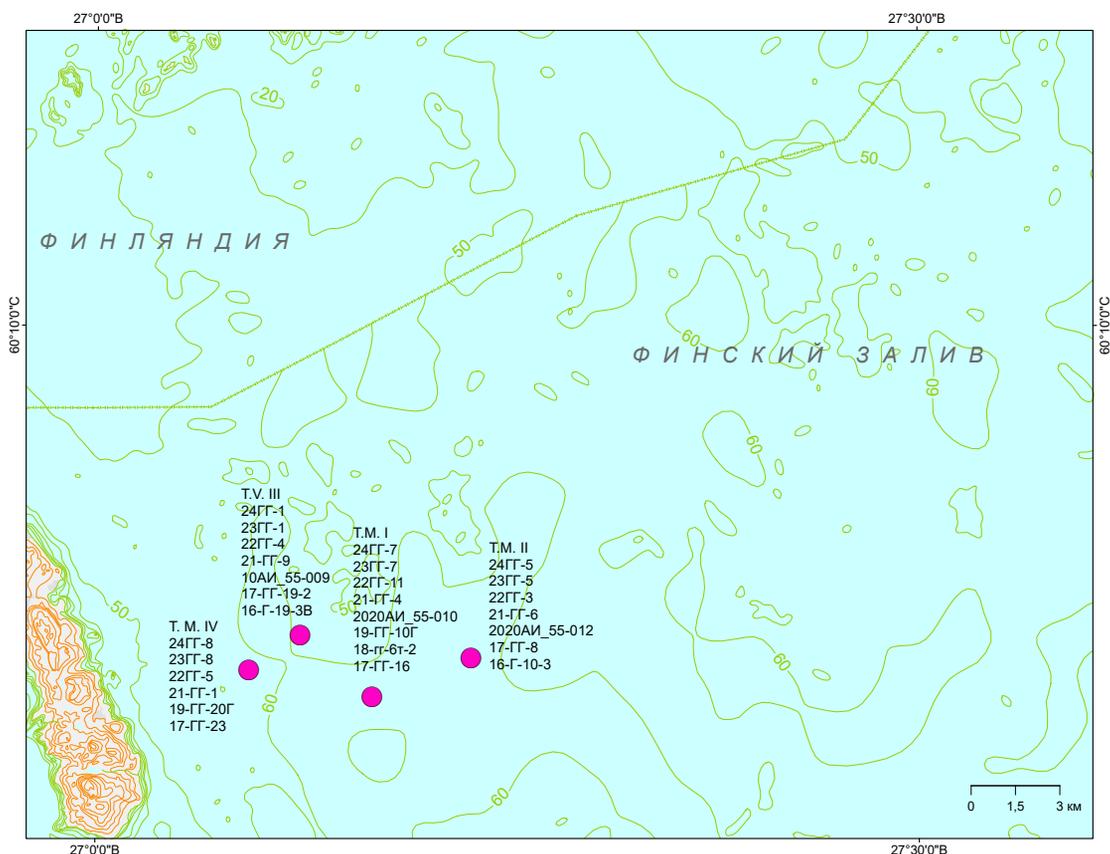


Рис. 26. Положение станций мониторинга за 2016–2024 гг. в пункте наблюдений «Район о. Гогланд»

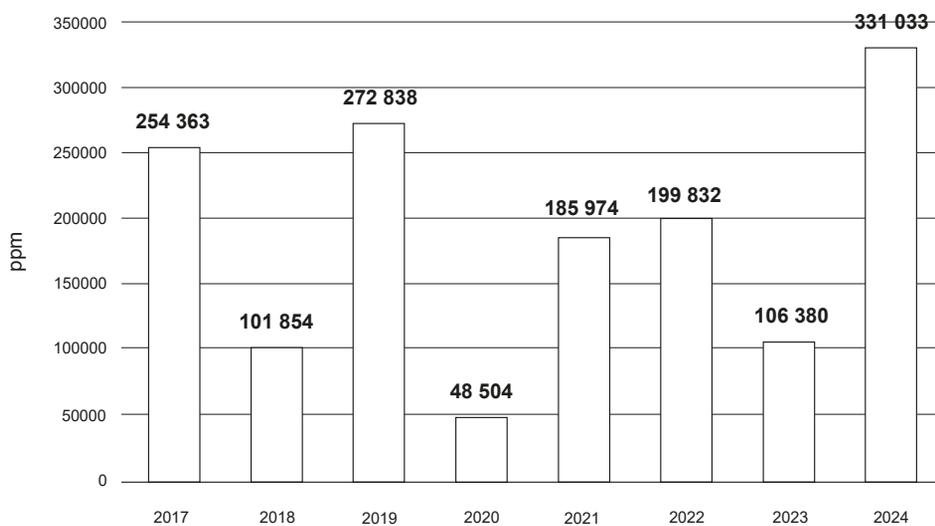


Рис. 27. Изменения концентрации метана в приповерхностной части разреза грунтовых колонок за 2017–2024 гг. Точка мониторинга I (станции 17-ГГ-16, 18-гг-6т-2, 19-ГГ-10Г, 2020АИ_55-010, 21-ГГ-4, 22ГГ-11, 23ГГ-7, 24ГГ-7)

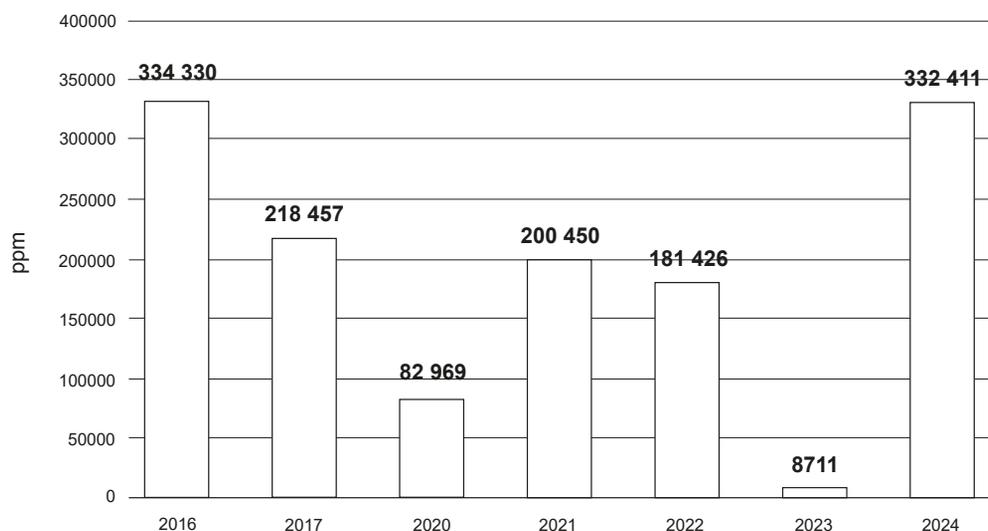


Рис. 28. Изменение концентрации метана в приповерхностной части разреза грунтовых колонок за 2016–2024 гг. Точка мониторинга II (станции 16-Г-10-3, 17-ГГ-8, 20АИ_55-012, 21-ГГ-6, 22ГГ-3, 23ГГ-5, 24ГГ-5)

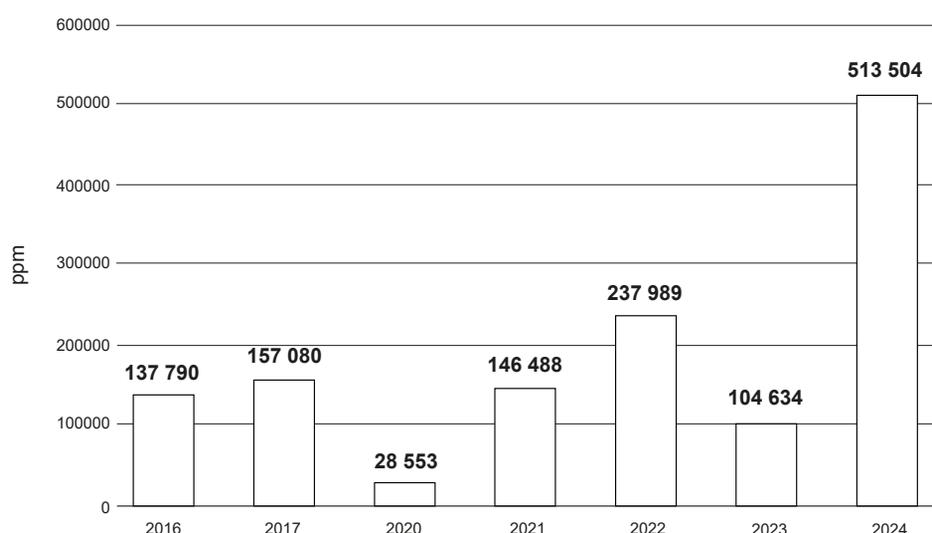


Рис. 29. Изменение концентрации метана в приповерхностной части разреза грунтовых колонок за 2016–2024 гг. Точка мониторинга III (станции 16-Г-19-3В, 17-ГГ-19-2, 2020-АИ_55-009, 21-ГГ-9, 22ГГ-4, 23ГГ-1, 24ГГ-1)

градиент изменения концентрации метана отмечен в точке мониторинга II, где за 2023–2024 гг. концентрация метана увеличилась в 38,1 раза — с 8711 до 332 411 ppm (рис. 28).

Процесс накопления метана в осадках, как правило, непродолжителен и протекает не более года, но этап непрерывного накопления занимает большой период. Так, на точке мониторинга III накопление метана проходило в течение 3 лет (2020–2022 гг.) — с 28 533 до 237 989 ppm (рис. 29). На точке мониторинга IV наблюдается стабильное накопление метана, также в течение 3 лет (2022–2024 гг.) — с 131 195 до 243 358 ppm (рис. 30).

Дегазация осадков за счет выхода метана в водную толщу, как и накопление, значительно различается по интенсивности. В одних случаях процесс протекает активно. Так, по результатам наблюдений в точке мониторинга I (рис. 27) за 2017–2018 гг. концентрация метана упала в 2,4 раза (с 254 363 до 101 854 ppm), а в 2019–2020 гг. — в 5,6 раза (с 272 838 до 48 504 ppm). В точке мониторинга II

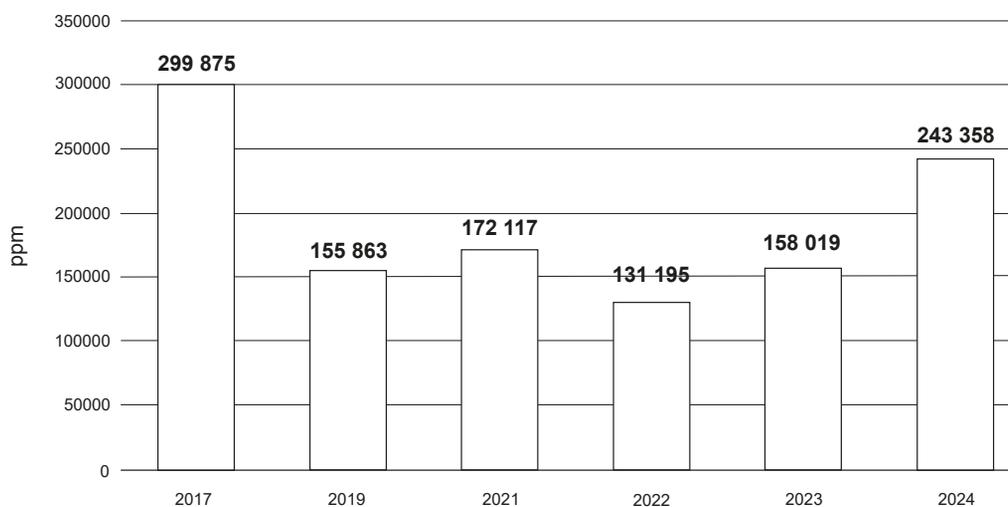


Рис. 30. Изменение концентрации метана в приповерхностной части разреза грунтовых колонок за 2017–2024 гг. Точка мониторинга IV (станции 17-ГГ-23, 19-ГГ-20Г, 21-ГГ-1, 22ГГ-5, 23ГГ-8, 24ГГ-8)

(рис. 28) за 2022–2023 гг. концентрация метана упала более чем в 20 раз (с 181 426 до 8711 ppm). Вероятно, в подобных случаях процесс дегазации имеет лавинообразный характер, реализуясь как одномоментный прорыв на поверхность дна.

В других случаях процесс дегазации протекает медленно за счет плавной диффузии газов на поверхность. Так, в точке мониторинга II (рис. 28) концентрация метана в приповерхностной части разреза за 2021–2022 гг. уменьшилась всего в 1,1 раза (с 200 450 до 181 426 ppm). В этой же точке мониторинга за 2016–2017 гг. концентрация метана упала с 334 330 до 218 457 ppm, то есть в 1,5 раза. Аналогичная картина наблюдается и в ряде других случаев.

На одной точке мониторинга в разные периоды может значительно меняться степень интенсивности процессов накопления метана и его дегазации. Однако в 2024 г. на всех станциях мониторинга в пункте наблюдений «Район о. Гогланд» зафиксировано заметное увеличение концентрации метана в донных осадках по сравнению с 2023 г.

Помимо процессов накопления метана и дегазации осадков с различной степенью интенсивности, отмечены случаи, когда содержание метана в приповерхностном слое осадков на протяжении значительного периода остается достаточно стабильным. Так, в точке мониторинга IV (рис. 30) в течение 2019–2023 гг. при среднем значении 154 299 ppm отклонение концентрации метана от среднего не превышало 23 104 ppm.

Обобщение полученных данных позволило актуализировать карту проявлений ЭГП в пункте наблюдений «Район о. Гогланд» (рис. 31*).

В южной части залива в пункте наблюдений «Кургальский риф — о. Сескар» наиболее протяженные поля газонасыщенных отложений выявлены вдоль подножия склона банки Хитаматала в пределах погребенной долины. Они представлены темно-серыми до черного или зеленовато-серыми текучепластичными алевропелитами (рис. 32). Вниз по разрезу осадок становится пористым, часто ощущается сильный запах сероводорода. На ст. 24СЕС-9, расположенной в наиболее глубокой части долины, на поверхности дна отсутствовал бурый окисленный наилкок, то есть здесь была зафиксирована бескислородная зона, что подтверждено отрицательным значением $E_h = -68$ мВ в придонной воде, тогда как на остальных станциях значение E_h колебалось в диапазоне +90...+195 мВ.

Концентрации метана в газовом составе грунтов (табл. 7, 8) показывают значения относительно высокие (24СЕС-8 и 24СЕС-9), хотя и несколько ниже, чем в 2023 г. [Информационный бюллетень..., 2024]. Наиболее высокие концентрации метана до 160 488 ppm на интервале 23–28 см (ст. 24СЕС-8) и 92 399 ppm на интервале 20–25 см (ст. 24СЕС-9) фиксируются в грунтах, отобранных в ложбине, протягивающейся вдоль восточного подножия банки Хитаматала, где мощность газонасыщенных илов, вероятно, превышает 10 м (рис. 33). Можно отметить, что на станциях 24СЕС-8 и 24СЕС-9 содержание



Рис. 31*. Дополнительные материалы



Рис. 32. Алевропелитовые илы, отобранные в зоне распространения газонасыщенных осадков

a — ст. 24СЕС-9 — на поверхности отсутствует окисленный бурый наилкок (E_h придонной воды -68 мВ); *б* — ст. 24СЕС-11 — бурый наилкок присутствует (E_h придонной воды $+123$ мВ)

метана в поверхностных слоях грунтов падает в 16–33 раза относительно грунтов, отобранных с интервала 23–30 см (табл. 7). В 2023 г. на ряде станций наблюдалась обратная картина: содержание метана в поверхностных пробах было значительно выше, чем на глубине по разрезу 23–43 см.

По разрезу грунтовых трубок наблюдается дифференциация в концентрации метана. При относительно высоких концентрациях метана более глубокозалегающие опробованные горизонты характеризуются значительно повышенным его содержанием (рис. 34, *a, б*). При малых концентрациях метана его содержание по горизонтам приблизительно одинаково, либо даже может быть выше в приповерхностной части разреза (рис. 34, *в*).

В пункте наблюдений «Кургальский риф — о. Сескар» мониторинг распределения метана в осадках проводится с 2021 г. Результаты мониторинга в точке VI (станции 21-СЕС-2, 22СЕС-1, 23СЕС-5, 24СЕС-8) представлены на рис. 35. В данном случае фиксируется пульсирующий характер изменения содержания метана в приповерхностном слое донных осадков. Лавинообразное уменьшение концентрации метана в 8,8 раза (с 14 9636 до 16 885 ppm) зафиксировано в 2021–2022 гг. И столь же лавинообразное увеличение концентрации метана в 11,5 раза (с 16 885 до 195 058 ppm) выявлено в 2022–2023 гг. и далее слабое понижение до 160 488 ppm в 2024 г.

В северной части залива у подножия террасы «Мыс Флотский — мыс Песчаный» на глубинах моря более 22 м также выявлены поля газонасыщенных грунтов (рис. 36).

Газонасыщенные отложения представлены текучими зеленовато-серыми и черными алевропелитами, часто пористыми уже в приповерхностном разрезе и с сильным запахом сероводорода (рис. 37, 38). На ст. 24ФЛ-1 на подводных фотографиях морского дна хорошо видны многочисленные округлые полости диаметром до 1 см. Маловероятно, что это следы выхода метана на поверхность дна, скорее всего, это следы ползания полихет, хотя их на поверхности дна на подводной записи не встречено. Если подтвердится, что появление полостей происходит за счет деятельности бентоса, то это объяснит понижение содержания метана в поверхностных грунтах по сравнению с 2023 г. за счет активной биотурбации. Состав газовой компоненты представлен в табл. 9 и 10, а статистические параметры распределения метана и его гомологов — в табл. 11.

Максимальные концентрации метана фиксируются на ст. 24ФЛ-6 на интервале опробования грунтов 24–30 см (43 553 ppm) и на ст. 24ФЛ-7 на интервале опробования 35–40 см (24 595 ppm). На архивном профиле НСАП (рис. 39) уверенно прослеживается палеодолина, которая, судя по характеру акустического сигнала, практически полностью заполнена газонасыщенными илами. Станции 24ФЛ-6, 7 расположены в пределах долины с максимальной мощностью голоценовых осадков, что и обуславливает высокие концентрации метана на этих станциях.

По вертикальному разрезу в грунтах, опробованных в пункте наблюдений «Мыс Флотский — мыс Песчаный», наблюдается заметная дифференциация в концентрации метана: более глубокие опробованные слои грунтов, как правило, характеризуются повышенными содержаниями (рис. 40, 41).

Газонасыщенные илы в Выборгском заливе представлены зеленовато-серыми и темно-серыми до черных текучими и текучепластичными алевропелитами (рис. 42). На всех станциях пробоотбора

Таблица 7

Содержание углеводородных газов в грунтах в пункте наблюдений «Кургальский риф — о. Сескар»

№ п/п	Номер станции	Интервал опробования, см	Метан	Этан	Этилен	Пропан	Пропилен	i-бутан	n-бутан	i-бутилен	Бутен-1 + i-пентан	n-пентан
			CH ₄	C ₂ H ₆	C ₂ H ₄	C ₃ H ₈	C ₃ H ₆	i-C ₄ H ₁₀	n-C ₄ H ₁₀	i-C ₄ H ₈	C ₄ H ₈ + i-C ₅ H ₁₂	n-C ₅ H ₁₂
			Исходная концентрация в воздушном зазоре, ppm									
1	24СЕС-6	0–5	279	0,29	0,70	0,65	0,27	0,02	0,13	0,07	1,03	0,15
2	24СЕС-6	22–27	155	0,16	0,80	0,26	0,44	0,04	0,08	0,04	0,29	0,03
3	24СЕС-8	0–5	5103	0,23	0,42	1,72	0,26	0,08	0,31	0,03	0,81	0,11
4	24СЕС-8	23–28	160 488	0,20	0,48	2,06	0,30	0,02	1,02	0,09	1,01	0,08
5	24СЕС-9	0–5	70 381	0,17	0,55	1,53	0,36	0,11	0,34	0,15	1,14	0,62
6	24СЕС-9	20–25	92 399	0,14	0,58	2,00	0,32	0,05	0,82	0,18	0,52	0,20
7	24СЕС-10	0–5	2734	0,27	0,47	1,71	0,34	0,10	0,33	0,06	0,83	0,12
8	24СЕС-10	25–30	44 128	0,11	0,29	1,44	0,22	0,05	0,82	0,04	0,91	0,07
9	24СЕС-12	0–5	424	0,44	0,80	0,27	0,29	0,05	0,08	0,04	1,68	0,03

Таблица 8

Содержание неуглеводородных газов в грунтах в пункте наблюдений «Кургальский риф — о. Сескар» (исходная концентрация в воздушном зазоре)

№ п/п	Номер станции	Интервал опробования, см	CO ₂	He	H ₂	O ₂	N ₂
			ppm			%	
1	24СЕС-6	0–5	4775	8,21	3,65	0,61	94,1
2	24СЕС-6	22–27	1723	32,0	9,21	0,10	97,1
3	24СЕС-8	0–5	10 308	8,42	2,92	0,14	95,0
4	24СЕС-8	23–28	11 564	60,1	8,96	0,15	76,9
5	24СЕС-9	0–5	35 037	5,12	4,41	0,21	85,8
6	24СЕС-9	20–25	25 448	88,4	5,70	0,17	85,5
7	24СЕС-10	0–5	13 083	46,4	10,9	0,09	92,8
8	24СЕС-10	25–30	42 274	50,6	7,00	0,16	83,0
9	24СЕС-12	0–5	10 909	95,8	4,83	0,23	96,4

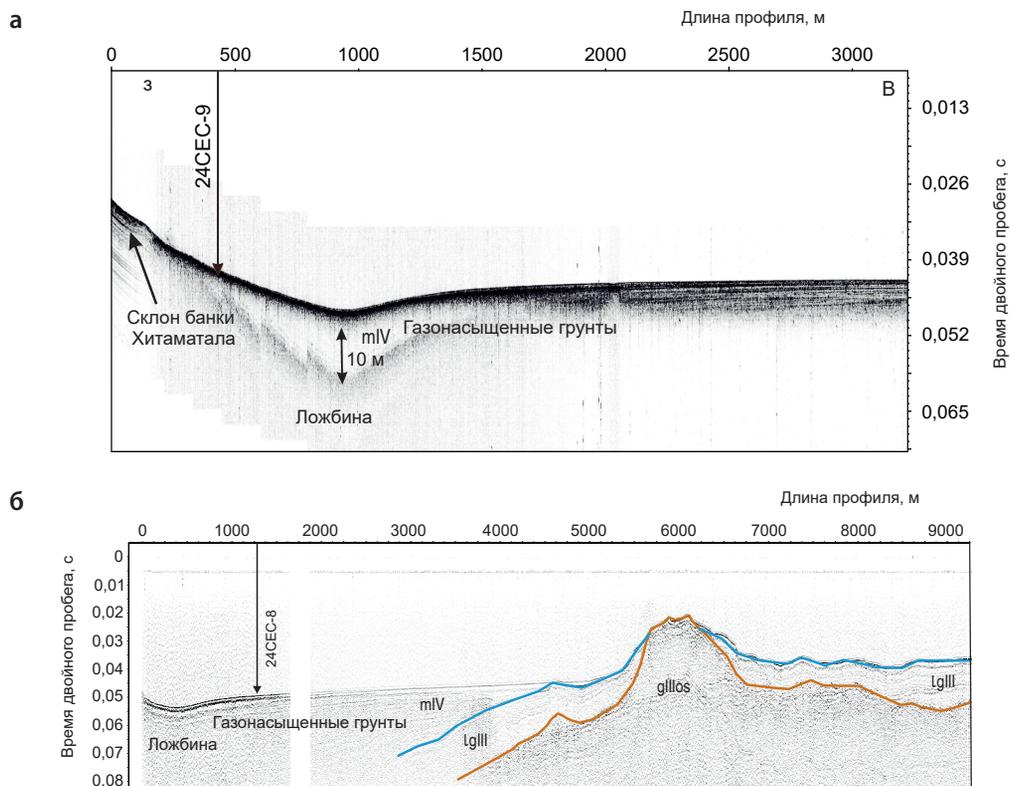


Рис. 33. Ложбина, протягивающаяся вдоль восточного подножия банки Хитаматала, заполненная газонасыщенными илами

a — положение станции пробоотбора 24CEC-9 на архивном профиле НСАП 20230613_102844_LF (профилограф); *б* — станция пробоотбора 24CEC-8 на архивном профиле НСАП 2020jul15_08; mIV — голоценовые отложения (озерные анциловые, морские литориновые и постлиториновые), lgIII — верхнеоплейстоценовые ледниково-озерные отложения, glllos — морена

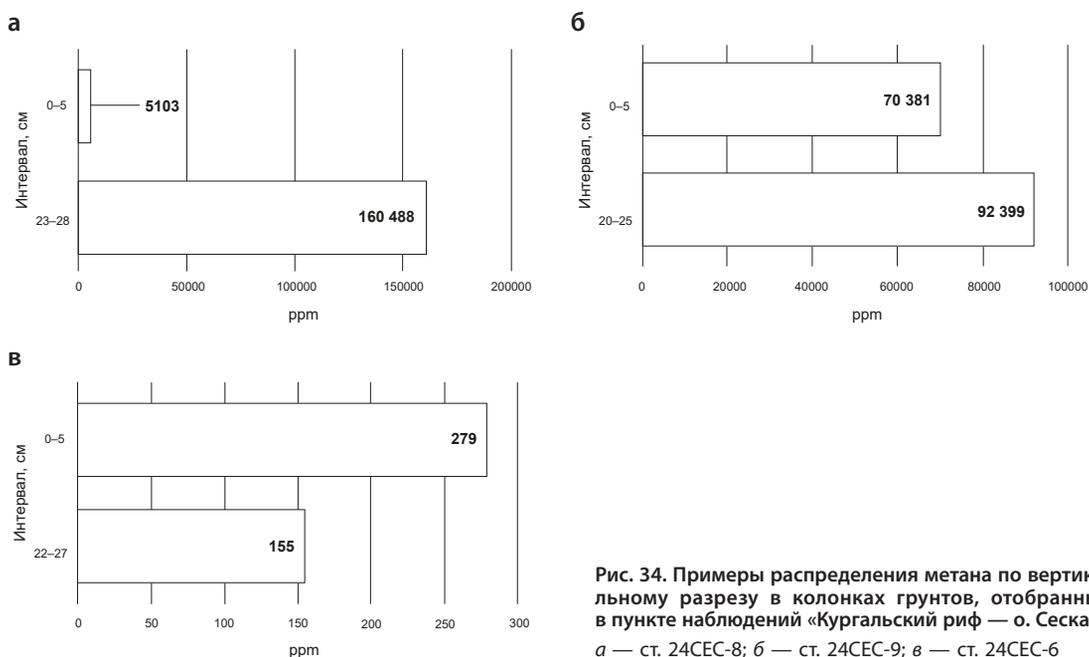


Рис. 34. Примеры распределения метана по вертикальному разрезу в колонках грунтов, отобранных в пункте наблюдений «Кургальский риф — о. Сескар»
a — ст. 24CEC-8; *б* — ст. 24CEC-9; *в* — ст. 24CEC-6

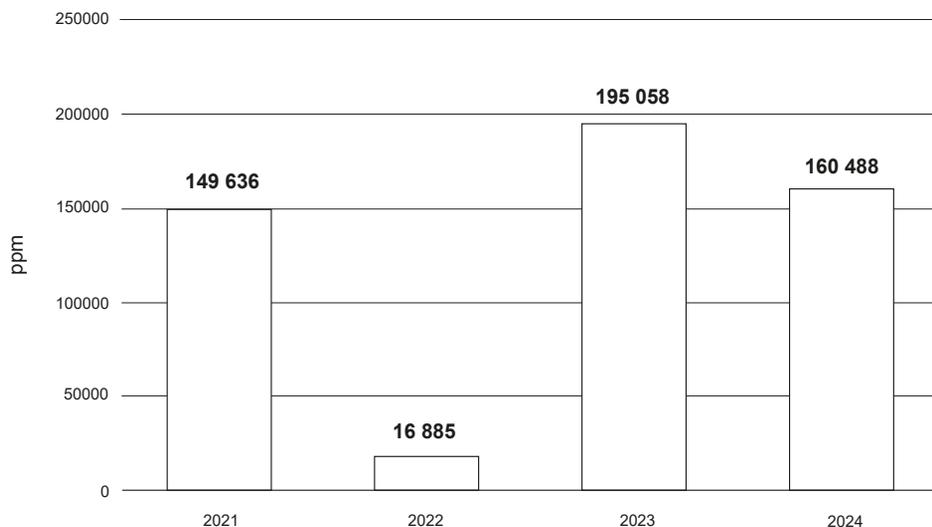


Рис. 35. Изменение концентрации метана в приповерхностной части разреза грунтовых колонок в 2021–2024 гг. Точка мониторинга VI (станции 21-СЕС-2, 22СЕС-1, 23СЕС-5, 24СЕС-8)

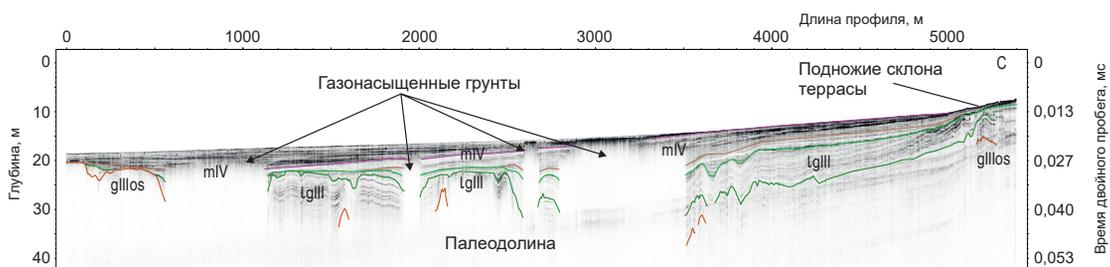


Рис. 36. Профиль НСАП 20240816_143340, пересекающий палеодолину, в которой выявлены газонасыщенные грунты

mIV — голоценовые отложения (озерные анциловые, морские литориновые и постлиториновые); lgIII — верхнелепистоценовые ледниково-озерные отложения; glIII — морена

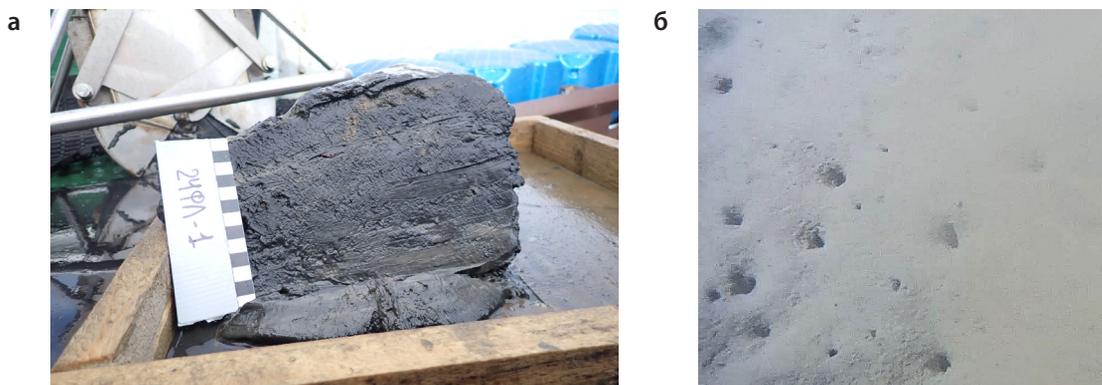


Рис. 37. Алевропелитовые газонасыщенные илы (ст. 24ФЛ-1)
 а — проба на борту судна; б — подводная фотография дна



Рис. 38. Алевропелиты газонасыщенные
а — ст. 24ФЛ-3; б — ст. 24ФЛ-7

Таблица 9

Содержание неуглеводородных газов в грунтах в пункте наблюдений «Мыс Флотский — мыс Песчаный»
(концентрация газов в воздушном зоре)

№ п/п	Номер станции	Интервал опробования, см	CO ₂	He	H ₂	O ₂	N ₂
			ppm			%	
1	24ФЛ-1	0–10	6561	24,8	13,3	0,17	89,8
2	24ФЛ-2	0–5	5043	10,9	8,08	0,13	93,6
3	24ФЛ-3	0–5	7289	17,8	11,2	0,23	90,0
4	24ФЛ-4	0–5	13 522	42,4	8,26	0,12	91,7
5	24ФЛ-5	0–5	8253	32,0	9,51	0,14	90,8
6	24ФЛ-6	0–5	6307	13,6	5,62	0,20	86,3
7	24ФЛ-6	24–30	4645	6,80	10,3	0,35	83,0
8	24ФЛ-7	0–5	3628	28,0	7,80	0,23	87,5
9	24ФЛ-7	35–40	20 367	10,0	9,85	0,21	86,0
10	24ФЛ-8	0–5	2508	22,2	3,58	0,24	81,3

в пункте наблюдений «Выборгский залив» на поверхности дна наблюдается бурый окисленный наилкок мощностью не менее 1–2 см, что косвенно свидетельствует об окислительной обстановке на границе дно/вода. Eh придонной воды изменяется в узких пределах: +113...+144 мВ.

Состав газовой фазы донных грунтов приведен в табл. 12 и 13, а статистические параметры распределения метана и его гомологов в грунтах — в табл. 14.

В пункте наблюдений «Выборгский залив» распределение метана в грунтах по площади крайне неравномерно. Так, при фоновой медианной концентрации метана 3380 ppm, на интервале 30–35 см разреза грунтовой колонки, отобранной на ст. 24В3-5, зафиксировано содержание 181 100 ppm, а минимальное значение на интервале 25–30 см на ст. 24В3-3 составило 92 ppm. В целом выделяется группа станций опробования с высокими концентрациями метана в грунтах — 24В3-1, 24В3-2, 24В3-5 и группа станций с низкими — 24В3-3, 24В3-4. Согласно полевому описанию, на станциях с повышенными содержаниями наблюдалось пузырение осадка. По вертикальному разрезу грунтов в колонках также отмечается заметная дифференциация концентраций. Как правило, более глубокие горизонты характеризуются повышенными значениями, даже при общем низком фоне (рис. 43, а, б).

Анализ газового состава поверхностных грунтов (табл. 15, 16), отобранных в пункте наблюдений «Копорский залив» в 2024 г., показал низкие концентрации метана и его гомологов. Здесь же

Таблица 10

Содержание углеводородных газов в грунтах в пункте наблюдений «Мыс Флотский — мыс Песчаный»

№ п/п	Номер станции	Интервал опробования, см	Метан	Этан	Этилен	Пропан	Пропилен	i-бутан	n-бутан	i-бутилен	Бутен-1 + i-пентан	n-пентан
			CH ₄	C ₂ H ₆	C ₂ H ₄	C ₃ H ₈	C ₃ H ₆	i-C ₄ H ₁₀	n-C ₄ H ₁₀	i-C ₄ H ₈	C ₄ H ₈ + i-C ₅ H ₁₂	n-C ₅ H ₁₂
			Исходная концентрация в воздушном зазоре, ppm									
1	24ФЛ-1	0–10	386	0,23	0,19	1,02	0,17	0,06	0,24	0,14	0,39	0,05
2	24ФЛ-2	0–5	855	0,14	0,40	0,80	0,26	0,04	0,14	0,11	0,36	0,16
3	24ФЛ-3	0–5	345	0,17	0,36	0,94	0,24	0,05	0,20	0,15	0,47	0,16
4	24ФЛ-4	0–5	18 533	0,17	0,19	2,35	0,14	0,06	0,38	0,06	2,71	0,09
5	24ФЛ-5	0–5	347	0,15	0,31	0,61	0,16	0,04	0,14	0,08	0,22	0,10
6	24ФЛ-6	0–5	438	0,13	0,25	1,11	0,15	0,04	0,15	0,13	1,72	0,09
7	24ФЛ-6	24–30	43 553	0,09	0,16	1,48	0,13	0,07	0,34	0,08	0,31	0,07
8	24ФЛ-7	0–5	4176	0,21	0,31	1,24	0,15	0,15	0,18	0,07	0,30	0,07
9	24ФЛ-7	35–40	24 595	0,08	0,06	1,41	0,08	0,11	0,51	0,06	0,27	0,04
10	24ФЛ-8	0–5	1540	0,18	0,35	0,90	0,23	0,06	0,16	0,09	2,12	0,07

Таблица 11

Статистические параметры распределения метана и его гомологов (ppm) в грунтах в пункте наблюдений «Мыс Флотский — мыс Песчаный»

	Кол-во набл.	Среднее	Медиана	Минимум	Максимум	Ст. откл.
Метан	6	652	412	345	1540	476
Этан	6	0,1665	0,1594	0,1346	0,228	0,0354
Этилен	6	0,3083	0,3314	0,1851	0,397	0,0789
Пропан	6	0,8970	0,9155	0,6135	1,115	0,1760
Пропилен	6	0,2033	0,1987	0,1547	0,260	0,0463
i-бутан	6	0,0497	0,0474	0,0363	0,065	0,0124
n-бутан	6	0,1734	0,1547	0,1417	0,245	0,0416
i-бутилен	6	0,1168	0,1201	0,0772	0,151	0,0301
Бутен-1 + i-пентан	6	0,8797	0,4295	0,2243	2,118	0,8179
n-пентан	6	0,1055	0,0967	0,0468	0,163	0,0462

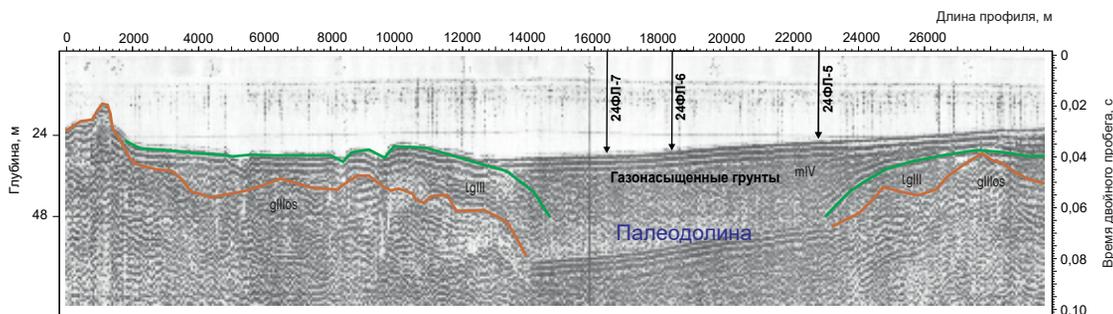


Рис. 39. Фрагмент архивного (1989 г.) профиля НСАП NSP_1989_FG_PR9, пересекающего палеодолину (пункт наблюдений «Мыс Флотский — мыс Песчаный»), заполненную газонасыщенными илами (станции пробоотбора 24ФЛ-5, 6, 7) mIV — голоценовые отложения (озерные анциловые, морские литориновые и постлиториновые); lgIII — верхнеоплейстоценовые ледниково-озерные отложения; gIIIs — морена

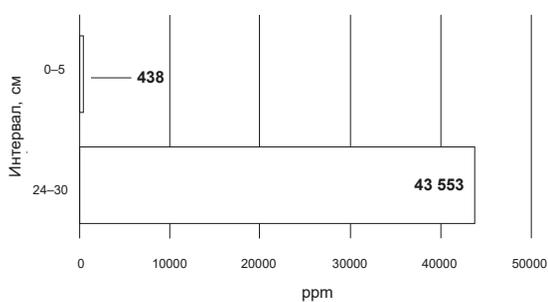


Рис. 40. Распределение метана по разрезу грунтовой колонки 24ФЛ-6

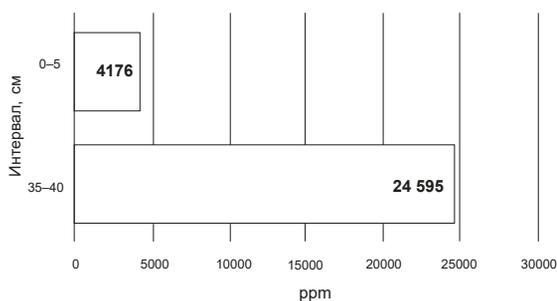


Рис. 41. Распределение метана по разрезу грунтовой колонки 24ФЛ-7

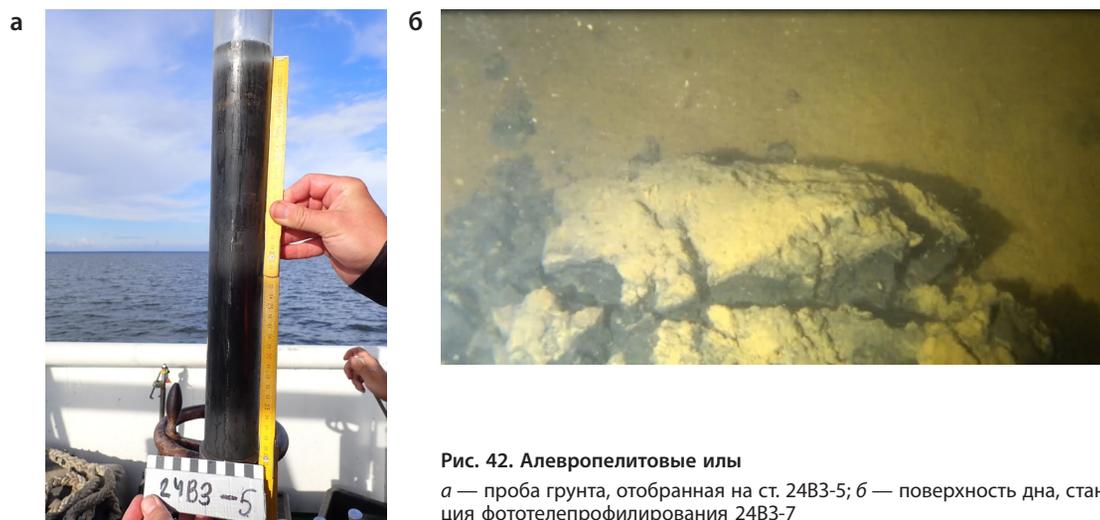


Рис. 42. Алевропелитовые илы
а — проба грунта, отобранная на ст. 24ВЗ-5; б — поверхность дна, станция фототелепробирования 24ВЗ-7

**Содержание неуглеводородных газов в грунтах в пункте наблюдений «Выборгский залив»
(концентрация газов в воздушном зазоре)**

№ п/п	Номер станции	Интервал опробования, см	CO ₂	He	H ₂	O ₂	N ₂
			ppm			%	
1	24В3-1	0–5	21 225	7,80	11,5	0,14	95,2
2	24В3-1	20–25	27 852	159	4,53	0,07	85,0
3	24В3-2	0–5	13 753	17,1	4,98	0,27	95,6
4	24В3-2	25–30	22 156	109	5,45	0,15	88,8
5	24В3-3	0–5	3957	44,7	7,90	0,17	97,9
6	24В3-3	25–30	2694	16,0	5,87	0,35	98,1
7	24В3-4	0–5	2420	14,4	4,63	0,28	96,8
8	24В3-4	15–20	2929	99,0	37,7	0,48	96,6
9	24В3-5	0–5	28 744	65,2	12,6	0,20	88,0
10	24В3-5	30–35	25 464	92,5	7,97	0,25	80,3

фиксируются самые низкие (по сравнению с грунтами, отобранными в других пунктах наблюдений) величины соотношения метана к его гомологам, как правило, не превышающие 10, а также высокие содержания CO₂ и O₂.

В 2024 г. проведено определение изотопного состава углерода метана (табл. 17). Величина δ¹³C находится в интервале от –115,32 до –51,83 ‰. Значение изотопного состава углерода зависит преимущественно от механизма образования метана [Прасолов, 1990; Иванов и др., 1992; Хефс, 1983; Леин, 2004; Леин, Иванов, 2005; Калмычков и др., 2006; Ульянова, 2014]. Наиболее изотопно легким обычно считается близповерхностный «бактериальный», или «микробный» метан. Фактически содержание изотопа δ¹³C в современных поверхностных осадках, по данным авторов [Прасолов, 1990; Иванов и др., 1992; Канапацкий, 2013], варьирует от –97,5 до –58,2 ‰.

В пробах грунтов, отобранных в 2024 г. в пунктах наблюдений «Район о. Гогланд» и «Мыс Флотский — мыс Песчаный», значение δ¹³C в метане колеблется от –70,21 до –115,32 ‰ (табл. 17), что свидетельствует о его низкотемпературном, малоглубинном «микробном» генезисе. В пробах грунтов, отобранных в пункте наблюдений «Кургальский риф — о. Сескар» на станциях 24СЕС-9 и 24СЕС-10, значения δ¹³C выходят за пределы значений, характерных для «микробного» происхождения метана.

Станции 24СЕС-9, 24СЕС-10 и 24СЕС-8 являются мониторинговыми и наследуют положение станций опробования 2023 г. Сопоставление изотопного состава углерода метана по результатам работ 2023 и 2024 гг., приведенным в табл. 18, показывает наличие в осадках метана, более тяжелого, чем «биогеогенный», и стабильность его поступления в толщу отложений.

Наиболее вероятным источником тяжелого изотопа углерода в приповерхностных грунтах, опробованных в пределах палеодолины в пункте наблюдений «Кургальский риф — о. Сескар», являются более древние четвертичные отложения, захороненные под мореной ошашковского оледенения [Информационный бюллетень..., 2024]. В частности, это могут быть останцы или отторженцы микулинской (мгинской) морской межледниковой толщи [Малаховский, Саммет, 1981; Скибина и др., 2021], известной как газогенерирующая [Краснов, 1935; Руденко, 2000; Дашко и др., 2011].

Изотопный состав углерода метана (δ¹³C) в донных отложениях, опробованных в пункте наблюдений «Выборгский залив» в 2024 г., находится в интервале от –56,29 до –59,06 ‰ (табл. 17), что свидетельствует о возможном источнике метана, отличном от современного «биогеогенного». Работами 2023 г. на станции мониторинга 23В3-1, соответствующей ст. 24В3-1 (δ¹³C –56,29 ‰), зафиксировано значение δ¹³C –57,8 ‰, указывающее на стабильность поступления относительно более «тяжелого метана» в осадки. Нахождение в разрезе четвертичных отложений в прол. Бьёркезунд газогенерирующих микулинских отложений маловероятно. Но можно предположить, что в данном случае, как в Стокгольмском архипелаге, также расположенном в Балтийском море, по данным [Söderberg, Flodén, 1993], часть газопроявлений в четвертичных отложениях обусловлена притоком термогенного метана из кристаллических пород по тектоническим разломам. В частности, по оси прол. Бьёркезунд, где отобраны грунты на станциях 24В3-1, 2, 5, проходит предполагаемый тектонический разлом [Атлас..., 2010], который может являться поставщиком некоторого количества «тяжелого метана».

Таблица 13

Содержание углеводородных газов в грунтах в пункте наблюдений «Выборгский залив»

№ п/п	Номер станции	Интервал опробования, см	Метан	Этан	Этилен	Пропан	Пропилен	i-бутан	n-бутан	i-бутилен	Бутен-1 + i-пентан	n-пентан
			CH ₄	C ₂ H ₆	C ₂ H ₄	C ₃ H ₈	C ₃ H ₆	i-C ₄ H ₁₀	n-C ₄ H ₁₀	i-C ₄ H ₈	C ₄ H ₈ + i-C ₅ H ₁₂	n-C ₅ H ₁₂
			Исходная концентрация в воздушном зазоре, ppm									
1	24ВЗ-1	0–5	3422	0,22	0,23	1,43	0,09	0,13	0,10	0,10	0,26	0,15
2	24ВЗ-1	20–25	121 601	0,06	0,03	2,18	0,04	0,02	0,95	0,07	1,84	0,10
3	24ВЗ-2	0–5	2470	0,24	0,29	1,47	0,15	0,06	0,25	0,12	2,53	0,08
4	24ВЗ-2	25–30	82 640	0,06	0,09	1,63	0,07	0,02	0,52	0,05	1,32	0,07
5	24ВЗ-3	0–5	51,2	0,43	0,79	0,91	0,34	0,05	0,18	0,11	2,01	0,08
6	24ВЗ-3	25–30	92,4	0,24	0,75	0,34	0,43	0,04	0,19	0,11	2,42	0,11
7	24ВЗ-4	0–5	54,0	0,21	0,54	0,45	0,28	0,03	0,09	0,05	2,49	0,10
8	24ВЗ-4	15–20	3339	0,68	0,80	1,39	0,38	0,09	0,25	0,05	0,19	0,15
9	24ВЗ-5	0–5	51 208	0,08	0,07	1,68	0,05	0,02	0,37	0,06	2,38	0,12
10	24ВЗ-5	30–35	181 100	0,06	0,06	1,95	0,04	0,01	0,83	0,05	0,13	0,06

Таблица 14

Статистические параметры распределения метана и его гомологов (ppm) в грунтах в пункте наблюдений «Выборгский залив»

	Кол-во набл.	Среднее	Медиана	Минимум	Максимум	Ст. откл.
Метан	10	44 597	3380	51	181 100	64 269
Этан	10	0,23	0,218	0,05770	0,7	0,20
Этилен	10	0,36	0,261	0,03428	0,8	0,32
Пропан	10	1,34	1,454	0,33863	2,2	0,60
Пропилен	10	0,19	0,120	0,03652	0,4	0,15
i-бутан	10	0,05	0,037	0,01390	0,1	0,04
n-бутан	10	0,37	0,247	0,09142	1,0	0,30
i-бутилен	10	0,08	0,066	0,04680	0,1	0,03
Бутен-1 + i-пентан	10	1,56	1,925	0,12893	2,5	1,01
n-пентан	10	0,10	0,097	0,06214	0,2	0,03

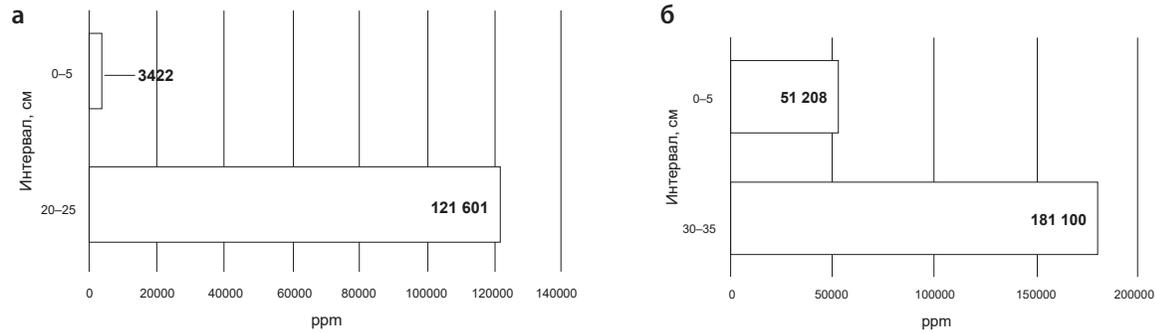


Рис. 43. Распределение метана по вертикальному разрезу грунтовых колонок, опробованных на станциях а — 24В3-1; б — 24В3-5

Таблица 15

Содержание углеводородных газов в грунтах, отобранных в пункте наблюдений «Копорский залив»

№ п/п	Номер станции	Интервал опробования, см	Метан	Этан	Этилен	Пропан	Пропилен	i-бутан	n-бутан	i-бутилен	Бутен-1 + i-пентан	n-пентан
			CH ₄	C ₂ H ₆	C ₂ H ₄	C ₃ H ₈	C ₃ H ₆	i-C ₄ H ₁₀	n-C ₄ H ₁₀	i-C ₄ H ₈	C ₄ H ₈ + i-C ₅ H ₁₂	n-C ₅ H ₁₂
			Исходная концентрация в воздушном зазоре, ppm									
1	24КОП-1	0–5	6,23	0,03	0,34	0,07	0,14	0,03	0,09	0,06	0,25	0,10
2	24КОП-3	0–5	8,02	0,09	0,51	0,07	0,26	0,07	0,05	0,08	1,26	0,09
3	24КОП-5	0–5	151	0,45	0,72	0,26	0,32	0,04	0,08	0,08	0,54	0,15
4	24КОП-11	2–5	3,94	0,05	0,68	0,06	0,32	0,02	0,02	0,14	2,17	0,08

Таблица 16

**Содержание неуглеводородных газов в грунтах, отобранных в пункте наблюдений «Копорский залив»
(исходная концентрация в воздушном зазоре)**

№ п/п	Номер станции	Интервал опробования, см	CO ₂	He	H ₂	O ₂	N ₂
			ppm			%	
1	24КОП-1	0–5	9337	8,11	4,27	7,74	89,3
2	24КОП-3	0–5	5252	6,24	3,50	6,89	91,1
3	24КОП-5	0–5	7095	52,6	12,0	0,14	97,4
4	24КОП-11	2–5	1936	17,6	2,74	5,38	92,5

Таблица 17

Изотопный состав углерода метана в пробах донных грунтов, отобранных в Финском заливе в 2024 г.

№ п/п	Номер станции	Интервал опробования, см	δ ¹³ C, ‰ PDB	Станд. откл.
1	24ГГ-1	56–66	–70,21	0,11
2	24ВЗ-1	20–21	–56,61	0,32
3	24ВЗ-2	25–30	–58,29	0,27
4	24ВЗ-5	30–35	–59,15	0,10
5	24СЕС-8	23–28	–61,41	0,27
6	24СЕС-9	20–29	–54,43	0,07
7	24СЕС-10	25–30	–51,83	0,14
8	24ФЛ-4	0–5	–73,80	0,23
9	24ФЛ-5	0–5	–100,47	0,20
10	24ФЛ-8	0–5	–115,32	0,24

Таблица 18

**Сопоставление изотопного состава углерода метана в пункте наблюдений «Кургальский риф — о. Сескар»
по соответствующим станциям мониторинга в 2023 и 2024 гг.**

№ п/п	Номер станции (2024 г.)	δ ¹³ C, ‰ PDB	Номер станции (2023 г.)	δ ¹³ C, ‰ PDB
1	24СЕС-8	–61,41	23СЕС-5	–59,7
2	24СЕС-9	–54,47	23СЕС-6	–55,7
3	24СЕС-10	–51,74	23СЕС-7	–50,8

Для выявления обобщенных закономерностей в распределении метана и его взаимосвязи с распределением других химических элементов в донных осадках использован факторный анализ методом главных компонент. Общий источник поступления метана и металлов в донные осадки должен приводить к образованию ассоциативных связей, которые, в свою очередь, зафиксировались бы факторным анализом. Выявлено наличие двух четко выраженных ассоциаций. Первая представлена тесно связанной группой редкоземельных и части породообразующих элементов, а также тяготеющими к этой группе Fe, Ni, Cu, Co, Ba; вторая — также достаточно тесно связанной группой рудных элементов (Mn, Mo, Zn, Pb, Cd). Метан ведет себя индифферентно по отношению ко всем изучаемым химическим элементам, что косвенно подтверждает малоглубинный «биогеогенный» генезис метана.

В пункте наблюдений «Копорский залив» с использованием площадных съемок методами ГЛБО и МЛЭ (технология бэкскатер) установлено около 780 концентрических структур — покмарков, слабо проявленных в рельефе дна [Информационный..., 2013, 2023, 2024] и дифференцируемых по морфологии и изменчивости во времени. В 2024 г. в пределах нового полигона съемки МЛЭ, проведенного в совместном рейсе ИО РАН и Института Карпинского, частично перекрывавшего старые полигоны, выявлено 198 покмарков, из них 18 — впервые (рис. 44) [Румянцева и др., 2025]. Диаметр структур, зарисованных за все время наблюдений, варьирует от 2,9 до 20,3 м, средний показатель достигает 19,7 м. Минимальная площадь отдельного покмарка составляет 6,6 м², максимальная — 324,3 м², средняя — 78,7 м².

Покмарки по динамике проявления подразделяются на: «стабильные» — устойчиво выявляемые каждый год, и «пульсирующие» — эпизодически фиксируемые и исчезающие (заносимые?). В свою очередь, пульсирующие покмарки делятся на активные (выявленные в текущий год наблюдения) и неактивные (не обнаруженные в текущем году) [Информационный..., 2014; Румянцева и др., 2025].

После сопоставления данных за 2011–2024 гг. покмарки были разделены на группы согласно предложенной выше классификации: 369 покмарков имеют стабильный характер и устойчиво выявляются каждый год; 364 — пульсирующие, из них 148 активных и 139 неактивных. У остальных 77 пульсирующих покмарков активность определить не удалось из-за их нахождения за пределами полигона съемки в 2024 г. К покмаркам неопределенной динамики отнесены впервые выявленные структуры — таких форм насчитывается 48. Дифференциация покмарков отражена на картосхеме (рис. 44).

Кроме того, на проинтерпретированных записях МЛЭ вокруг некоторых покмарков выявлен 31 ореол (неопределенного происхождения), их диаметры варьируют от 32 до 60 м, в среднем — 49 м. По данным 2023 г., минимальная площадь отдельного ореола составляет 1024 м², максимальная — 2873 м², средняя — 2027 м². При этом обнаружен аномально большой ореол диаметром 114,22 м (28,9873 в. д., 59,97437 с. ш.). Из 31 обнаруженного ореола 21 окружают «стабильные» покмарки и в основном наблюдаются каждый год. Дешифрирование показало, что ореолы в своем расположении ориентированы субширотно с небольшим отклонением на северо-восток.

По данным ГЛБО, выполненной в пункте наблюдений «Копорский залив» в 2014 г., обнаружены новые покмарки диаметром до 10–12 м (рис. 45). Периодически выявляемые гидрохимические аномалии в придонных водах не позволяют однозначно определить природу картируемых покмарков. Морфологически сходные покмарки в количестве более 50 000 выявлены в Северном море в результате комплексных геолого-геофизических работ, выполненных международным коллективом [Böttner et al., 2024]. Как и в случае с Копорским заливом, ни одну из предложенных версий генезиса покмарков (газовые эманации, выходы грунтовых вод, деятельность организмов, техногенное воздействие, придонная гидродинамика) не удалось однозначно доказать.

На записях ГЛБО в пределах пункта наблюдений выявлена также серия пересекающихся гряд неясного генезиса (рис. 46), моренная гряда (рис. 47) и предположительно обнажение вендских пород или их отторженца (рис. 48). С подобными обнажениями могут быть связаны не только мелкоамплитудные гравитационные процессы, но и субаквальные выходы подземных вод. Следует отметить, что участков дампинга (свала) грунтов в Копорском заливе не отмечено и, следовательно, пересекающиеся гряды имеют естественное происхождение.

Данные НСАП (рис. 49*) позволяют уточнить природу выявленных гряд и возможность выходов на поверхность дна водоносных горизонтов, связанных с вендскими породами или отложениями четвертичного возраста.

Донные отложения, отобранные в 2024 г. в пункте наблюдений «Копорский залив», представлены преимущественно маломощными покровными плохо сортированными песками (рис. 50) с включениями грубообломочного материала (до 30 %) и иногда дисковидными железомарганцевыми конкрециями. Подстилающие отложения — это чаще всего глины Балтийского ледникового озера (рис. 50, з), которые иногда рассечены трещинами (плитчатость).

Подводное фототелепрофилерование демонстрирует довольно однообразную картину дна в пределах площади распространения покровных песков, хотя повсеместно встречается грубообломочный материал (ледовый разнос(?)) (рис. 51). Только на ст. 24КОП-11 (рис. 51, з) наблюдается почти грубообломочная отмостка, свидетельствующая о том, что в данном месте отложения эродированы на значительно большую глубину по разрезу, чем на остальных станциях. Примечательно, что часть обломков совершенно неокатана, то есть, вероятно, относится к местным породам.

На ст. 24КОП-11, расположенной в пределах поля распространения железомарганцевых терригенно-рудных корок (по данным работ 2023 г.), отобрана проба придонной воды с целью выявления следов разгрузки подземных вод. По литературным данным, воды вендского водоносного комплекса



Рис. 49*. Дополнительные материалы

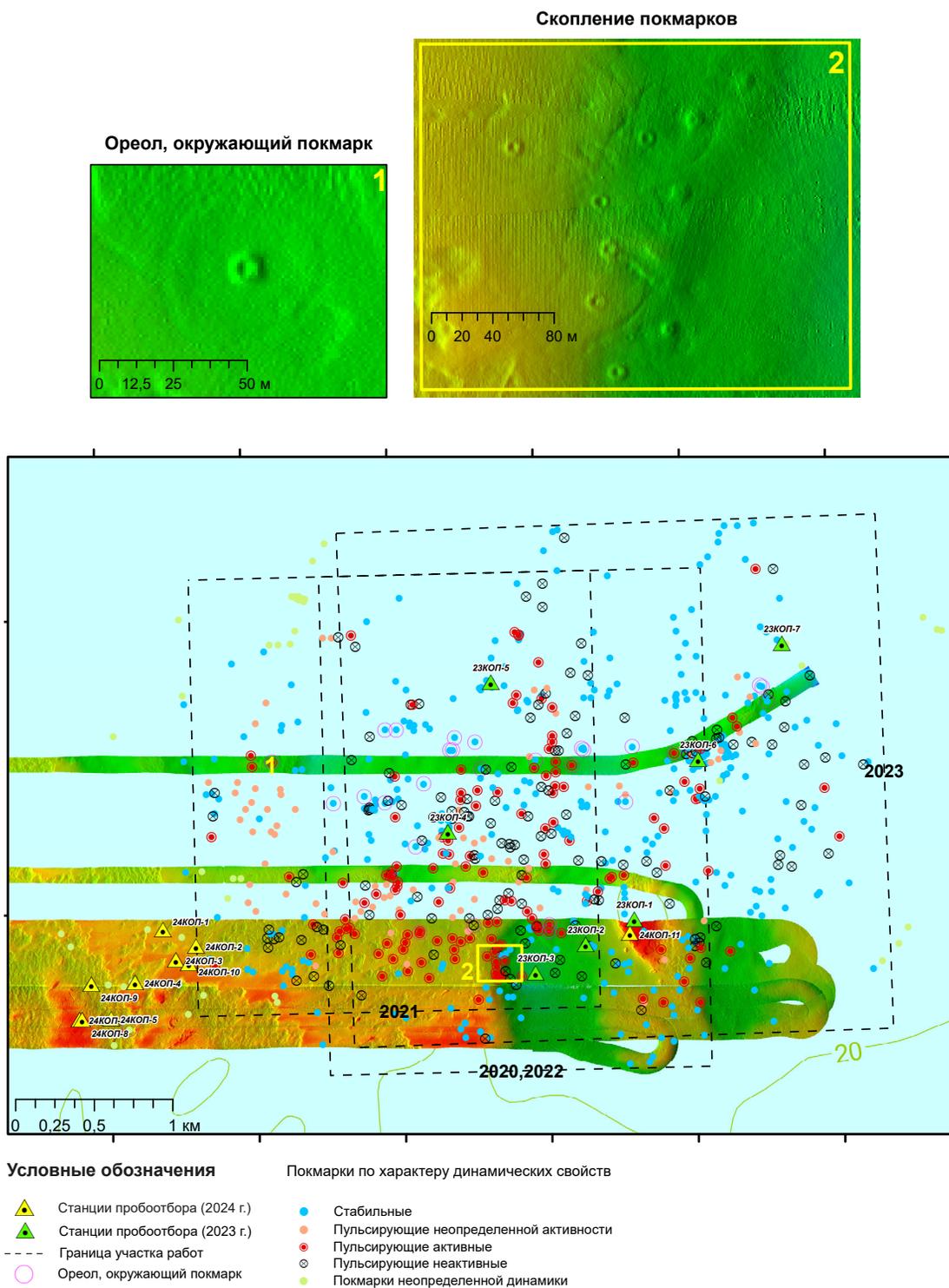


Рис. 44. Схема распределения покмарков в пункте наблюдений «Копорский залив». Площадка МЛЭ съемки АО ИО РАН, 2024 г. [Румянцева и др., 2025]

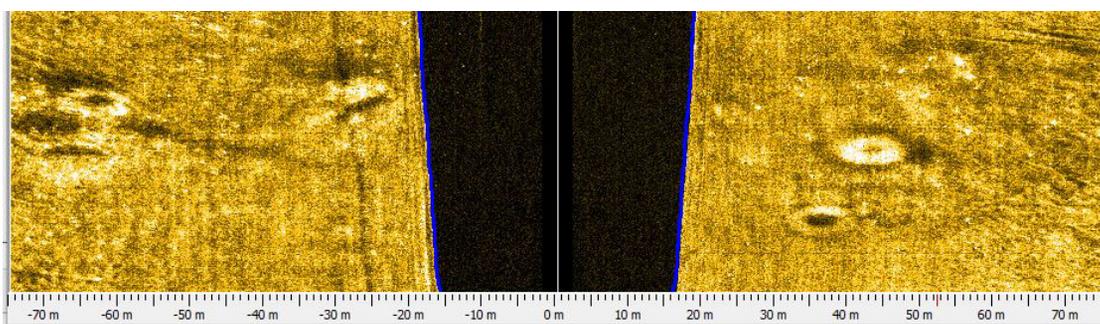


Рис. 45. Фрагмент профиля ГЛБО 24FG_kop_0026 с россыпью покмарков на поверхности дна

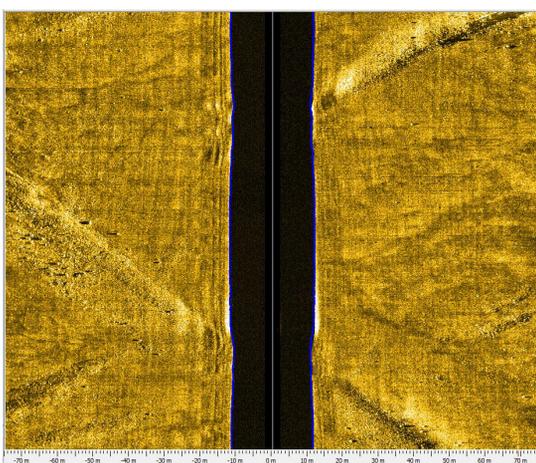


Рис. 46. Фрагмент профиля ГЛБО 24FG_kop_0001 с серий пересекающихся гряд, не выявленного генезиса

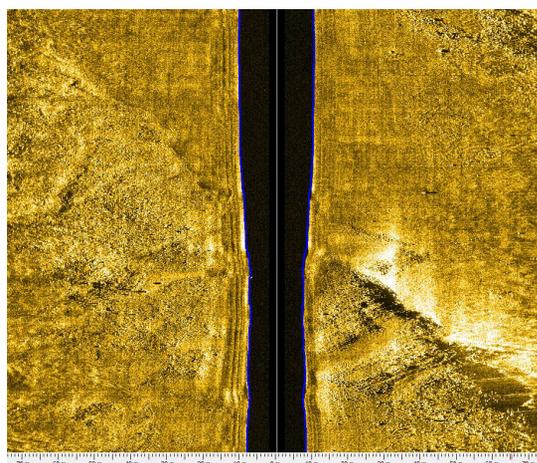


Рис. 47. Фрагмент профиля ГЛБО 24FG_kop_001, пересекающего моренную грядку

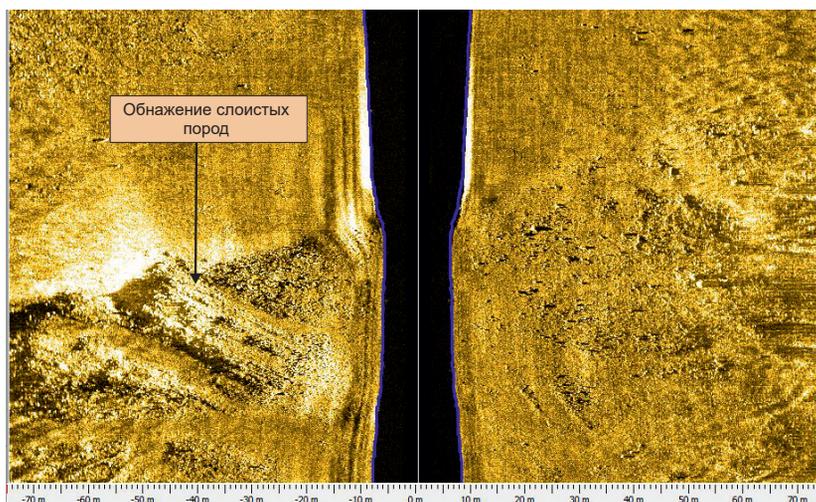


Рис. 48. Фрагмент профиля ГЛБО 24FG_kop_0029 с предполагаемым выходом осадочных пород венда на поверхность дна

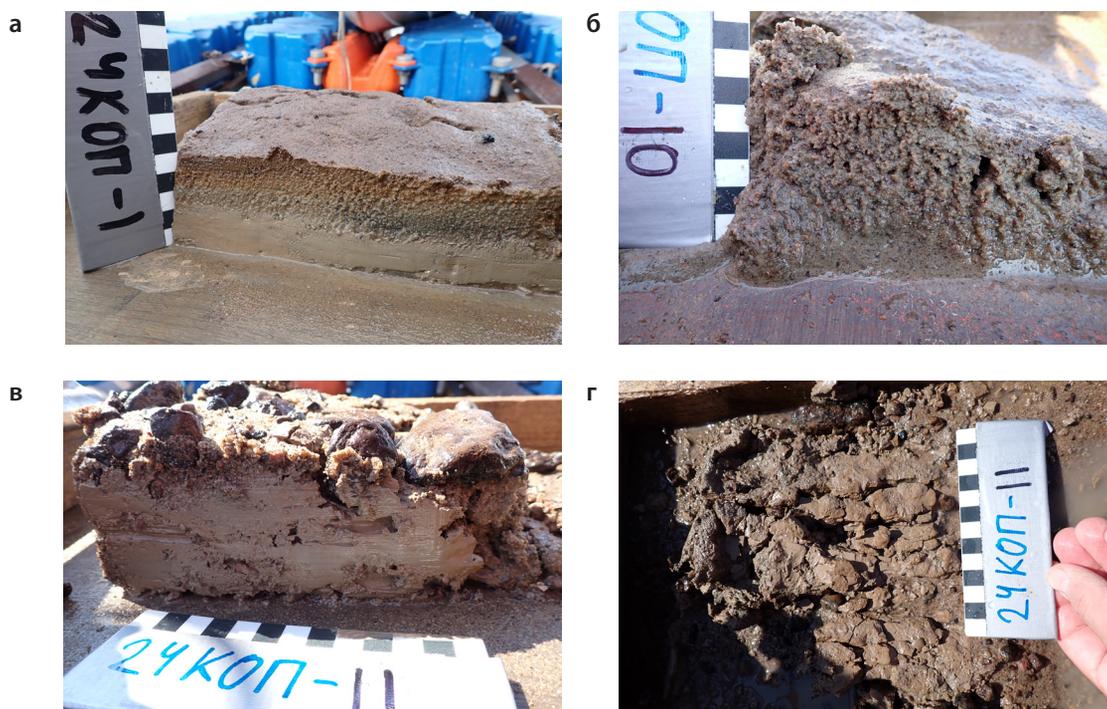


Рис. 50. Маломощные покровные разнозернистые пески (подводный элювий)

а — ст. 24КОП-1; б — ст. 24КОП-10; в — ст. 24КОП-11; г — подстилающие глины Балтийского ледникового озера, рассеченные трещинами

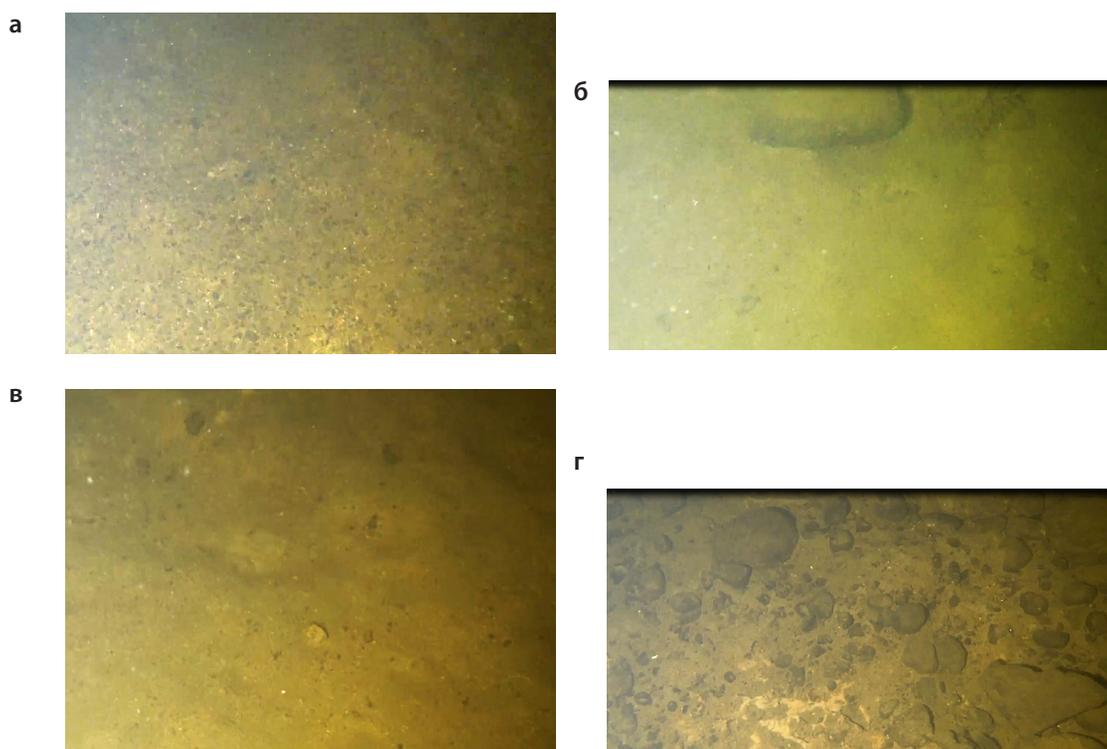


Рис. 51. Фотографии морского дна на станциях

а — 24КОП-6; б — 24КОП-3; в — 24КОП-10; г — 24КОП-11

обогащены U [Грейсер, Иванова, 2005; Ерзова и др., 2021], кроме того, возможны повышенные содержания В, Ва и Sr. Однако на станции опробования 24КОП-11 выявлены лишь аномалия Zn и слабая аномалия U, что не позволяет однозначно говорить о связи образования железомарганцевых корок с областями разгрузки подземных вод. Вопрос источника поступления материала для образования подобных корок остается открытым. В гидрохимических пробах, отобранных на периферии поля распространения покмарков, выявлены слабо аномальные концентрации Ва на станциях 24КОП-1, 24КОП-2, 24КОП-4, U — на станциях 24КОП-1, 24КОП-3, Sr — на станции 24КОП-9. Кроме того, на ст. 24КОП-7 выделена комплексная аномалия на уровне $C_{\text{фон}} + 1\delta$ по Sr, Na, Mg, K, Ca. Все эти слабо аномальные концентрации указанных элементов расположены вне кратеров покмарков, и увязать такое повышение с разгрузкой вод вендского водоносного комплекса по системе малоамплитудных разломов и зон трещиноватости не представляется возможным. На рис. 52* представлена карта проявлений ЭГП в пункте наблюдений «Копорский залив».

Методика оценки активности ЭГП в субаквальных условиях принципиально отличается от используемой на суше. Это обусловлено в первую очередь, невозможностью оперативного и многократного доступа к обследуемым площадям проявления ЭГП по многим причинам: финансовым, организационным и технологическим. Используемые дистанционные методы, а именно НСАП и ГЛБО, несмотря на их высокую производительность и эффективность, позволяют либо фиксировать последствия уже произошедшего события, причем, как правило, без точной временной привязки, либо выявлять площади, где потенциально возможно проявление тех или иных ЭГП. На площадных мониторинговых пунктах наблюдений по фактическим геолого-геофизическим данным, собранным в основном в результате очередных полевых работ, уточняются контуры и объемы геологических тел и форм рельефа, связанных с проявлениями ЭГП. С использованием матрицы, учитывающей различные факторы, производится интегральная оценка проявления ЭГП. Экстраполяция оценки потенциальной активности ЭГП на всю площадь оцениваемой прибрежно-шельфовой зоны производится на основании широкого комплекса имеющихся оперативных и архивных геолого-геофизических данных (рис. 53*).



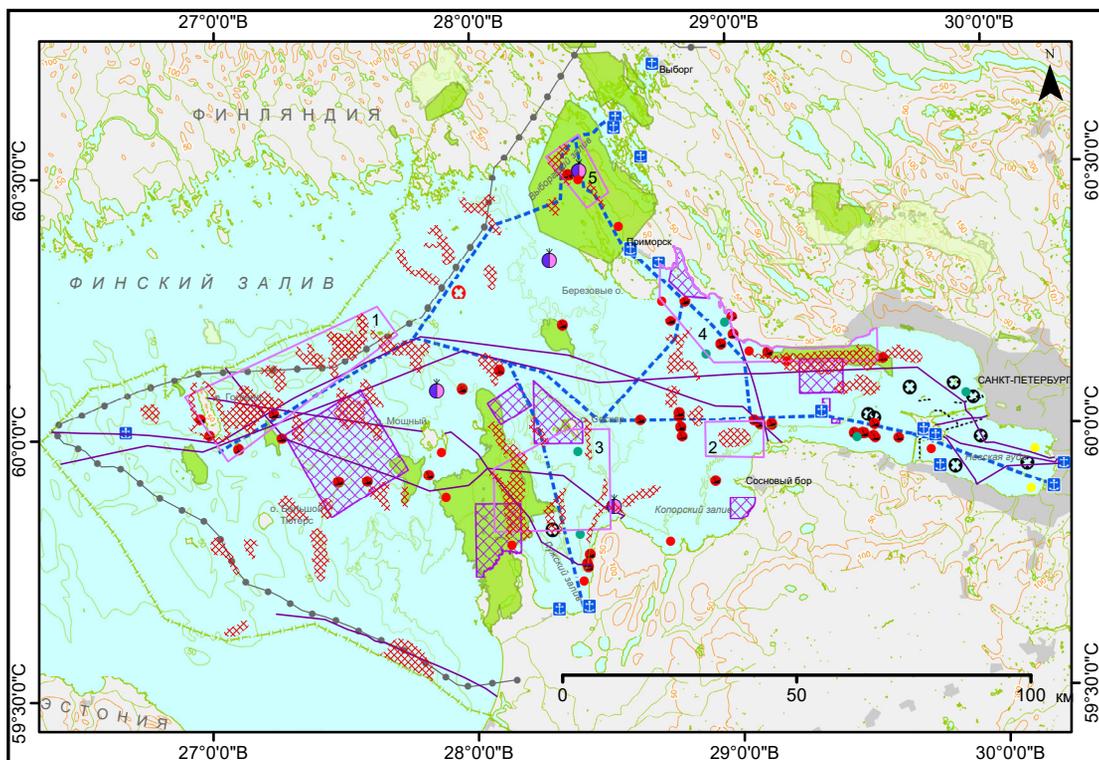
Рис. 52, 53*. Дополнительные материалы

1.1.4. Воздействие опасных экзогенных геологических процессов на хозяйственные объекты и рекомендации по снижению ущерба

На дне Финского залива постоянно развивается сеть транспортных и коммуникационных линий. Прежде всего, это трубопроводы (газопроводы, водопроводы, трубопроводы для сточных вод, нефтепроводы), а также кабели — как силовые, так и коммуникационные, в основном оптоволоконные. Подводные кабели и трубопроводы в прибрежной части акватории (как минимум до изобаты 10 м) прокладываются внутри траншей для их защиты от воздействия волн (донный размыв, динамическая аккумуляция, поток наносов) и дрейфующего льда, а также механического повреждения тралами, якорями и т. д. Траншеи перекрываются инертным грунтом или в отдельных случаях бетонным кожухом для более надежной защиты объектов. Основной рекомендацией по снижению рисков ущерба для подводных хозяйственных объектов за счет проявления ЭГП является планирование и тщательный анализ геологических, гидрологических и литодинамических опасностей на стадии проектирования этих объектов с учетом данных о геологическом строении приповерхностного разреза и проведении последующего объектного мониторинга.

Одним из видов техногенного воздействия на геологическую среду в субаквальных условиях восточной части Финского залива является выемка и перемещение донных грунтов, которые приводят к изменению естественного распределения донных грунтов и их механического состава, а также рельефа морского дна, что способно активизировать ЭГП. В основном это дноуглубление, прокладка различных коммуникаций и добыча полезных ископаемых.

Дноуглубление производится при строительстве новых портов и подходных фарватеров к ним или при реконструкции старых гаваней. Очевидно, что такая коренная перестройка подводного рельефа нарушает прибрежный профиль равновесия, при котором сохранялся баланс между эрозией, переносом осадочного материала и его отложением. В отдельных случаях нарушение объемов вдольбереговых потоков наносов в результате изменения донного рельефа в условиях дефицита переносимого осадочного материала может приводить к деградации и отступанию берегов, что влечет за собой разрушение береговой инфраструктуры и, как следствие, материальный ущерб. Активизируются и склоновые гравитационные процессы по бортам фарватеров и ковшей. Характер и активность этих ЭГП определяются в основном геотехническими свойствами отложений, слагающих борта. Ответственность за состояние судоходных путей лежит на администрации портов и, как правило, обстановка на искусственных



Условные обозначения

Месторождения песков

- Выработанное месторождение
- Не разрабатывается
- Разрабатывается в настоящее время
- Месторождения железомарганцевых конкреций
- Затопленные объекты
- Свалки грунта (дампинга)
- Затопленные взрывчатые вещества
- Рейдовые стоянки



Площади потенциально опасных проявлений ЭГП



Площадные пункты наблюдения ЭГП:

1. Район о. Гогланд
2. Копорский залив
3. Кургальский риф — о. Сескар
4. Мыс Флотский — мыс Песчаный
5. Выборгский залив

— Кабели

— Трасса газопровода

— Основные судовые трассы (фарватеры)

..... Участки ряжевых преград

▨ Районы оперативной деятельности ВМФ

■ Действующие особо охраняемые природные территории

■ Перспективные особо охраняемые природные территории

Рис. 54. Карта геологических опасностей, связанных с ЭГП прибрежно-шельфовой зоны в восточной части Финского залива

откосах, связанная с возможными проявлениями ЭГП, способными угрожать навигации, оперативно контролируется в основном проведением повторных съемок методом МЛЭ.

Процессы метанообразования в современных (морских голоценовых) грунтах как геологическая опасность изучены относительно слабо. Очевидно, что накопление метана в грунтах и процессы его выброса в водную среду крайне неравномерны по интенсивности и скорости проявления. Предполагается два типа дегазации морских грунтов: а) дегазация имеет лавинообразный характер, реализуясь почти как одномоментный прорыв на поверхность дна; б) дегазация протекает медленно за счет диффузии газов в придонную воду. Участки распространения газонасыщенных грунтов представляют одну из достаточно серьезных геологических опасностей, обусловленных изменением физических свойств осадков при накоплении метана и его дегазации. Особую опасность представляют лавинообразные выбросы метана.

По мнению [Дашко и др., 2011], влияние газонасыщенных грунтов на инженерно-геологические условия заключается в снижении прочности и возрастании тиксотропности песчано-глинистых грунтов, разуплотнении глинистых пород, снижении угла внутреннего трения песчаных отложений вплоть до их перехода в состояние пльвунов и т. д. Давление и выбросы газа в водную толщу сопровождаются деформацией донной поверхности, формированием оползней, снижением несущей способности грунтов, повышением коррозионной активности среды. При проведении гидротехнических работ в пределах акватории (прокладке подводных коммуникаций трубопроводов различного назначения, линий связи и электроснабжения, установке инженерных сооружений и др.) области распространения газонасыщенных осадков представляют определенную геологическую опасность, обусловленную возникновением просадок.

Учитывая многообразие и объемы техногенного воздействия на геологическую среду (недра) и, соответственно, ее ответную реакцию на такое воздействие, следует разработать систему государственного комплексного управления прибрежно-шельфовой зоной Финского залива, что позволит прогнозировать и предотвращать негативные последствия тех или иных действий по ее освоению. Карта опасностей ЭГП, демонстрирующая пересечение областей освоения дна восточной части Финского залива и синтетической оценки проявления ЭГП, приведена на рис. 54.

1.2. ПРИБРЕЖНО-ШЕЛЬФОВАЯ ЗОНА РОССИЙСКОГО СЕКТОРА ЮГО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ БАЛТИЙСКОГО МОРЯ

1.2.1. Общие сведения

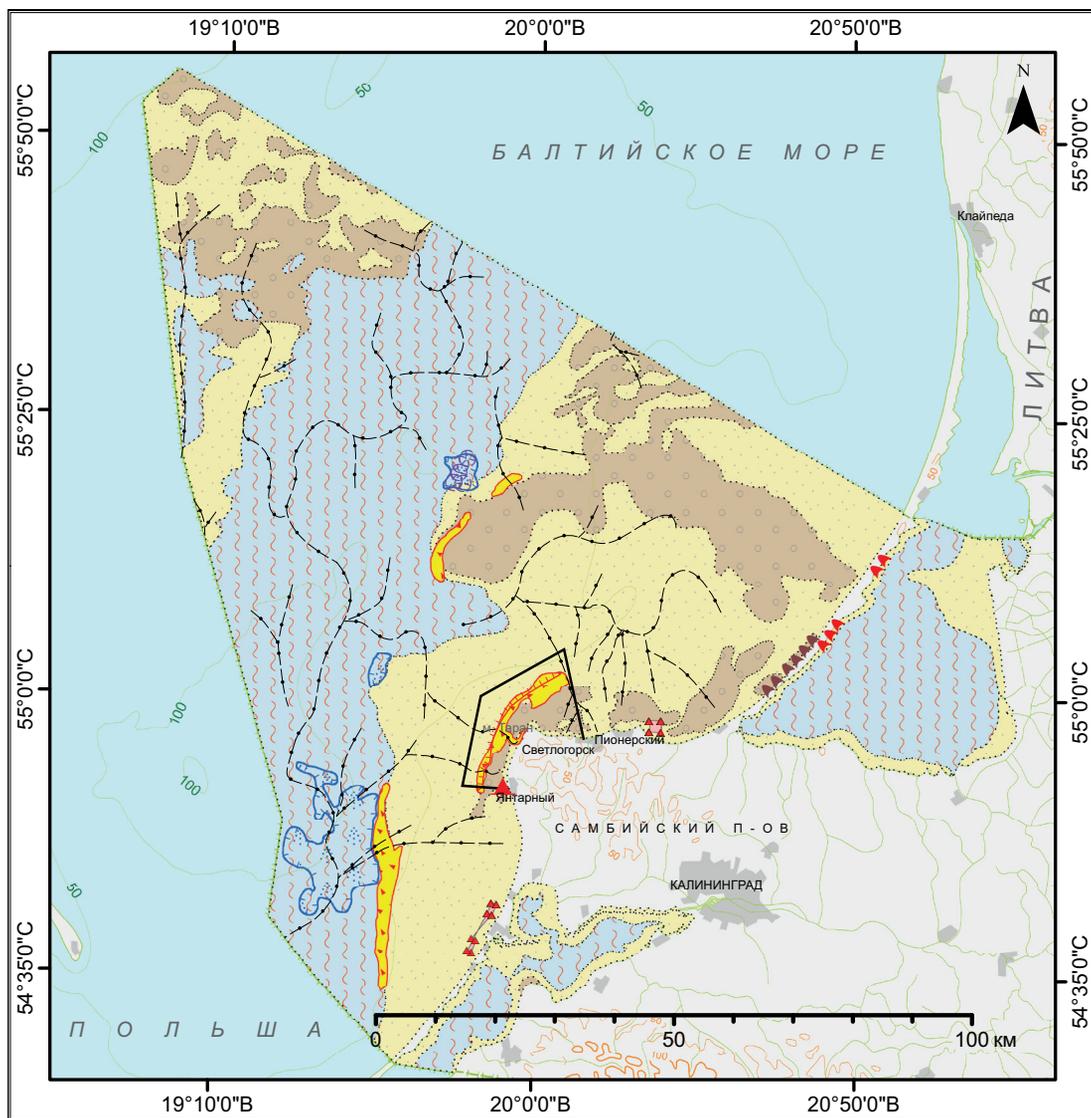
Российский сектор юго-восточной части Балтийского моря протягивается более чем на 150 км к северо-западу от побережья Калининградской области. С северо-востока он граничит с территориальными водами и исключительной экономической зоной Литвы, с юго-запада и запада — с Польшей, с северо-запада — со Швецией. Площадь акватории Российского сектора, включая заливы, составляет более 8500 км² (рис. 55*).

Рельеф дна в пределах Российского сектора относительно выровнен. Максимальные глубины моря — около 110 м — установлены в Гданьской впадине, вытянутой в субмеридиональном направлении. В восточной части Российского сектора расположено Самбийско-Куршское плато, примыкающее к Куршской косе. По подводной периферии Самбийского полуострова прослеживаются многочисленные затопленные палеобереговые уступы, выработанные на различных стадиях развития Балтийского моря в позднем неоплейстоцене — голоцене. Подводный береговой склон мористого края Балтийской (Вислинской) и Куршской кос представляет собой наклонную поверхность абразионно-аккумулятивного выравнивания, выработанную в морене и местами в коренных породах. Внешний край мелководья повсеместно выражен плавным перегибом и переходом к склону Гданьской впадины (глубины 35–80 м) — наклонной, местами мелко-холмистой поверхности, унаследованной от погребенного моренного рельефа. Активное современное волновое воздействие прослеживается до глубин 20–25 м.

Калининградским заливом называется северная часть Вислинской лагуны, отделенной от моря Балтийской (Вислинской) косой. Протяженность Вислинской косы около 55 км, из которых 25 км относятся к Калининградской области. Ширина косы изменяется от 0,5 до 2,0 км. Длина Вислинской лагуны 91 км, ширина — от 2 до 11 км, площадь — 838 км², из которых 56,2 % принадлежит России. Средняя глубина составляет 2,7 м, максимальная (за исключением искусственного фарватера) — 5,2 м.



Рис. 55*. Дополнительные материалы



Условные обозначения

ГРАВИТАЦИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ

- Склоновые поверхности с гравитационными образованиями
- Подводные уступы наибольшей крутизны
- а**
 Область подводного глинистого диапиризма: а — реликтового, б — современного

ГАЗОФЛЮИДНАЯ РАЗГРУЗКА

- Зоны распространения газонасыщенных осадков
- Покмарки, установленные по геофизическим данным

ТИПЫ ГРУНТА

- Грунты текучие
- Грунты подвижные
- Грунты устойчивые, консолидированные

ПРОЧИЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

- Погребенные речные долины
- Терриконы, отвалы, свалки грунта
- Разрешенные полигоны отвалов грунта
- Граница площадного пункта наблюдений

Рис. 56. Карта проявлений ЭГП в прибрежно-шельфовой зоне Российского сектора юго-восточной части Балтийского моря

Куршский залив, отделенный от моря одноименной косой, представляет собой мелководную лагуну, соединенную с морем в районе порта Клайпеда (бывший Мемель). Длина Куршской косы составляет 98 км, из которых 49 км относятся к Калининградской области, ширина варьирует от 0,35 до 3,8 км. Это самая длинная песчаная пересыпь на Балтике. Длина залива около 90 км, а ширина в южной части достигает 47 км. Большая часть акватории залива — 1300 км² из 1600 км² — принадлежит России. Рельеф дна залива выположенный. Глубины не превышают 6 м.

Крупнейшие реки Калининградской области — Неман и Преголя. Широко развита сеть искусственных водотоков и мелиоративных каналов. Реки имеют в основном атмосферное питание и характеризуются паводочным режимом.

Климат района носит черты морского климата умеренных широт. Основные его черты формируются под влиянием общей циркуляции атмосферы, обуславливающей перенос теплых и влажных воздушных масс с Атлантического океана [Лочия..., 1979]. Существенное влияние на климат оказывает Североатлантическое течение, приносящее к берегам Европы массы теплой воды, часть которой через проливы поступает в Балтийское море.

В Российском секторе юго-восточной части Балтийского моря довольно протяженные зоны потенциально возможного проявления гравитационных процессов выявлены на южных склонах Гданьской впадины (рис. 56), что локально подтверждается данными профилирования методом ГЛБО и донного роботоотбора. Но наиболее активно гравитационные процессы развиты на участке дна, примыкающем к Самбийскому полуострову [Dorokhov et al., 2022].

Площадь зон потенциального развития подводных обрушений и осыпей в районе, примыкающем к Самбийскому полуострову, по данным съемок ГЛБО, МЛЭ и НСАП, составляет 155 км², или 1,3 % от общей площади Российского сектора юго-восточной Балтики. В пункте наблюдений «Прибрежный район Самбийского полуострова» гравитационные ЭГП могут проявляться на 8,9 % площади. Предположительно, в этой же зоне выявляются и тектонические нарушения, вероятность активизации которых довольно велика, учитывая сейсмические события, периодически фиксируемые в юго-восточной Балтике. В 2024 г. значимых сейсмических событий в Российском секторе зафиксировано не было.

На прибрежном мелководье в корневой части Куршской косы, в районе, примыкающем к п. Лесное, на глубинах 4–15 м ранее [Информационный бюллетень..., 2012, 2014] были выявлены процессы современного глинистого диапиризма. Описание последствий этого процесса приведено в [Сергеев, Жамойда, 2017].

К экзогенным процессам следует отнести просадку морского дна в результате образования покмарков на северо-восточном склоне Гданьской впадины за счет просачивания биогенных газов. Эти процессы описаны в работах АО ИО РАН [Ульянова, 2014; Ulyanova et al., 2010]. К настоящему времени выявлено семь крупных покмарков, имеющих преимущественно вытянутую с юго-запада на северо-восток форму. Их длина составляет от 200 до 900 м, ширина — около 150–200 м [Ульянова, 2014; Ulyanova et al., 2010]. Глубина понижения центральной части покмарков относительно поверхности дна достигает 1–3 м. Кроме отдельных покмарков, наблюдались группы по 2–3 покмарка. Общая площадь, занимаемая покмарками, составляет около 1,7 км² [Ульянова, 2014; Ulyanova et al., 2010]. Площадь газонасыщенных илов, приуроченных к Гданьской впадине, составляет 254 км², что соответствует 5 % от площади илов или текущих грунтов.

В Гданьской впадине по тектоническим разломам предположительно происходит разгрузка вод оксфорд-титонского водоносного горизонта, причем эти зоны часто совпадают с площадью распространения голоценовых газонасыщенных отложений [Krek et al., 2022].

1.2.2. Наблюдательная сеть и применяемые методы

Морские мониторинговые геолого-геофизические работы в Российском секторе юго-восточной Балтики выполняются в одном пункте наблюдений — «Прибрежный район Самбийского полуострова». В задачи мониторинга в этом пункте входит в основном выявление площадей проявления гравитационных процессов и оценка динамики их развития. В 2024 г. выполнено 50 км НСАП и 50 км профилей ГЛБО (рис. 57).

ГЛБО выполнялась с помощью аппаратуры СМ-2 (С-МАХ, Великобритания) с рабочей частотой 325кГц. НСАП производилось сейсмоакустическим комплексом, который включал: сейсмостанцию DAQ-Link 4 (International Seismic Co., США), акваторный электродинамический излучатель типа «бумер», накопитель JASK-500HP, 8-канальную сейсмоакустическую косу (Геодевайс, Россия). Использовался электродинамический источник упругих колебаний — бумер — G-Boomer (Геодевайс, Россия) с рабочими частотами 0,2–5,0 кГц (инструментальная разрешающая способность около 25 см). Для уточнения деталей рельефа параллельно применялся параметрический профилограф SES-2000 compact (Inppomar, Германия). Фототелепрофилирование выполнялось подводным дроном Chasing M2 PRO MAX, роботоотбор — бокс-корером.

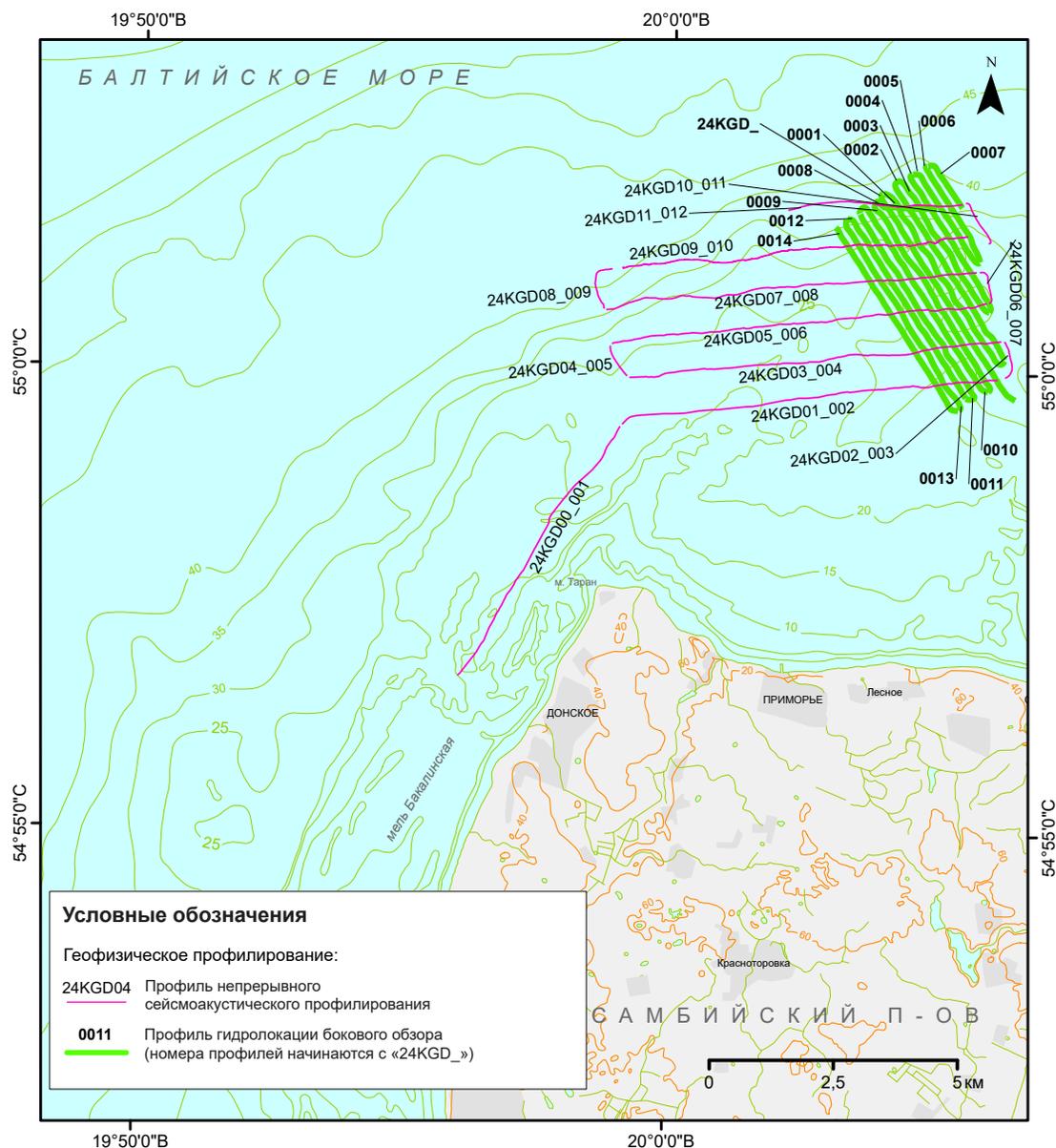


Рис. 57. Карта фактического материала полевых геофизических работ в пункте наблюдений «Прибрежный район Самбийского полуострова» в 2024 г.

1.2.3. Региональная активность опасных экзогенных геологических процессов в 2024 г.

Наиболее активно гравитационные процессы развиты на подводном береговом склоне по периферии Самбийского полуострова в полосе шириной до 15–20 км, где на поверхности дна, по данным НСАП и эхолотирования, фиксируются многочисленные подводные уступы, маркирующие древние береговые линии различных стадий развития Балтийского моря [Dorokhov et al., 2022], а иногда, возможно, совпадающие и с тектоническими нарушениями. Высота уступов может достигать 8–10 м, а угол склона 21° (рис. 58, а, б). Часть подводных обрывов слагает борта палеодолин (возможно, это ледниковые выходные трюги) (рис. 58, в).

Уступы сложены осадочными породами верхнего мела — палеогена, местами перекрытыми подводными моренными грядами. В пределах всей площади пункта наблюдений «Прибрежный район Самбийского полуострова» в результате активно протекающих гравитационных процессов широко

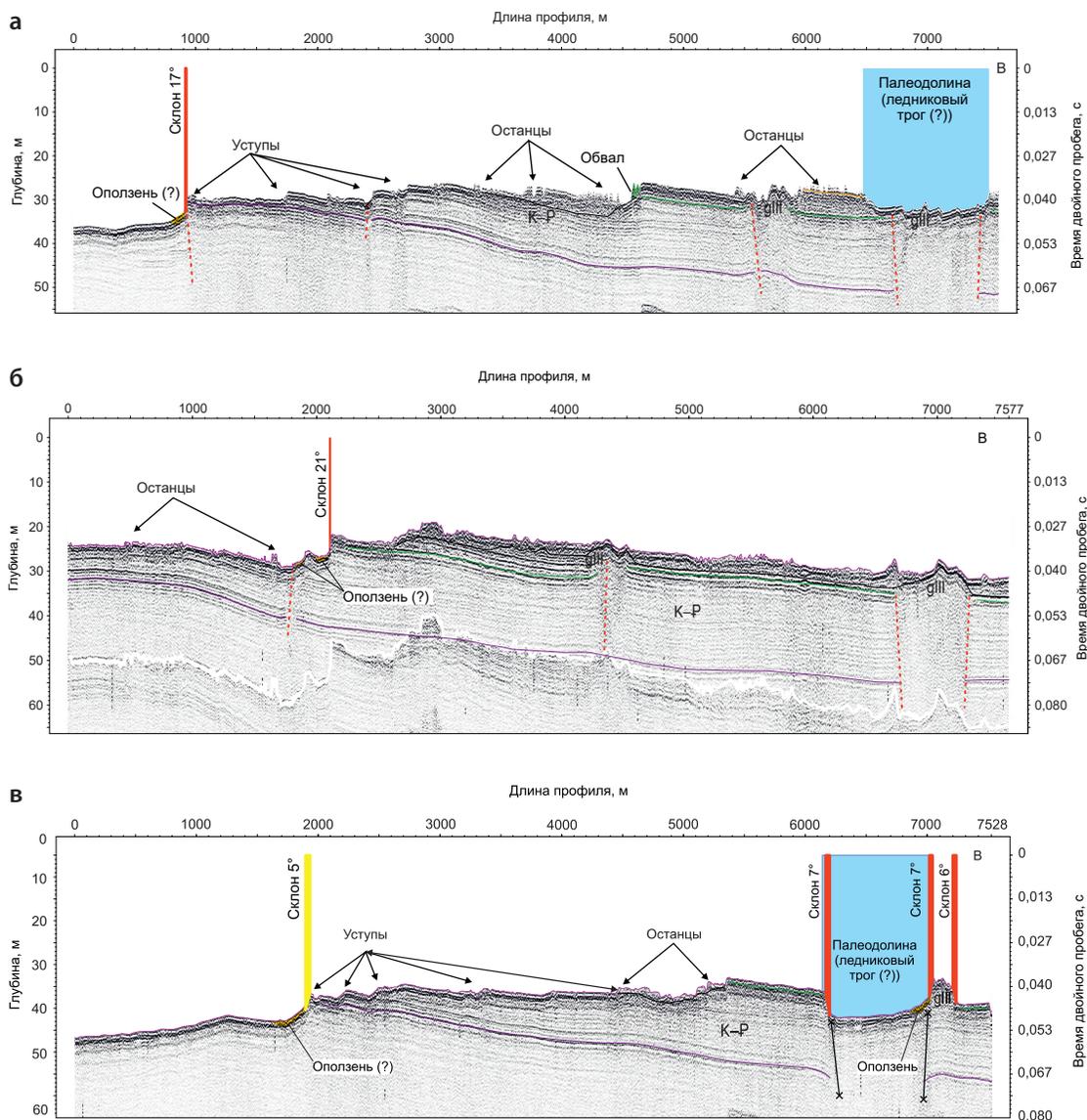


Рис. 58. Профили НСАП, пересекающие на подводной периферии Самбийского полуострова подводные уступы и поля останцов, где наблюдаются активные современные гравитационные процессы
 а — 24KGD07-008; б — 24KGD03-004; в — 24KGD09-010; К-Р — коренные породы (мел-палеоген); красная пунктирная линия — возможные нарушения в залегании слоев (тектонические или гляциодислокации)

развиты декливиальные отложения. Иногда фиксируются куэстоподобные образования с нависающими над обрывами козырьками более прочных пород, которые со временем обрушаются, формируя обвальные отложения (дерупций).

На записях ГЛБО также хорошо прослеживаются подводные уступы, маркирующие палеобереговые линии различных стадий трансгрессивно-регрессивных этапов развития Балтийского моря. У подножий склонов, сложенных осадочными породами палеогена и мела, идентифицируются коллювиальные отложения (рис. 59). Локально активизация гравитационных процессов может провоцироваться незаконной подводной добычей янтаря, когда склоны уступов, сложенных янтареносными породами палеогена, размываются дайверами с помощью специальных помп.

Моренные гряды (рис. 60), сформированные во время последнего оледенения, характеризуются менее крутыми склонами, чем подводные палеобереговые уступы, однако и здесь активизация гравитационных процессов может быть обусловлена техногенным воздействием незаконной добычи

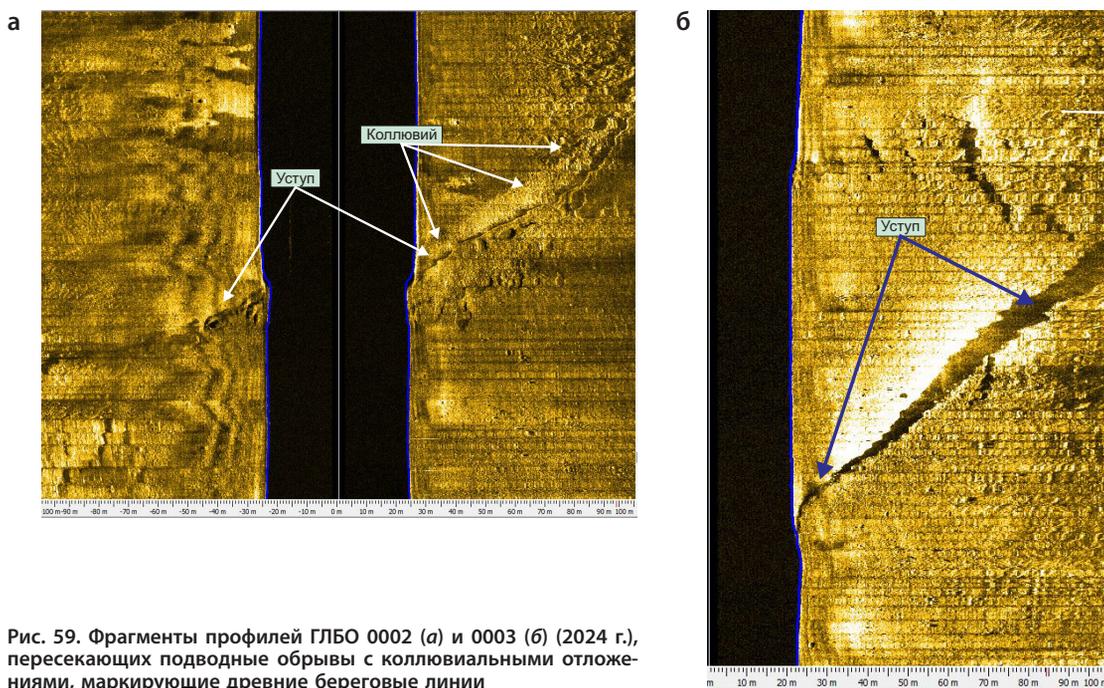


Рис. 59. Фрагменты профилей ГЛБО 0002 (а) и 0003 (б) (2024 г.), пересекающих подводные обрывы с коллювиальными отложениями, маркирующие древние береговые линии

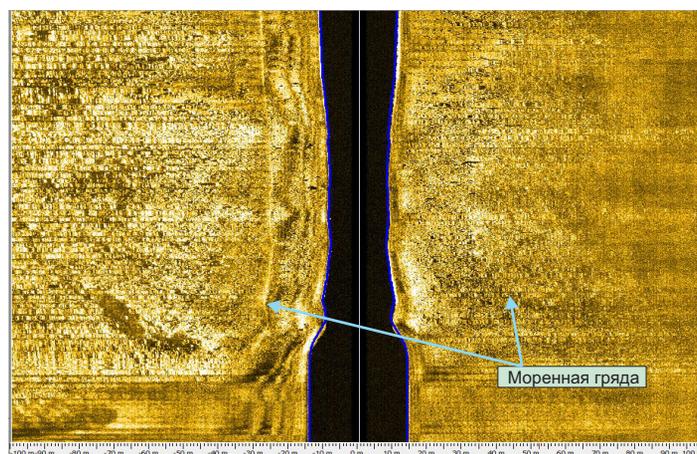


Рис. 60. Фрагмент профиля ГЛБО 0012, пересекающего моренную гряду

янтара, так как морена в значительной степени сложена материалом местных пород, в том числе янтареносных, а иногда встречаются и довольно крупные отторженцы таких пород (рис. 61).

На значительных площадях пункта наблюдений на поверхность дна выходят слои палеогеновых и меловых осадочных пород, существенно различающихся по физико-механическим свойствам. В результате селективного размыва более рыхлых пород на поверхности дна обнажаются «стенки» более прочных пород, которые, в свою очередь, разрушаются, образуя обвальные отложения или дерупций (рис. 62).

На рис. 63* показана актуализированная по материалам 2024 г. карта проявлений опасных ЭГП в пункте наблюдений «Прибрежный район Самбийского полуострова».



Рис. 63*. Дополнительные материалы

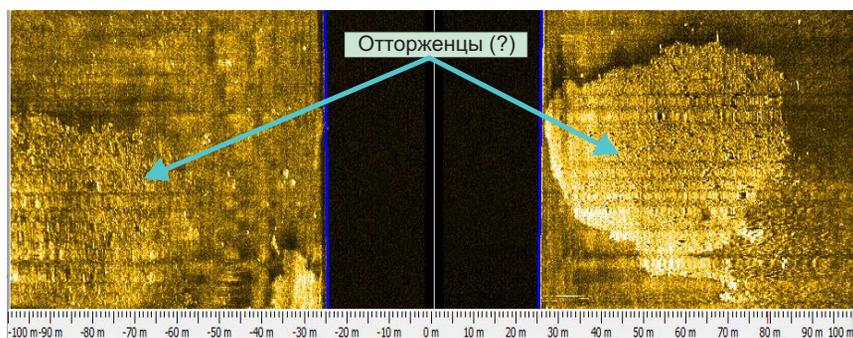


Рис. 61. Фрагмент профиля ГЛБО 0008 (2024 г.) с предполагаемыми останцами коренных пород

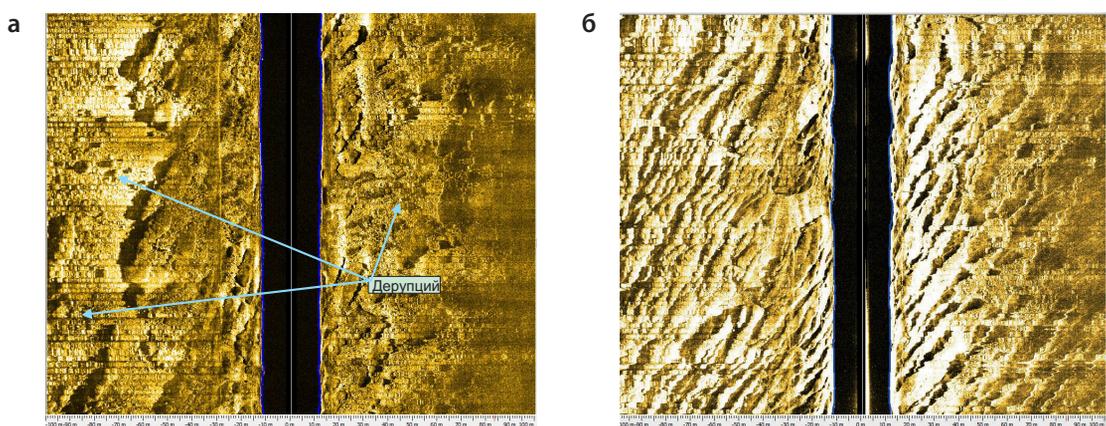


Рис. 62. Фрагменты профилей ГЛБО 0014 (а) и 0010 (б) (2024 г.) с площадными выходами коренных пород на поверхность дна

1.2.4. Воздействие опасных экзогенных геологических процессов на хозяйственные объекты и рекомендации по снижению ущерба

Техногенная нагрузка на геологическую среду в пределах Российского сектора юго-восточной Балтики довольно многообразна, соответственно, велика опасность воздействия ЭГП на хозяйственные объекты (рис. 64*).

Добыча нефти на месторождениях Д6 (Кравцовское) и Д41, а также добыча сланцевого газа на приграничной территории Польши могут рассматриваться как потенциальные причины техногенно-иницированных землетрясений, которые, в свою очередь, являются триггерами активизации гравитационных ЭГП. Месторождение Д6 (Кравцовское) расположено в 22,5 км от побережья. Бурение и добыча нефти ведутся с морской ледостойкой стационарной платформы (далее — МЛСП). Глубина моря в районе месторождения составляет 25–35 м. Нефть транспортируется от МЛСП по трубопроводу, проходящему до 10-метровой изобаты по поверхности дна, а на меньшей глубине он заглублен в траншею, засыпанную грунтом. В настоящее время на поверхности дна трубопровод наблюдается на участках «жесткого» дна — это в основном участки, где преобладают грубозернистые разности песков с примесью гравийно-галечного материала или грубообломочные отложения. На участках, где распространены мелкозернистые пески, трубопровод занесен осадками (или погрузился в них) [Обзор..., 2006; Жамойда и др., 2012]. Таким образом, подводному нефтепроводу от месторождения Д6 (Кравцовское) гравитационные ЭГП не угрожают. Потенциальные проблемы с трубопроводом могут возникнуть только



Рис. 64*. Дополнительные материалы

в случае вымывания грунта из-под него и, как следствие, его провисания. Однако подобные явления следует относить не к экзогенным геологическим процессам, а к литодинамическим.

Эксплуатация месторождения Д41, находящегося в 3,2 км от Куршской косы, осуществляется с береговой площадки двумя горизонтальными скважинами длиной 7947 м и 7517 м (<https://www.interfax.ru/business/661375>). Следовательно, гравитационные ЭГП здесь тем более не представляют опасности.

В планах ПАО «Лукойл» — обустройство относительно крупного для Балтийского моря месторождения Д33, расположенного в 57 км от побережья Куршской косы и в 60 км от порта Пионерский. Начало добычи нефти было перенесено на 2025 г. Бурение скважин планируется проводить с морской стационарной платформы на глубине около 74 м, то есть на юго-восточном борту Гданьской впадины. Задержка начала эксплуатации вызвана необходимостью переоснащения добычной платформы под отечественное оборудование (<https://kaliningrad.rbc.ru/kaliningrad/12/04/2023/643654189a79478b4f71ff32>). На первом этапе обустройства месторождения Д33 планируется построить стационарную платформу блок-кондуктора и проложить от нее по морскому дну до берега 71,28 км подводного нефтепровода и 2 силовых кабеля (<https://neftegaz.ru/news/>). Учитывая планируемое расположение добычной платформы, запроектированный нефтепровод и 2 параллельных ему кабеля будут проходить вверх по склону Гданьской впадины, покрытому текучими грунтами, то есть в зоне, благоприятной для возникновения гравитационных ЭГП. Не стоит забывать и о случающихся в юго-восточной Балтике землетрясениях, способных активизировать гравитационные процессы.

В пределах Российского сектора проложены многочисленные подводные кабели связи. В частности, в феврале 2021 г. ПАО «Ростелеком» завершил строительство по дну Балтийского моря первой подводной волоконно-оптической линии связи Кингисепп–Калининград, напрямую соединив анклав с сетями России (<https://vz.ru/news/2021/8/6/1112629.html>). Часть этих кабелей связи проходит и по склонам Гданьской впадины, и по участкам развития подводных уступов в прибрежных районах Самбийского полуострова.

В береговой зоне Калининградского сектора Балтийского моря реализуются проекты ПАО «Газпром». На мелководье Балтийского моря вблизи поселков Куликово и Прибой построен остров-причал и терминал по приему сжиженного природного газа, от которого проложен на берег подводный трубопровод сжиженного природного газа, где расположено подземное хранилище газа в искусственных полостях в соленосных толщах пермского возраста, созданное путем вымывания соли. Острову-причалу, как и подводному газопроводу, грозят в основном литодинамические процессы, а именно размыв (абразия) грунтов и разрушение острова.

На подходах к портам Пионерский и Балтийск производилось как дноуглубление по подходным фарватерам, сопровождаемое подводной добычей песка, так и дампинг грунтов на дно прилегающей к этим портам акватории. Дноуглубление, нарушая естественный рельеф дна, создает условия для активизации мелкоамплитудных гравитационных процессов по бортам судовых каналов (фарватеров).

Акватория к западу от побережья Самбийского полуострова характеризуется масштабным техногенным вмешательством, связанным с разработками карьеров по добыче янтаря, в том числе непосредственно выходящих в береговую зону. По данным НСАП и ГЛБО, на морском дне наблюдаются конусы выноса, сложенные техногенными осадками, образованными за счет сброса пульпы Янтарным комбинатом. Их активный размыв и переотложение осадочного материала приводит к существенному изменению распределения поверхностных донных грунтов вдоль западного побережья Самбии, изменяя естественную батиметрию прибрежной зоны и создавая навигационные опасности. Ранее сброс пульпы осуществлялся непосредственно в море, что приводило, с одной стороны, к резкому возрастанию мутности воды, однако, с другой стороны, способствовало не только сохранению пляжей западного побережья Калининградской области, но и даже их росту. В последнее десятилетие осадочный материал вскрыши складывается на берегу, для чего возведены грунтовые дамбы. Ширина пляжей стала уменьшаться, но не критически, так как в результате размыва этих дамб при штормовых нагонах осадочный материал по-прежнему поступает в морскую среду, хотя и в меньших масштабах.

Техногенное разрушение подводных уступов, сложенных породами палеогена, в ходе незаконной подводной добычи янтаря в районе, примыкающем к западному побережью Самбийского полуострова, локально активизирует гравитационные процессы (обрушения), что угрожает жизни, прежде всего, самих старателей-аквалангистов.

Основной рекомендацией по снижению рисков ущерба для подводных хозяйственных объектов за счет проявления ЭГП является планирование и проведение тщательного анализа геологических (и литодинамических) опасностей на стадии проектирования этих объектов с учетом данных о геологическом строении приповерхностного разреза, а также ведение последующего объектного мониторинга.

2.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Белое море — единственное из арктических морей, которое почти целиком лежит к югу от полярного круга, за пределы него выходят лишь самые северные районы (рис. 65*). От Баренцева моря его отделяет условная граница — линия м. Святой Нос — м. Канин Нос. Площадь акватории Белого моря составляет 90 тыс. км², средняя глубина — 67 м, наибольшая глубина — 350 м. Значительные глубины (свыше 250 м) имеются в северо-западной части бассейна Белого моря и в юго-восточной части Кандалакшского залива. Общее протяжение берегов Белого моря составляет 2300 км. Береговая линия образует крупные заливы (губы) — Кандалакшский, Онежский, Двинской, Мезенский. Наиболее расчленена береговая линия на западе, где сосредоточена большая часть островов Белого моря (шхеры, луды).

Белое море располагается на стыке Балтийского кристаллического щита и Русской платформы, что определяет различия в строении берегов в его западной и восточной частях [Сафьянов, Соловьева, 2005].

Наиболее резко отличается от других районов Белого моря кутовая часть Кандалакшского залива. Его крутые, скалистые берега возвышаются на 50–70 м. Узкие длинные заливы (шириной 2–3 км) проникают вглубь суши до 30 км (как, например, губа Чупа) [Медведев, 1971]. Защищенность от волнения и прочность слагающих побережье кристаллических пород сводят здесь к минимуму абразионно-аккумулятивную деятельность моря. Мелкозернистый материал в незначительных количествах поставляется в виде взвешенных наносов малыми реками, устья которых приурочены к вершинам заливов.

Климат является переходным от морского полярного на севере к континентальному умеренному на юге. Ледовый покров обычно наблюдается с ноября по май, хотя в отдельные годы лед может появляться уже в начале октября и сохраняться до первой половины июля [Люция Белого моря, 1972].

Приливы вносят особые черты в морфологию и динамику берегов Белого моря, играя в литодинамике значительную, а местами решающую роль [Каплин и др., 1991]. В Мезенской губе, где развиты приливные песчаные гряды и «волны» крупного масштаба [Медведев, 1971], средняя величина прилива составляет 6,6 м, а наибольшая — 10 м [Дальний Восток..., 1982]. В центральной части моря высота приливов достигает 1,0–1,5 м, в заливах она увеличивается. В западном направлении высота приливов снижается до 1 м, возрастая в вершинах губ до 1,9 м в Кандалакшской и до 3,4 м в Онежской [Каплин и др., 1991]. С приливами в Белом море связано широкое распространение песчаных, валунных и илистых осушек, скалистых и глинистых отсыхающих бенчей, эстуариев и других приливных форм рельефа. Периодическое смещение зон активного воздействия волнения на дно за приливо-отливный цикл отражается на форме абразионных и аккумулятивных профилей и распределении наносов на подводном склоне.

На прибрежных территориях и в акватории моря находятся многочисленные особо охраняемые природные территории федерального и регионального значения: Кандалакшский государственный



Рис. 65*. Дополнительные материалы

природный заповедник, национальный парк «Онежское Поморье», Беломорский и Двинской биологические заказники регионального значения, Мудьюгский ландшафтный заказник регионального значения. Соловецкий архипелаг и прилегающая 5-километровая акватория Белого моря включены в состав особо охраняемой территории — федерального государственного учреждения «Соловецкий государственный историко-архитектурный и природный музей-заповедник». На Большом Соловецком острове находится зона строгой заповедности.

На берегах расположены города-порты: Архангельск, Беломорск, Кандалакша, Онега, Северодвинск и Кемь.

В прибрежно-шельфовой зоне Белого моря наибольшую опасность представляют подводные гравитационные процессы, связанные с наличием достаточно крутых для проявления оползневых процессов склонов, широко распространенных в западной части акватории и обусловленных особенностями геологического строения. В частности, в Кандалакшском заливе и в прол. Великая Салма выявлены подводные склоновые (морские декливиальные) гравитационные образования [Репкина и др., 2022; Старовойтов и др., 2018; Информационный..., 2019, 2023, 2024; Рыбалко и др., 2017; Rybalko et al., 2018] (рис. 66*). Они могут быть представлены чешуйчатыми сериями, имеющими часто диффузивную волновую акустическую картину. Протяженность оползневых тел, сложенных смятыми ледниково-морскими и морскими отложениями, варьирует от первых десятков до 100 м при относительной высоте (мощности) до 5 м. Протяженность наиболее крупного оползня, выявленного в прол. Великая Салма, достигает 850 м, ширина — 450 м, относительная высота — 30 м [Репкина и др., 2022]. Предположительно, некоторые из крупных оползней сформировались в несколько этапов во время высокой сейсмической активности на начальной стадии изостатического подъема территории в позднем неоплейстоцене — раннем голоцене [Старовойтов и др., 2018].



Рис. 66*. Дополнительные материалы

На крутых склонах с углами падения более 15°, выполненных выходами коренных пород или морены, возможно образование осыпей и обвалов.

На значительной части подводных склонов с углами падения более 5° фиксируется гравитационное перемещение донных грунтов, что обусловлено их высокой водонасыщенностью и, соответственно, текучестью. В прол. Великая Салма установлены выработанные гравитационными потоками в морских голоценовых осадках ложбины, которые имеют U- или V-образные поперечные профили, глубину врезки 1,5–2,0 м и склоны крутизной 5–15°. Источником материала для возникновения гравитационных потоков в прол. Великая Салма является широкая пологонаклонная ступень на глубинах от 20 до 35 м, которая служит промежуточным коллектором наносов, поступающих с берега [Репкина и др., 2022].

Текучие грунты занимают 33 % (26 890 км²) площади дна Белого моря, подвижные — 50,8 % (41 460 км²), устойчивые (консолидированные) — 16,1 % (13 140 км²).

Суммарная площадь зон потенциально возможного развития гравитационных процессов, приуроченных к наиболее крутым склонам, составляет 330 км², или всего 0,4 % площади дна Белого моря. В Кандалакшском заливе доля площадей возможного проявления гравитационных ЭГП достигает 1,2 % (9,4 км²).

Акустические аномалии, обусловленные значительным количеством пузырьков газа в отложениях, на записях НСАП Белого моря довольно редки, хотя обогащенные органическими остатками, то есть потенциально газогенерирующие осадки, встречаются часто, например, в Онежском заливе [Мануйлов и др., 1981; Рыбалко и др., 1987]. Только в прол. Великая Салма обнаружено более 30 аномальных участков, идентифицируемых на профилях НСАП как газонасыщенные отложения. Скопления «газовых шапок» здесь приурочены к понижениям кровли фундамента, где в условиях спокойной гидродинамической обстановки образовались послеледниковые осадки большой мощности [Старовойтов и др., 2018; Токарев и др., 2019]. В газовой фазе преобладает метан (до 15 000 мкл/л), в небольших количествах присутствуют его «тяжелые» гомологи [Токарев и др., 2019]. Для газовой фазы определено преимущественно биогенное происхождение. Однако следует отметить, что большинство «газовых шапок» расположено над зонами микрограбенов, ограниченных глубинными разрывными нарушениями. Это позволяет допустить глубинное происхождение части газа [Иванова и др., 2016; Токарев и др., 2019]. В донных отложениях устьевой части Северной Двины содержание метана крайне неравномерно и изменяется от 14 до 65 500 мкл/кг [Гарькуша и др., 2010]. В поверхностных отложениях (0–5 см), отобранных в Двинском заливе в районе о. Мудьюг (Чёрная Башня) и представленных «темно-серым илистым песком» и «плотным серо-коричневым алевритовым илом», содержание метана варьирует в интервале 57–1014 мкл/кг влажного осадка [Гарькуша и др., 2010].

Расчитанная среднесуточная величина водной субмаринной разгрузки в Белое море составляет 1,31 км³/год, субмаринный ионный сток — 294,4 × 10³ т/год [Дзюба, Зекцер, 2013]. На основании

комплекса геолого-геофизических данных в северной части Онежского залива в районе, примыкающем к п. Лямца, предположительно выявлена зона разгрузки подземных вод. Роль водоупорного горизонта, очевидно, выполняет кровля вендских аргиллитов. Косвенным доказательством разгрузки вод является формирование здесь на поверхности и склонах подводной террасы уникального поля ЖМК площадью около 80 км². Воздействие минерализованных вод в данном случае может быть двояким. С одной стороны, они поставляют в бассейн рудное вещество, с другой — физико-химический барьер в зоне смешения морских и подземных вод может способствовать осаждению гидроокислов железа и марганца [Жамойда, 1987].

В проливах Горло и Воронка Белого моря наблюдаются мощные литодинамические процессы за счет высоких скоростей приливно-отливных течений, превышающих 1 м/с [Левченко, Щербаков, 1999], что приводит к формированию динамично перемещающихся песчаных аккумулятивных форм. В этих районах выявлено шесть типов аккумулятивных (асимметричные и симметричные песчаные волны, песчаные гряды, песчаные массивы, песчаные рифели, «гладкие пески») форм мезорельефа дна [Рыбалко и др., 1989; Левченко, Щербаков, 1999; Никифоров и др., 2017]. Песчаные волны высотой до 5–6 м и шириной в основании до 400 м, чаще формируют серии, в которых насчитывается до 30 отдельных образований. Более крупные песчаные гряды высотой от 10 до 20 м и шириной в основании от 0,6 до 1,5 км формируются как одиночные аккумулятивные формы рельефа дна [Никифоров и др., 2017].

2.2. НАБЛЮДАТЕЛЬНАЯ СЕТЬ И ПРИМЕНЯЕМЫЕ МЕТОДЫ

Морские мониторинговые геолого-геофизические работы в Белом море в 2024 г. выполнялись в пункте наблюдений «Район Соловецких островов» с целью характеристики проявлений опасных гравитационных ЭГП в пределах прибрежной зоны (рис. 67).

Для изучения проявлений гравитационных процессов проведено профилирование методом НСАП (100 км) и ГЛБО (60 км), пробоотбор выполнен на 22 станциях, частично с проведением фототелепрофилирования (рис. 67). Работы выполнены в прол. Восточная Соловецкая Салма, дно которого характеризуется контрастным рельефом, что предполагает проявления гравитационных процессов и очень активную гидродинамику, отчасти провоцирующую эти процессы.

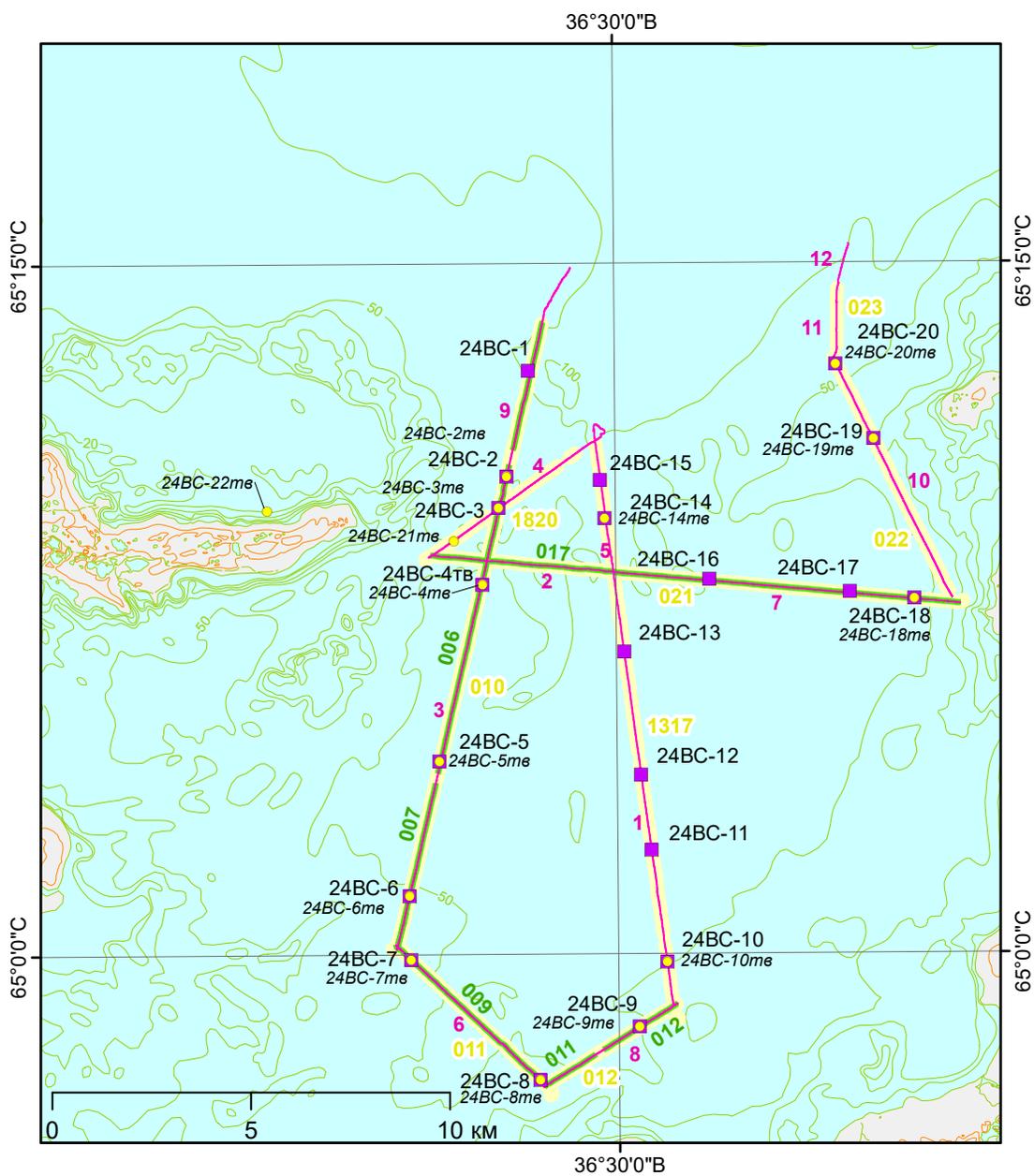
ГЛБО выполнялся сонаром СМ-2 (С-МАХ, Великобритания) с рабочей частотой 325 кГц; при проведении НСАП наряду с параметрическим профилографом SES-2000 контраст использовался аппаратно-программный комплекс SplitMultiSeis (ООО «Сплит», Россия), позволяющий выполнять сейсморазведку сверхвысокого разрешения.

Пробоотбор выполнялся бокс-корером. Из-за значительных глубин и высоких скоростей течений для фототелепрофилирования использовалась «Подводная привязная видеосистема» (ООО «Подводная робототехника»), оборудованная видеокамерой Sony Super HAD CCD 1/3».

Основными задачами, решаемыми при проведении исследований, являлось выявление площадей, на которых возможно проявление опасных ЭГП, что в первую очередь включало в себя: выявление и картирование площадей дна, характеризующихся крутизной склонов, провоцирующих потенциально опасные процессы подводного оползне- и осыпобразования; картирование распределения мощностей рыхлых послеледниковых отложений; идентификацию осадочных толщ.

2.3. РЕГИОНАЛЬНАЯ АКТИВНОСТЬ ОПАСНЫХ ЭКЗОГЕННЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В 2024 г.

В приповерхностном геологическом разрезе, согласно данным, полученным с использованием НСАП в пункте наблюдений «Район Соловецких островов» в 2024 г., и с учетом материалов ГСШ-200 [Государственная..., 2012, 2013], можно выделить ряд сейсмотолщ, соотносимых с разновозрастными отложениями квартера. Они сплошным чехлом покрывают дно в пределах исследованной площади и подстилаются осадочными терригенными породами архангельской подсвиты усть-пинежской свиты верхнего венда. В основании четвертичного разреза на профилях НСАП локально встречаются отложения, которые, вероятно, могут быть отнесены к ледниковым образованиям (основная морена) бабушкинского горизонта среднего неоплейстоцена (gllbb) [Государственная..., 2013; Зоренко и др., 2013]. Судя по скважинам, пробуренным на суше и прибрежном мелководье, локально возможно распространение морских отложений микулинского горизонта первой ступени верхнего неоплейстоцена (millmk), представленных серыми, коричневато-серыми плотными однородными алевроглинами с тонкими прослоями и линзами мощностью от 0,5 до 1 см тонкозернистых песков, иногда содержащих гравий и гальку. Также локально встречаются ледниково-морские отложения подпорожского горизонта второй ступени верхнего неоплейстоцена (gmllpd), сложенные серыми плотными глинами, иногда с горизонтальной слоистостью, и коричневато-серыми волнисто-слоистыми суглинками



Условные обозначения

Станции отбора проб грунтов:

- Бокс-корер (24-BC-)
- Станции подводного фототелепрофилирования (24BC-10me)

Геофизическое профилирование:

- 1 Профили непрерывного сейсмоакустического профилирования (профилограф)
- 012 Профили непрерывного сейсмоакустического профилирования (спаркер)
- 017 Профили гидролокации бокового обзора

Рис. 67. Карта фактического материала геолого-геофизических работ в пункте наблюдений «Район Соловецких островов» в 2024 г.

с включениями грубообломочного материала. Их перекрывают развитые повсеместно ледниковые отложения осташковского горизонта четвертой ступени верхнего неоплейстоцена ($gmlllos$). Мощность этих отложений, представленных плотными темно-серыми глинами и глинистыми песками с валунами и галькой, составляет 10–25 м. Гранулометрический состав характеризуется многофракционностью и несортированностью. Морену последнего оледенения перекрывают ледниково-морские отложения (кандалакшский гляциомариний) осташковского горизонта четвертой ступени верхнего звена неоплейстоцена ($gmlllkn$) мощностью до 25 м. Они представлены коричневыми полосчатыми плотными глинами и глинистыми песками с раковинами морских моллюсков и сажистыми включениями обуглившейся растительности. В понижениях рельефа кровли неоплейстоценовых отложений отмечается морской нефелоид (терский) нижнего голоцена (mnH^1trs) мощностью до 2 м. Он сложен серыми, зеленовато-серыми алевролитами, иногда бурыми полосчатыми глинами с сажистыми примазками и слабоглинистыми песками с раковинами морских моллюсков. Перекрывающий его морской (соловецкий) нефелоид ($mnH^{2+3}slv$) среднего и верхнего голоцена представлен зеленовато-серыми алевролитами, иногда глинистыми, содержащими раковины морских моллюсков и стяжения гидротроилита. Его мощность по сейсмоакустическим данным достигает 10 м и более. В районе Соловецких островов локально развиты фации биогенных отложений ($mbH^{2+3}slv$), которые представлены толщей (2–4 м) терригенно-карбонатных песчано-глинистых осадков с большим количеством раковин морских моллюсков (ракушняковые банки). Сильные течения в проливе обуславливают и локальное появление мезоформ донного динамического рельефа: валов, гряд, лент, сложенных обычно среднезернистыми хорошо сортированными песками морского флювиала (mfH^3) мощностью 2–5 м [Государственная..., 2013; Зоренко и др., 2013].

В прол. Восточная Соловецкая Салма выделены подводные склоновые (морские декливиальные) гравитационные образования (рис. 68*), представленные преимущественно поверхностными оползневыми телами, приуроченными к склонам моренных гряд, широко развитых в проливе. Мощность оползневых тел, по данным НСАП, варьирует от 10 до 20 м, а протяженность — от первых десятков до 70–80 м. Помимо современных оползней, выявлены оползневые образования, погребенные под слоем голоценового морского нефелоида в толще ледниково-морских верхнеоплейстоценовых отложений. Места выходов этих отложений на морское дно были заверены ковшовым пробоотбором. Установлено, что в приповерхностных условиях ледниково-морские отложения обводняются и становятся по консистенции мягкопластичными. В условиях, где углы склонов подводных гряд достигают 2° (перепад глубин 50 м на 1,5 км), обводненные глинистые отложения способны сползать вниз по склону (слампинг), что может провоцироваться современными сейсмическими событиями.

Крупным морфоскульптурным элементом рельефа морского дна является моренная гряда — подводное продолжение о. Анзерский, протягивающаяся на 21 км с юго-запада на северо-восток (рис. 68, а*). В плане гряда имеет сложную форму с хорошо выраженными боковыми отрогами. Вкрест простираения ее рельеф отличается сложной структурой, для которой характерны многовершинное строение, наличие уступов и ложбин между вершинами. Перепады высот достигают 50 м, а максимальные углы склонов составляют 7° . На наиболее крутых участках скатов гряды зафиксировано перемещение осадочного материала вниз по склонам, вероятно, обусловленное процессами слампинга.

На профиле НСАП 10 на северном склоне (угол склона 3°) одной из вершин гряды зафиксировано оползневое тело протяженностью около 185 м и мощностью до 7 м (рис. 68, б*). Севернее, на склоне этой же гряды (угол склона 4° , перепад высот 45 м) на границе с отложениями морского нефелоида также фиксируется тело, образованное сползанием грунта, мощностью до 5 м и протяженностью около 320 м (рис. 68, в*). Далее на северном склоне гряды (угол склона 5° , перепад высот 21 м) зафиксировано оползневое тело мощностью до 4 м и протяженностью около 135 м. Южнее, в нижней части борта небольшой ложбины (угол склона 6° , перепад высот 11 м) отмечено оползневое тело мощностью до 4 м и протяженностью около 65 м. Еще южнее, в стержневой части гряды на борту седловины, разделяющей две вершины (рис. 68, в*), на склоне с углом 6° обнаружено оползневое тело мощностью до 7 м и протяженностью около 100 м (перепад высот между вершиной и дном седловины в данном случае составляет 27 м). В западной части гряды профилем 9 (рис. 68, а*) на южном склоне с перепадом высот 50 м и углом склона 3° выявлено оползневое тело мощностью до 7 м и протяженностью около 550 м. В пределах гряды выделяются еще два оползневых тела мощностью до 4 м и протяженностью 220 м и 320 м, углы склона составляют $3\text{--}4^\circ$, перепад высот между вершиной и подножием склона — 24–29 м.

Крупным морфоскульптурным элементом рельефа является терраса подводного берегового склона Онежского полуострова, сложенная моренной, частично перекрытой ледниково-морскими отложениями и морским нефелоидом. Углы склона террасы варьируют от 2 до 5° , а перепад



Рис. 68*. Дополнительные материалы

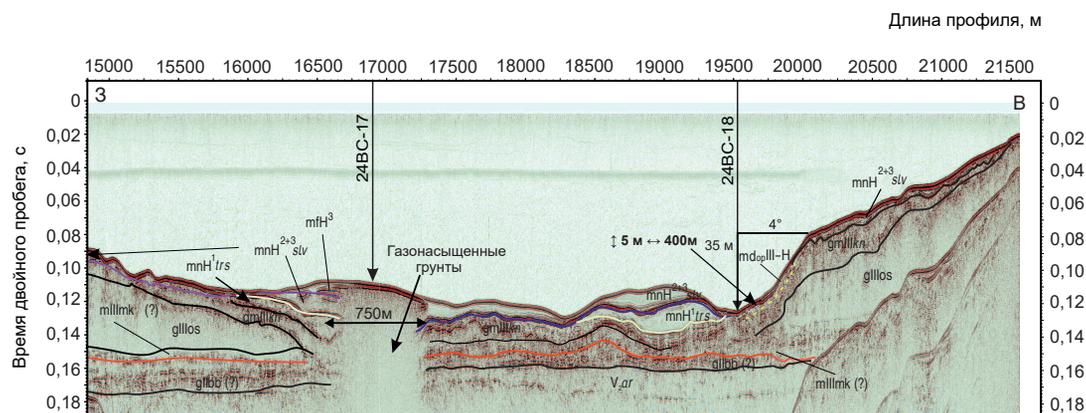


Рис. 69. Профиль НСАП 7 с выделенными оползневыми образованиями ($md_{op,III-H}$ — морской декливий) и полями газонасыщенных отложений в прол. Восточная Соловецкая Салма

Условные обозначения см. на рис. 68

высот — от 20 до 35 м. В нижней части склона террасы фиксируются оползневые тела мощностью от 5 до 13 м и протяженностью от 260 до 485 м (рис. 69).

Между о. Анзерский и м. Ухтнаволок (Онежский полуостров) закартирована область газонасыщенных отложений (рис. 69). Протяженность участка распространения газонасыщенных грунтов на профиле НСАП 7 составляет около 750 м. По характеру волнового поля сейсмопрофиля газонасыщенные отложения представляют собой морские нефелоидные образования голоценового возраста. Эти осадки представлены зеленовато-серыми алевритами, иногда глинистыми, содержащими раковины морских моллюсков и черные стяжения гидротроилита [Государственная..., 2013; Зоренко и др., 2013]. На профилях НСАП мощность голоценовых осадков достигает 20 м. По данным донного пробоотбора с использованием бокс-корера, в этом районе грунты представляют собой: 0–3 см — бурый текучий алевропелит; 3–18 см — текучепластичный чистый однородный алевропелит зеленоватый с примазками черного рассеянного ОВ и следами ползания червей. Запаха сероводорода не ощущается.

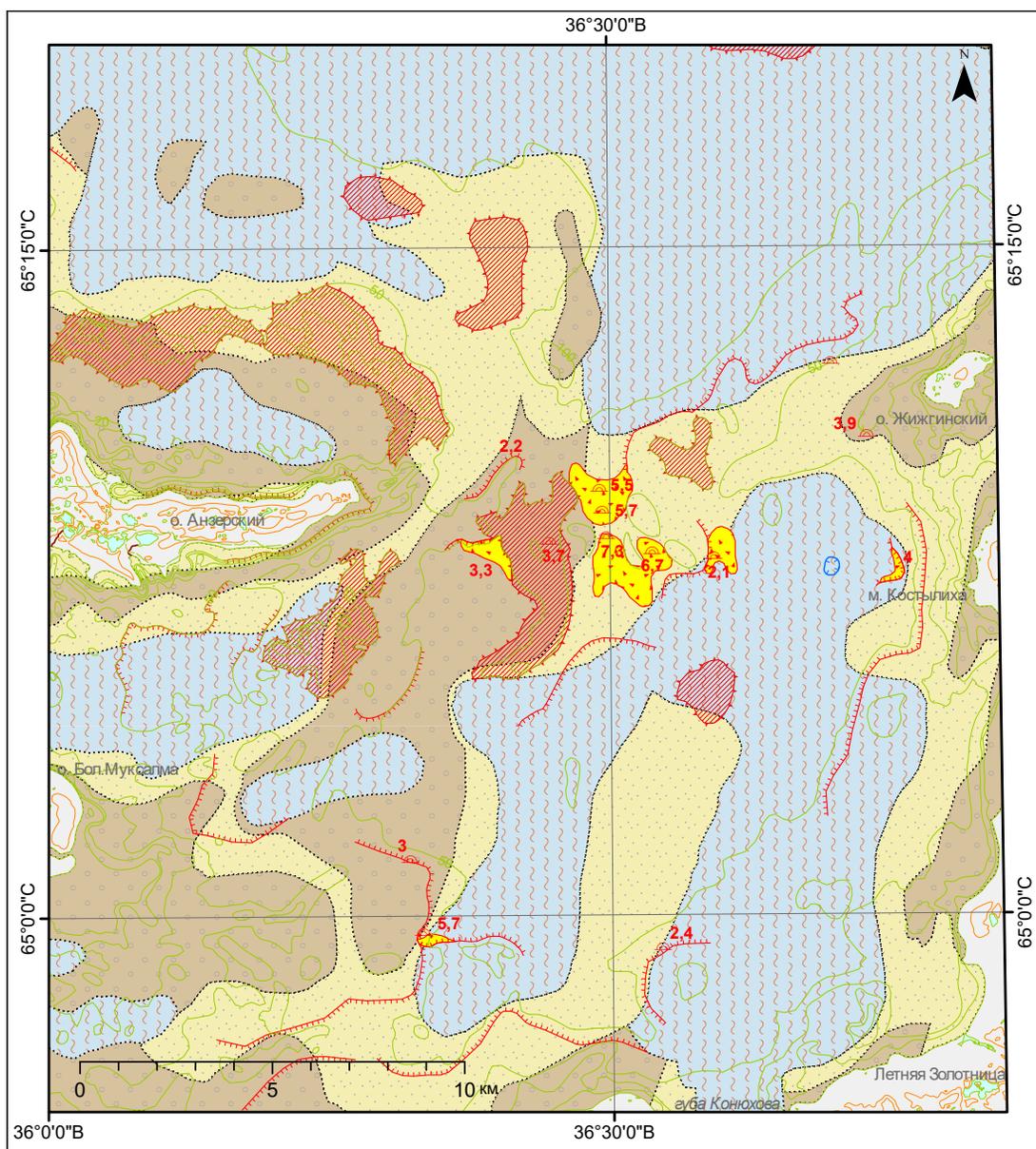
По результатам комплексного анализа данных, полученных в пункте наблюдений «Район Соловецких островов», и архивных материалов [Государственная..., 2013; Зоренко и др., 2013; Никифоров и др., 2017] составлена карта проявлений опасных ЭГП (рис. 70).

2.4. ВОЗДЕЙСТВИЯ ОПАСНЫХ ЭКЗОГЕННЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ НА ХОЗЯЙСТВЕННЫЕ ОБЪЕКТЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ ПО СНИЖЕНИЮ УЩЕРБА

Локально, в основном в пределах Кандалакшского залива, в устье Онежского залива, в частности, в Восточной Соловецкой Салме и по бортам центральной впадины Белого моря, наблюдается контрастный расчлененный рельеф морского дна со значительными (для субаквальных условий) уклонами. Лавинообразные оползневые и осыпные процессы в пределах таких склонов могут быть спровоцированы проявлениями сейсмической активности, довольно часто фиксируемыми в северо-западной части Белого моря, и любым техногенным воздействием (проведением подводных инженерно-технических работ, прокладкой подводных коммуникаций, дноуглублением фарватеров, добычей полезных ископаемых и т. д.).

Слабая освоенность берегов Белого моря обуславливает то, что опасность ЭГП по отношению к гидротехническим сооружениям проявляется лишь в местах расположения населенных пунктов и портов, в частности, в Двинском (береговая зона в пределах Архангельска и Северодвинска), Кандалакшском (береговая зона в пределах г. Кандалакша) и Онежском заливах (города Беломорск и Кемь). Основная опасность существует для судоходства из-за возможного резкого изменения глубины моря вдоль судоходных путей как следствие проявления гравитационных ЭГП (оползание, обрушение грунта стенок фарватеров) или динамической аккумуляции (песчаные волны). Необходимо учитывать проявления опасных ЭГП в районах планируемого развития транспортной инфраструктуры региона, например, строительство глубоководного порта в Двинском заливе в районе о. Мудьюгский и расширение порта г. Беломорск.

Среди природных процессов, способных влиять на состояние недр акватории Белого моря и воздействовать на подводные техногенные объекты, такие как кабели связи и фарватеры, не последнюю



Условные обозначения

ГРАВИТАЦИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ

-  Оползни, выявленные по данным НСАП, не выражающиеся в масштабе карты
-  Склоновые поверхности с гравитационными образованиями
-  Подводные уступы наибольшей крутизны (углы наклона указаны по данным с НСАП)
-  Подводные изолированные возвышенности со склонами наибольшей крутизны

ГАЗОФЛЮИДНАЯ РАЗГРУЗКА

-  Зоны распространения газонасыщенных осадков

ТИПЫ ГРУНТА

-  Грунты подвижные
-  Грунты текучие
-  Грунты устойчивые, консолидированные

Рис. 70. Карта проявлений опасных ЭГП в пункте наблюдений «Район Соловецких островов»

роль играет выпаживающее воздействие на поверхность дна дрейфующих льдов, образующих торосы. Так, в прибрежном районе, примыкающем к г. Беломорск, где по дну проходит кабель (рис. 71, а), на глубине моря в 10 м наблюдаются многочисленные борозды (пflugмарки) протяженностью более 100 м и шириной до 10–20 м (рис. 71, б). Борозды заполнены более тонкозернистым обломочным материалом, чем окружающая их выровненная абразивная поверхность дна, покрытая валунно-галечным материалом.

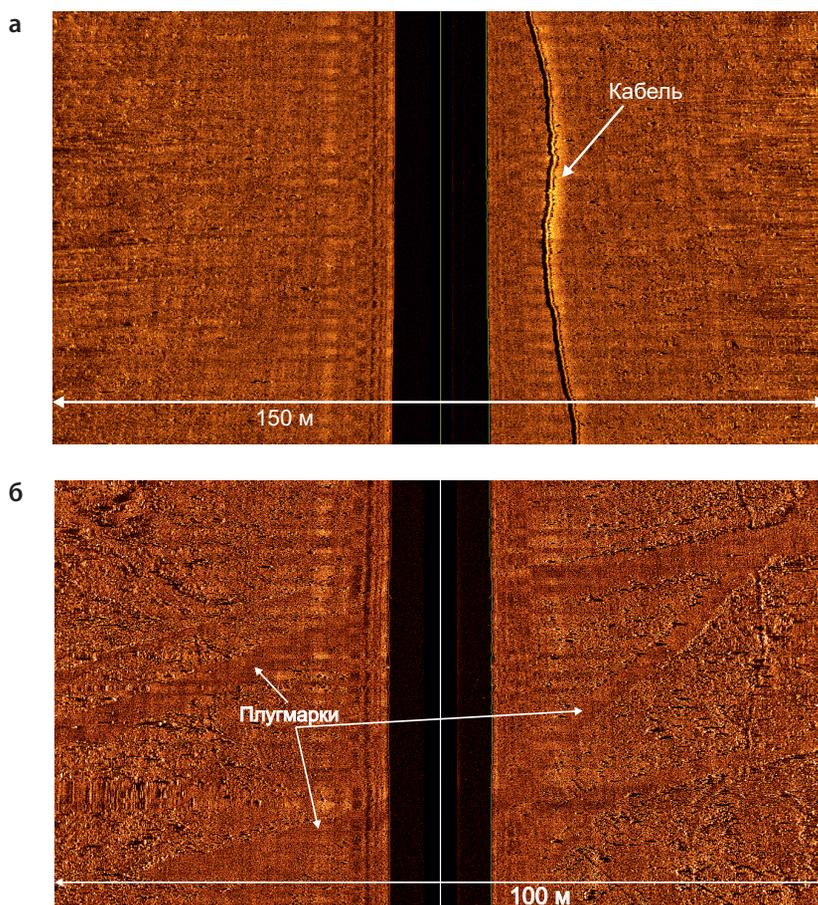


Рис. 71. Фрагменты записи ГЛБО (2024 г.) в прибрежном районе вблизи г. Беломорск
а — кабель на дне моря; б — следы современного ледового выпаживания (пflugмарки)

В Горле Белого моря и в устьях рек благодаря очень активной многофакторной придонной гидродинамике, в первую очередь приливно-отливной, наблюдаются не только процессы активного размыва морского дна, но и «динамичной аккумуляции» с формированием подводных движущихся песчаных мегаволн высотой до нескольких метров. Эти процессы опасны, прежде всего, для различных подводных коммуникаций (кабели связи), а также могут создавать проблемы при подводной добыче полезных ископаемых.

ПРИБРЕЖНО-ШЕЛЬФОВАЯ ЗОНА БАРЕНЦЕВА МОРЯ (РОССИЙСКАЯ ЧАСТЬ)

3.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Баренцево море, расположенное между северным берегом Европы и архипелагами Новая Земля, Земля Франца-Иосифа, Шпицберген и Медвежий, свободно сообщается с теплым Норвежским морем и холодным Арктическим бассейном, а также с Карским и Белым морями. Море относится к типу материковых окраинных (рис. 72*) и одним из крупнейших в России. Его площадь равна 1424 тыс. км², объем — 316 тыс. км³, средняя глубина — 222 м, максимальная глубина (в желобе о. Медвежий) — 600 м [Добровольский, Залогин, 1982].

Для рельефа дна моря в целом характерно чередование крупных структурных элементов: подводных возвышенностей (Гусиная банка, Северо-Канинская банка, Мурманская возвышенность и др.), желобов (Северо-Новоземельский желоб, Кольский прогиб и др.) и террасовидных уступов на склонах.

В Баренцевом море много островов, в том числе в пределах изучаемой площади: арх. Новая Земля, острова Колгуев, Кильдин и др. Сложная расчлененная береговая линия Баренцева моря образует многочисленные мысы, фьорды, заливы, бухты. Северные берега Кольского полуострова гористые и круто обрываются к морю, они изрезаны многочисленными фьордами. Для юго-восточной части моря характерны низменные пологие берега. Западное побережье Новой Земли невысокое и всхолмленное, а в его северной части вплотную к морю подходят ледники, некоторые из которых стекают прямо в море, за счет чего образуются небольшие айсберги.

Климатические условия Баренцева моря определяются его положением в высоких широтах за полярным кругом, непосредственной связью с Атлантическим океаном и Центральным арктическим бассейном. В целом оно имеет полярный морской климат, который характеризуется продолжительной зимой, коротким холодным летом, малой годовой амплитудой температуры воздуха, большой относительной влажностью. В то же время значительная меридиональная протяженность моря, поступление больших масс теплых атлантических вод на юго-западе и приток холодных вод из арктического бассейна создают климатические различия между отдельными районами.

Баренцево море — наименее ледовитое среди арктических морей, что обусловлено влиянием теплого Нордкапского течения. Максимальная кромка льда в марте обычно начинается у восточной оконечности Кольского полуострова и далее протягивается примерно между 74 и 75° с. ш. Минимальный ледовый покров наблюдается в сентябре, когда граница льдов располагается вблизи арх. Земля Франца-Иосифа. Конкретные погодные условия кардинальным образом влияют на ледовую обстановку, и в некоторые годы Баренцево море бывает свободно ото льда все лето [Павлидис и др., 1998].

Большие пространства чистой воды, частые и сильные ветры благоприятствуют развитию волнения в Баренцевом море. Особенно сильное волнение наблюдается зимой, когда при устойчивых (не менее 16–18 ч) западных и юго-западных ветрах до 20–25 м/с в центральных районах моря наиболее развитые волны могут достигать высоты 10–11 м.



Рис. 72*. Дополнительные материалы

В северной части Кольского полуострова располагается крупнейший залив побережья — Кольский. Его общая протяженность по створам около 55 км, ширина — от 1 до 7 км. На берегах находятся такие крупные города, как Мурманск, Североморск, Кола, Полярный. Средние глубины залива в пределах 200 м, максимальные — 330 м. Крупные питающие реки, впадающие в южную часть залива — Кола и Тулома. Берега сильно изрезаны и образуют собственные заливы (губы) сложной формы (губа Сайда, губа Оленья, губа Ваенга и др.).

Кольский залив Баренцева моря является важным стратегическим объектом РФ как в экономическом, так и в военно-политическом отношении. Мурманский незамерзающий порт — самый крупный за полярным кругом не только в России, но и в мире. Здесь же располагается крупнейшая военно-морская база Северного флота. Все это обусловило концентрацию в береговой зоне Кольского залива объектов военно-морского флота и портовой инфраструктуры, таких как различные судоремонтные мастерские, терминалы погрузки угля, топливно-заправочные зоны и т. д. Кроме того, на акватории наблюдаются корабельные кладбища.

На берегах Кольского полуострова располагаются несколько поселков: Дальние Зеленцы, Лодейное, Териберка и др. В районе п. Териберка планировалось примыкание подводного продуктопровода от Штокмановского газоконденсатного месторождения с созданием соответствующей инфраструктуры и завода по сжижению газа.

К числу наиболее опасных ЭГП и явлений, распространенных в прибрежно-шельфовой зоне Баренцева моря, относятся (рис. 73*):

— гравитационные и литодинамические процессы и явления, опасная интенсивность которых характерна преимущественно для прибрежных зон (до глубины 30 м) и приурочена к мезоформам рельефа с углами склона, превышающими 5°;

— экзарационные процессы и явления, представленные всплыванием морского дна айсбергами и плавучими льдами, которые представляют угрозу для устойчивости подводных трубопроводов и кабелей на глубинах до 100 м.

Для восточной части Баренцева моря, где работы по ГМСН прибрежно-шельфовой зоны не проводились, характерны опасные ЭГП, связанные с мерзлотными явлениями. Термокарст развит преимущественно в мелководных зонах, затопленных во время позднеоплейстоцен-голоценовой трансгрессии. Образующиеся за счет термокарста депрессии донной поверхности, имеющие довольно широкое распространение, нередко нивелируются литодинамическими процессами. Фильтрационные процессы и явления на шельфе представлены разгрузкой на дне моря пресных вод прибрежной суши (характерно для окаймления п-ова Канин) и газопроявлениями различного происхождения [Козлов, 2005а, б]. Практически повсеместно в отложениях Печорского шельфа, залегающих ниже голоценового комплекса, присутствует свободный газ (преимущественно метан), который скапливается под многолетнемерзлыми грунтами, создавая высокое пластовое давление.

Суммарно в прибрежно-шельфовой зоне Баренцева моря площадь дна, где в той или иной мере проявлены ЭГП (гравитационные, криогенные, связанные с газопроявлениями и т. д.), составляет 126 600 км², или 34,2 % от общей площади. При этом относительно активные проявления ЭГП отмечаются лишь на 0,9 % общей площади.



Рис. 73*. Дополнительные материалы

3.2. НАБЛЮДАТЕЛЬНАЯ СЕТЬ И ПРИМЕНЯЕМЫЕ МЕТОДЫ

Морские мониторинговые геолого-геофизические работы в Баренцевом море выполнялись в 2024 г. в одном пункте наблюдений — «Кольский залив» (рис. 74*). Основными задачами, решаемыми при проведении исследований, являлись: выявление и картирование площадей дна, характеризующихся значительной крутизной склонов, провоцирующих потенциально опасные процессы подводного оползнеобразования и осыпеобразования; картирование распределения мощностей рыхлых послеледниковых отложений; идентификация осадочных толщ.

НСАП в объеме 60 км выполнено преимущественно в пределах площадей наиболее контрастного рельефа морского дна северного колена Кольского залива (рис. 74*), где предполагалось выявление следов гравитационных ЭГП. Профилирование методом ГЛБО в объеме 20 км выполнено в основном в прибрежных зонах наиболее активной литодинамики и размыва морского дна, которые могут провоцировать развитие ЭГП.



Рис. 74*. Дополнительные материалы

3.3. РЕГИОНАЛЬНАЯ АКТИВНОСТЬ ОПАСНЫХ ЭКЗОГЕННЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В 2024 г.

Контрастный рельеф морского дна в Кольском заливе обуславливает возможность проявления опасных гравитационных процессов (обвалов, обрушений и т. д.).

Приповерхностный геологический разрез в акватории Кольского залива представлен пятью геологическими комплексами. Нижний комплекс образован породами архея, разделенными на два крупных тектонических блока: северный, сложенный гранитоидами, и южный — слюдяными и гранатовыми гнейсами. Четыре верхних комплекса соотносятся с отложениями квартера. Первый — ледниково-морские и ледово-морские отложения нижнего-среднего звена неоплейстоцена (gm,ml-II), представленные супесями, суглинками, алевроитовыми глинами с примесью гравия, гальки, щебня. Второй — ледниковый комплекс основной морены верхнего звена неоплейстоцена — осташковский горизонт (glllos), сложен песчано-гравийным материалом, песками и супесями с гравием, галькой и валунами. Мощность морены обычно составляет 0,5–3,0 м, редко до 60 м. Третий — ледниково-морские отложения верхнего звена неоплейстоцена — осташковский горизонт (gmlllos), представлен ленточными глинами, песками (до 20 м). Четвертый комплекс в пределах площади работ представлен

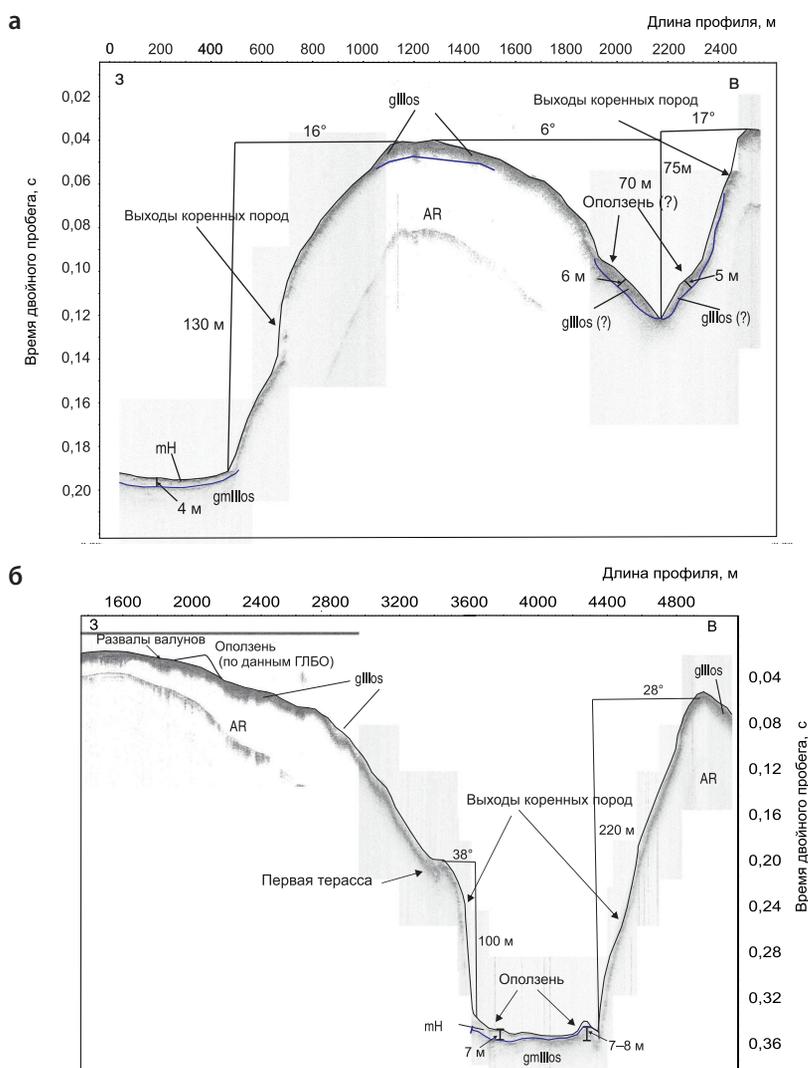


Рис. 75. Профили НСАП: а — 194606; б — 175549

Подводные береговые склоны и скальная гряда с локальными выходами коренных пород: AR — архейские образования; glllos — верхнеоплейстоценовая морена, осташковский горизонт; gmlllos — ледниково-морские отложения; mH — голоценовые морские отложения

морскими отложениями голоцена (тН) — песками с редким гравием, пелитами и алевропелитами [Вороняева и др., 2023; Геологическая..., 1961; Государственная геологическая..., 2007; Жамойда и др., 2012ф; Информационный бюллетень..., 2012; Евзеров и др., 2017; Шипилов и др., 2017].

В пределах площади работ выделяется ряд морфоскульптурных форм рельефа, характеризующихся возможностью проявления в их пределах опасных ЭГП. К ним в первую очередь относятся крутые подводные береговые склоны и склоны подводных гряд.

Подводные береговые склоны, как и подводные гряды, выполнены коренными породами архея, частично перекрытыми мореной, а на отлогих участках — морскими отложениями голоцена. Коренные породы выходят непосредственно на поверхность дна на наиболее крутых участках склонов (до 41–48°) с максимальным перепадом высот (до 220 м), который наблюдается преимущественно вдоль восточного борта Кольского залива. Западный борт залива, особенно в северном колене, характеризуется наличием террас, образующих несколько уступов подводного берегового склона. Максимальные зафиксированные углы крутых подводных склонов первой террасы восточного борта достигают 38°, а перепады высот — 80–128 м. В основании и на скатах подводных береговых склонов и подводных гряд широко развиты осыпи и оползни. Часть оползней и осыпей имеет многостадийный характер.

На рис. 75 представлены типичные разрезы северной части среднего колена Кольского залива.

Западный борт менее крутой и отличается наличием уступов, ограничивающих денудационные террасы подводного берегового склона (рис. 75, б, 76). Первая — узкая терраса, связанная с рельефом коренных пород, характеризуется наиболее крутыми склонами, достигающими 28°, и перепадом высот до 100 м. Коренные породы на склоне здесь зачастую выходят на поверхность дна. Выше угол склона уменьшается, и коренные породы, в том числе на второй террасе, полностью перекрыты мореной.

Скаты подводной скальной гряды, вытянутой вдоль оси залива и сложенной кристаллическими породами архея, как правило, перекрыты моренными отложениями с выходами коренных пород на наиболее крутых участках. Зафиксированные углы западного склона составляют 16°, восточного — 6°. Перепады высот восточного склона достигают 130 м, западного — около 75 м (рис. 75, а, 77).

В северном колене восточный борт подводного берегового склона характеризуется, как правило, большей крутизной (с углами склона до 48°) и значительным перепадом высот, достигающим 220 м (рис. 78). Коренные породы на склоне частично перекрыты ледниковыми отложениями и выходят на поверхность дна на наиболее крутых участках склона. На склонах и преимущественно у их подножия фиксируются оползневые или осыпные тела.

На профиле 153052 (см. рис. 74) в наиболее глубокой части губы Оленья зафиксировано предположительно оползневое тело, образовавшееся в две стадии оползнеобразования (рис. 79). Нижний

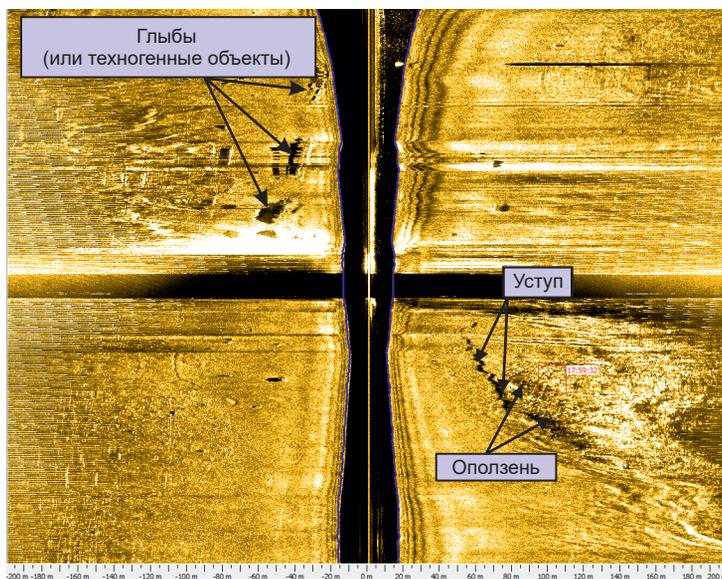


Рис. 76. Фрагмент профиля ГЛБО 1755, совмещенного с профилем НСАП 175549
Западный береговой склон — денудационный уступ

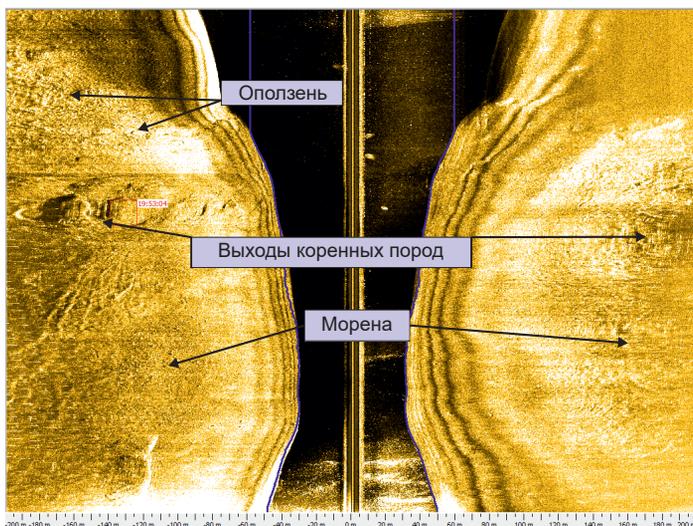


Рис. 77. Фрагмент профиля ГЛБО 1946, совмещенного с профилем НСАП 194606
 Скальная гряда, перекрытая отложениями морены. На склонах — следы гравитационных процессов

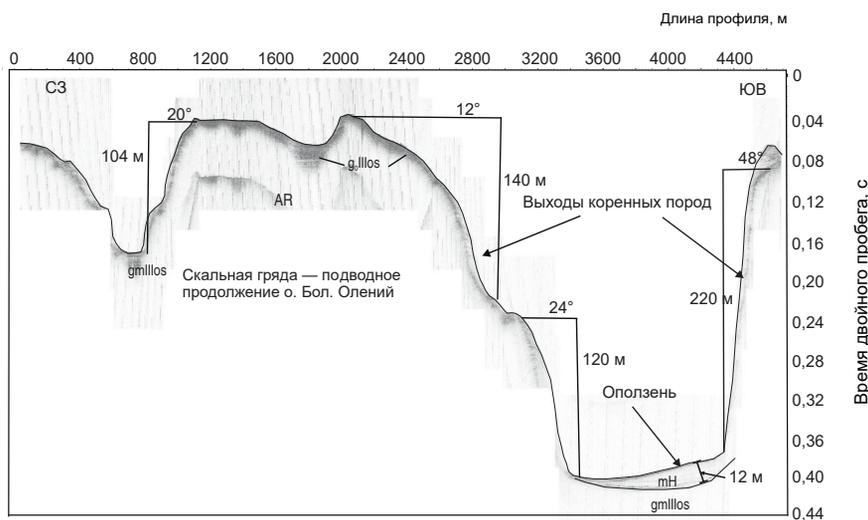


Рис. 78. Фрагмент профиля НСАП 143832
 Разрез вкрест Кольского залива — западный и восточный подводные береговые склоны и скальное продолжение о. Бол. Олений

оползень мощностью до 5 м, вероятно, соответствует ледниково-морским отложениям (gmllos), верхний (мощностью также около 5 м) — морским отложениям голоцена (mH).

Подводная скальная гряда, являющаяся подводным продолжением о. Бол. Олений, сложена коренными породами архея, в кровле перекрыта отложениями морены с отдельными выходами коренных пород. Скатыв гряды, как правило, перекрыты моренными отложениями с выходами коренных пород на наиболее крутых участках. Зафиксированные углы западного склона — от 11 до 30°, восточного — около 12°. На вершине гряды у основания выходов коренных пород фиксируется осыпь (рис. 80).

На профиле НСАП 150554 у западного подножия подводной скальной гряды выявлено предположительное оползневое тело, образовавшееся в три стадии (рис. 81).

На профиле НСАП 140828 (рис. 82) на перегибе восточного склона фиксируется оползень, вероятно, моренных образований мощностью до 8 м, а у подножия восточного склона — оползневое тело отложений голоценового возраста мощностью до 10 м.

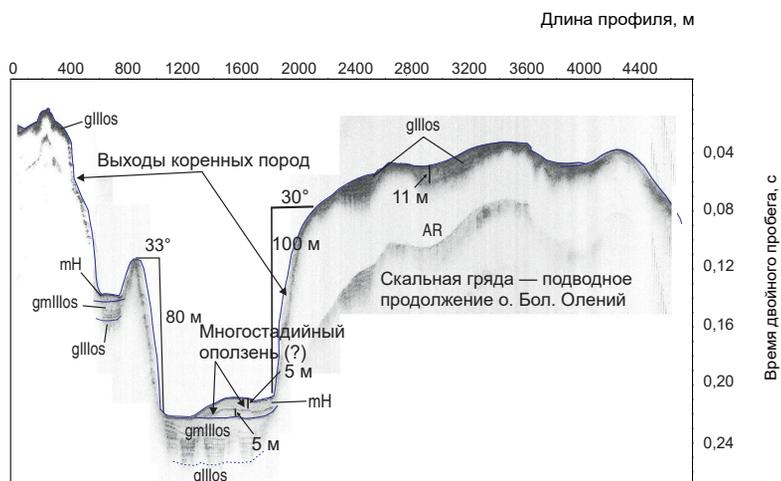


Рис. 79. Фрагмент профиля НСАП 153052 (профилограф)

Разрез вкрест губы Оленья — западный подводный береговой склон и скальное продолжение о. Бол. Олений, перекрытые мореной с выходами коренных пород

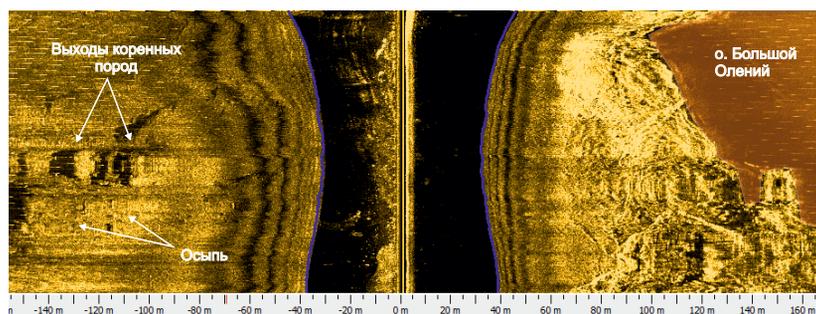


Рис. 80. Фрагмент профиля ГЛБО 1542, совмещенного с профилем НСАП 153052

Подводное продолжение о. Бол. Олений, морена с выходами коренных пород

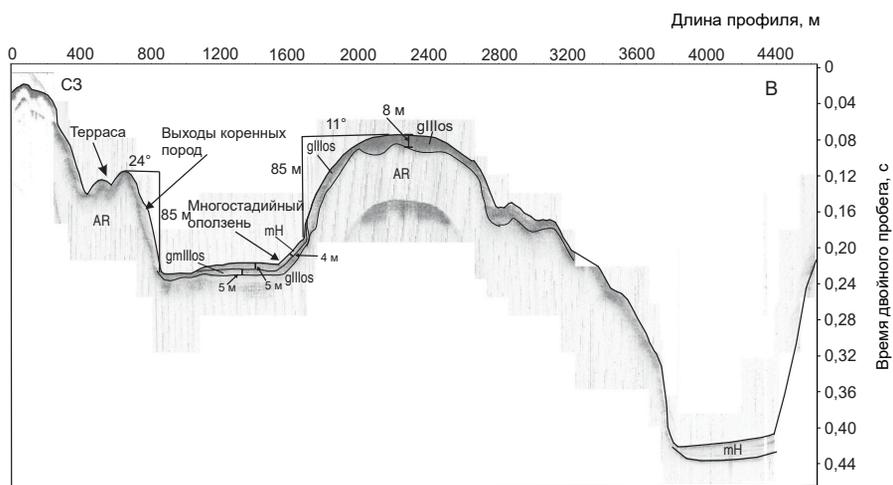


Рис. 81. Фрагмент профиля НСАП 150554 (профилограф)

Разрез вкрест губы Оленья и Кольского залива — западный подводный береговой склон и скальное продолжение о. Бол. Олений, перекрытые мореной с выходами коренных пород

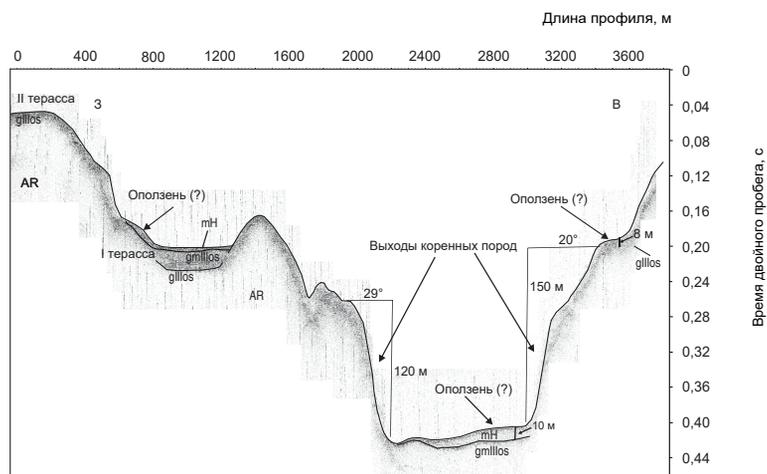


Рис. 82. Профиль НСАП 140828 (профилограф)

Разрез вкрест Кольского залива — западный и восточный подводные береговые склоны

На профиле 131547 в узкой седловине между западным и восточным склонами зафиксированы два оползневых тела голоценового возраста мощностью 11 и 15 м. На профиле НСАП 153052 в разрезе осадков наиболее глубоководной части губы Оленья выявлены акустические «окна», появление которых, возможно, обусловлено повышенной газонасыщенностью отложений. Данное предположение требует проверки.

На рис. 83* показана схема проявлений опасных геологических процессов в Кольском заливе, на которой показаны в том числе субаквальные участки береговой зоны с возможным проявлением склоновых гравитационных процессов.



Рис. 83*. Дополнительные материалы

3.4. ВОЗДЕЙСТВИЯ ОПАСНЫХ ЭКЗОГЕННЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ НА ХОЗЯЙСТВЕННЫЕ ОБЪЕКТЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ ПО СНИЖЕНИЮ УЩЕРБА

Почти все заливы Кольского полуострова (фьордового и фиардового типа), а также дно прибрежного шельфа характеризуются наличием крутых подводных склонов (углы наклона до 20–25°), что обусловлено региональной спецификой геологического строения. При этом на подводных склонах установлено наличие толщ неустойчивых водонасыщенных рыхлых грунтов, легко перемещаемых под действием гравитации. Как следствие, в прибрежно-шельфовой зоне Баренцева моря практически вдоль всей береговой линии Кольского полуострова выделяется полоса возможного проявления оползней.

В настоящее время основными хозяйственными объектами, которые могут пострадать на дне прибрежно-шельфовой зоны Баренцева моря и в первую очередь в Кольском заливе из-за воздействия ЭГП, являются подводные кабели связи. Проблемы, связанные с проявлениями гравитационных ЭГП при прокладке подводных кабелей, решаются, как правило, при проектировании трасс путем учета данных о рельефе морского дна и донных отложениях, в том числе полученных в ходе ГМСН прибрежно-шельфовых зон и на стадии изысканий. Наиболее рациональным является изменение линии трассы и обход зон потенциально возможного проявления гравитационных ЭГП.

В восточной части прибрежно-шельфовой зоны Баренцева моря довольно велики площади дна, которые находятся в зоне выпавивания айсбергами и плавучими льдами (торосы, стамухи, ледяные плотины). Эти природные явления, непосредственно не относящиеся к ЭГП, разрушают целостность приповерхностного геологического разреза и часто представляют собой большую опасность для хозяйственных объектов на дне моря на глубинах до 100 м, чем гравитационные процессы. Предотвратить аварийную ситуацию разрушения подводного кабеля или трубопровода может только его заглубление в грунт на глубину, превышающую потенциально возможное всплывание. Так, для защиты кабеля по трассе «Полярный экспресс» от возможных повреждений при тралении или постановке судов на якорь предусмотрено его заглубление в грунт на глубину до 1,5 м.

4

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

Региональный краткосрочный прогноз развития экзогенных геологических процессов в прибрежно-шельфовых зонах Белого, Баренцева и Балтийского морей на 2025 г. составлен с учетом методических рекомендаций ФГБУ «Гидроспецгеология».

Основной целью подготовки прогноза является обеспечение органов государственного управления, ведомств и организаций данными о прогнозной активности ЭГП на участках дна прибрежно-шельфовых зон Белого, Баренцева и Балтийского морей, примыкающих к Калининградской, Ленинградской и Мурманской областям Российской Федерации, а также к г. Санкт-Петербург.

Прогноз разработан на основании данных об инженерно-геологических условиях, а также сведений о распространении, активности и масштабах проявления ЭГП, полученных в ходе работ по объекту в 2024 г.

4.1. МЕТОДИКА СОСТАВЛЕНИЯ ПРОГНОЗА

Прогноз включает в себя рассмотрение ожидаемой активности ЭГП в прибрежно-шельфовых зонах Белого, Баренцева и Балтийского морей на 2025 г. Основным прогнозируемым показателем является «степень региональной активности ЭГП», которая выражает интегральную оценку ожидаемого развития опасных проявлений ЭГП (появление новых и активизацию ранее зафиксированных проявлений).

Градации прогнозируемой степени активности ЭГП:

- очень высокая, выражающаяся в массовом активном развитии ранее зафиксированных проявлений ЭГП (свыше 50 % от общего числа) и образовании многочисленных новых проявлений ЭГП;
- высокая, выражающаяся в активном развитии ранее зафиксированных проявлений ЭГП (от 25 до 50 % от общего числа) и образовании некоторого количества новых проявлений ЭГП;
- средняя, выражающаяся в активном развитии ранее зафиксированных проявлений ЭГП (от 10 до 25 % от общего числа) и образовании единичных новых проявлений ЭГП;
- низкая, выражающаяся в развитии ранее зафиксированных проявлений ЭГП (менее 10 % от общего числа).

Прогнозы составлены специалистами ФГБУ «Институт Карпинского» 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, тенденция их развития в 2011–2024 гг., режим основных факторов (гидрометеорологических, гидрогеологических, техногенных, сейсмических) в период, предшествующий прогнозируемому.

4.2. ПРОГНОЗ РАЗВИТИЯ ЭКЗОГЕННЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ПРИБРЕЖНО-ШЕЛЬФОВОЙ ЗОНЕ БАЛТИЙСКОГО МОРЯ НА 2025 г.

4.2.1. Прогноз развития экзогенных геологических процессов в прибрежно-шельфовой зоне Финского залива Балтийского моря на 2025 г.

Гравитационные процессы на склонах подводных возвышенностей и подводных песчаных террас в пунктах наблюдений «Кургальский риф — о. Сескар», «Выборгский залив», «Район о. Гогланд», «Копорский залив», «Мыс Флотский — мыс Песчаный» прогнозируются в основном на низком уровне. Предположительно, опасность могут представлять гравитационные процессы на склоне подводной террасы в пункте наблюдений «Мыс Флотский — мыс Песчаный», протягивающейся вдоль северного побережья залива, так как эти ЭГП приводят к разрушению внешних контуров террас, что в условиях дефицита песчаного материала может послужить причиной деградации пляжей береговой зоны. Фактором, способствующим активизации гравитационных процессов, является в основном техногенная деятельность в любом ее проявлении, если происходит контакт с дном (дноуглубление, свал грунтов (дампинг), постановка судов на якорь, траловый лов рыб, добыча песков и песчано-гравийных смесей, прокладка подводных коммуникаций, гидростроительство, подводные взрывы). Малоамплитудные гравитационные процессы в пределах действующих подводных карьеров (к западу от м. Стирсудден и к югу от о. Сескар) прогнозируются на среднем уровне (табл. 19–21). Среди естественных причин, провоцирующих активизацию ЭГП, можно назвать шторма аномальной силы и выпаивающее воздействие ледовых торосов, наблюдаемые в прибрежных зонах, особенно на северном побережье.

В районе о. Гогланд, в том числе на площади в пределах бассейна седиментации илов, поверхность дна которого должна быть максимально выровнена, прослежены значительные по площади зоны развития газонасыщенных осадков и многочисленные линейные депрессии (просадки) длиной до нескольких километров, шириной до 120–140 м и относительной глубиной до 4–5 м. В пробах грунтов, отобранных в 2016–2024 гг. в этих депрессиях, отмечены «ураганные» концентрации метана. Выбросы газа в водную толщу сопровождаются деформацией и просадкой донной поверхности, снижением несущей способности грунтов, повышением коррозионной активности среды [Миرونюк, Отто, 2014]. Площади их распространения опасны для строительного освоения. Предположительно, разгрузка газов (прежде всего, метана) может происходить как пульсационно (одномоментно), так и постепенно (диффузионно). Просадки грунта, связанные с подводными выходами газа, прогнозируются на низком уровне. Активность газожидкой разгрузки, локально — в пределах полей распространения газонасыщенных грунтов, которые фиксируются по акустическим аномалиям на сейсмических записях и подтверждаются выявленными высокими концентрациями метана в пунктах

Таблица 19

Сводные данные прогноза экзогенных геологических процессов для пунктов наблюдений в прибрежно-шельфовых зонах Белого, Баренцева и Балтийского морей на 2025 г.

№ п/п	Наименование пункта наблюдений	Степень прогнозируемой активности ЭГП			
		Очень высокая	Высокая	Средняя	Низкая
1	Кургальский риф — о. Сескар			Г-Фл	Оп
2	Мыс Флотский — мыс Песчаный			Г-Фл	Оп
3	Выборгский залив			Г-Фл	Оп
4	Район о. Гогланд			Г-Фл	Пр, Оп
5	Копорский залив				Г-Фл, Оп
6	Прибрежный район Самбийского полуострова			Оп, Об	
7	Район Соловецких островов				Оп, Об
8	Кольский залив				Оп, Об

Примечание. Сокращенные обозначения типов ЭГП: Об — обвальный процесс, Оп — оползневой процесс. Прочие процессы: Пр — просадочный процесс, Г-Фл — газожидкая разгрузка.

**Прогноз экзогенных геологических процессов по пунктам наблюдений за состоянием недр прибрежно-шельфовых зон
Белого, Баренцева и Балтийского морей на 2025 г. (Северо-Западный федеральный округ)**

№ п/п	Наименование пункта наблюдений	ЭГП	Методы составления прогноза	Содержание прогноза
Балтийское море. Восточная часть Финского залива, Ленинградская область				
1	Кургальский риф — о. Сескар	Оп, Г-Фл	Экспертный качественный прогноз ФГБУ «Институт Карпинского»	<i>Оползневые процессы.</i> Гравитационные процессы на склонах подводных возвышенностей и подводных песчаных террас прогнозируются на низком уровне, локально — в пределах подводного карьера на среднем уровне; процессы газофлюидной разгрузки — на среднем уровне
2	Мыс Флотский — мыс Песчаный	Оп, Г-Фл	Экспертный качественный прогноз ФГБУ «Институт Карпинского»	<i>Оползневые процессы.</i> Гравитационные процессы на склоне подводной террасы вдоль северного побережья и на склонах возвышенностей прогнозируются на низком уровне, локально — в пределах подводного карьера на среднем уровне; процессы газофлюидной разгрузки — на среднем уровне
3	Выборгский залив	Оп, Г-Фл	Экспертный качественный прогноз ФГБУ «Институт Карпинского»	<i>Оползневые процессы.</i> Гравитационные процессы на склонах подводных возвышенностей ледникового и флювиогляциального происхождения прогнозируются на низком уровне; процессы газофлюидной разгрузки — на среднем уровне
4	Район о. Гогланд	Пр, Г-Фл	Экспертный качественный прогноз ФГБУ «Институт Карпинского»	<i>Просадочный процесс.</i> В ходе работ 2006–2024 гг. в пределах бассейна седиментации илов к северо-западу от о. Гогланд, поверхность дна которого должна быть максимально выровнена, прослежены значительные по площади зоны развития газонасыщенных осадков и многочисленные линейные депрессии длиной до нескольких километров, шириной до 120–140 м и относительной глубиной до 4–5 м. В пробах грунтов отмечены очень высокие концентрации метана. Просадки грунта, связанные с подводными выходами метана, прогнозируются на низком уровне; процессы <i>газофлюидной разгрузки</i> — на среднем уровне. <i>Оползневые процессы</i> в пределах отдельных возвышенностей и склоне подводной террасы по периферии о. Гогланд прогнозируются на низком уровне
5	Копорский залив	Г-Фл, Оп	Экспертный качественный прогноз ФГБУ «Институт Карпинского»	Образование «кратеров» покмарков диаметром до 10–20 м в Копорском заливе предположительно связано с выходами подземных вод четвертичных горизонтов или вендского комплекса. Сопоставление с данными 2011–2023 гг. показало неоднородную динамику развития покмарков. Потенциальная опасность, связанная с образованием покмарков за счет выходов подземных вод, в том числе для биоты, неочевидна. В связи с коротким периодом наблюдений механизм и динамика проявления выходов подземных вод, формирующих кратеры покмарков, определены предположительно. Процессы газофлюидной разгрузки прогнозируются на низком уровне. <i>Гравитационные процессы (оползни)</i> в прибрежной зоне прогнозируются на низком уровне

№ п/п	Наименование пункта наблюдений	ЭГП	Методы составления прогноза	Содержание прогноза
Балтийское море. Российский сектор юго-восточной части Балтийского моря, Калининградская область				
6	Прибрежный район Самбийского полуострова	Оп, Об	Экспертный качественный прогноз ФГБУ «Институт Карпинского»	<i>Гравитационные (оползни, обвалы).</i> Эрозионно-гравитационные процессы, приводящие к осыпанию и обрушению подводных клифов, развитых в субаквальной части береговой зоны вдоль западного побережья Самбийского полуострова, с обрушением пород уступов и останцов палеогеновых пород могут представлять опасность в случае прокладки подводных коммуникаций (кабели, трубопроводы). Активность (обвальных и оползневых) процессов прогнозируется в 2025 г. на низком уровне, в пределах зон техногенной активности — на среднем (нелегальная подводная добыча янтаря с помощью мотопомп)
Белое море, Архангельская область				
7	Район Соловецких островов	Об, Оп	Экспертный качественный прогноз ФГБУ «Институт Карпинского»	<i>Обвальные и оползневые процессы.</i> Активность гравитационных (обвальных и оползневых) процессов на дне Восточной Соловецкой Салмы прогнозируется в 2025 г. на низком уровне
Баренцево море, Мурманская область				
8	Кольский залив	Об, Оп	Экспертный качественный прогноз ФГБУ «Институт Карпинского»	<i>Обвальные и оползневые процессы.</i> Активность гравитационных (обвальных и оползневых) процессов на дне Кольского залива прогнозируется в 2025 г. на низком уровне. Активизация ЭГП может быть спровоцирована техногенным воздействием или сейсмическими событиями.

наблюдений «Район о. Гогланд», «Кургальский риф — о. Сескар», «Выборгский залив», «Мыс Флотский — мыс Песчаный», прогнозируется на среднем уровне. В пункте наблюдений «Копорский залив» активность газофлюидной разгрузки (преимущественно метана) ожидается на низком уровне. В случае сохранения тенденций потепления климата прогнозируется активизация метанообразования за счет увеличения поступления в осадки седиментационных бассейнов ОБ, прежде всего, за счет широкого сезонного распространения сине-зеленых водорослей [Murray et al., 2019].

Образование «кратеров» покмарков диаметром до 10–20 м в Копорском заливе предположительно связано с выходами подземных вод четвертичных горизонтов или вендского комплекса, хотя периодически выявляемые гидрохимические аномалии в придонных водах не позволяют однозначно определить природу картируемых покмарков. Сходные покмарки неизвестного генезиса, но в объемах, на порядок превышающих их количество в Копорском заливе, выявлены в Северном море [Böttner et al., 2024]. В 2024 г. с использованием МЛЭ обследовано 198 покмарков, из них 18 обнаружены впервые. Сопоставление с данными 2011–2023 гг. показало неоднородную динамику их развития. Частично покмарки стабильны (до 47,3 %), то есть постоянно фиксируются при повторных съемках методами ГЛБО и МЛЭ, частично могут быть отнесены к пульсирующим (46,7 %), то есть эпизодически выявляемым. Для 6 % покмарков динамика не определена. Потенциальная опасность образования покмарков, в том числе для биоты, остается неочевидной. Просадки грунта, связанные с формированием покмарков, прогнозируются на низком уровне.

4.2.2. Прогноз развития экзогенных геологических процессов в прибрежно-шельфовой зоне Российского сектора юго-восточной части Балтийского моря на 2025 г.

Эрозионно-гравитационные процессы, приводящие к осыпанию и обрушению подводных клифов, развитых в субаквальной части береговой зоны вдоль западного побережья Самбийского полуострова, с обрушением пород уступов и останцов палеогеновых пород могут представлять опасность в основном в случае прокладки подводных коммуникаций (кабели, трубопроводы). В 2016–2024 гг. важным региональным фактором, провоцирующим активизацию гравитационных процессов вдоль подводных уступов, продолжает оставаться нелегальная добыча янтаря с использованием мотопомп для размыва пород. Единновременно в море количество катеров с аквалангистами может достигать нескольких десятков.

В акватории, прилегающей к порту Пионерский, в связи с реконструкцией последнего и дноуглублением подходов фарватеров, то есть трансформацией рельефа морского дна, может изменяться распределение донных грунтов. По краям подходов фарватеров возможна активизация подводных гравитационных процессов.

Активность гравитационных (обвальных и оползневых) процессов локально в пределах зон техногенного воздействия на дне Балтийского моря прогнозируется в 2025 г. на среднем уровне, вне зон техногенного воздействия — на низком. На склонах Гданьской впадины активность оползневых процессов прогнозируется низкой (табл. 19–21).

Триггером, способным активизировать гравитационные процессы, могут быть и сейсмические события, периодически фиксируемые в Российском секторе Балтийского моря. В 2023–2024 гг. значимых сейсмических событий зарегистрировано не было. Одним из факторов, который предположительно может спровоцировать сейсмические события, является добыча нефти, в том числе в акватории.

Таблица 21

Оправдываемость прогнозов экзогенных геологических процессов по территории прибрежно-шельфовых зон Белого, Баренцева и Балтийского морей на 2024 г.

Прибрежно-шельфовая зона	Подводные оползни			Подводные обвалы			Подводные каньоны			Газофлюидная разгрузка			Грязевые вулканы		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
1	2			3			4			5			6		
Балтийского моря (Финский залив)	2	1	у	–	–	–	–	–	–	3	2	у	–	–	–
Балтийского моря (Калининградский шельф)	2	1	у	2	1	у	–	–	–	н. д.	н. д.	н. д.	–	–	–
Белого моря	2	1	у	2	1	у	–	–	–	н. д.	н. д.	н. д.	–	–	–
Баренцева моря	1	1	х	1	1	х	–	–	–	н. д.	н. д.	н. д.	–	–	–

Примечание. Графы 2–6 — Информация об оправдываемости прогнозов для различных генетических типов опасных ЭГП:

I — прогнозировавшаяся активность опасных ЭГП (4 — очень высокая, 3 — высокая, 2 — средняя, 1 — низкая);

II — наблюдавшаяся активность опасных ЭГП (4 — очень высокая, 3 — высокая, 2 — средняя, 1 — низкая);

III — оправдываемость прогноза (Н — прогноз не оправдался, у — прогноз оправдался удовлетворительно, х — прогноз оправдался хорошо);

а) «–» — процесс не развит, б) н. д. — нет данных о степени активности опасных ЭГП.

4.3. ПРОГНОЗ РАЗВИТИЯ ЭКЗОГЕННЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ПРИБРЕЖНО-ШЕЛЬФОВОЙ ЗОНЕ БЕЛОГО МОРЯ НА 2025 г.

Активность гравитационных (обвальных и оползневых) процессов на дне Восточной Соловецкой Салмы прогнозируется в 2025 г. на низком уровне (табл. 19–21). Активизация ЭГП может быть спровоцирована сейсмическими событиями. В 2024 г., по данным Финского сейсмического центра, значимых сейсмических событий в акватории Белого моря зафиксировано не было.

4.4. ПРОГНОЗ РАЗВИТИЯ ЭКЗОГЕННЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ПРИБРЕЖНО-ШЕЛЬФОВОЙ ЗОНЕ БАРЕНЦЕВА МОРЯ (КОЛЬСКИЙ ЗАЛИВ) НА 2025 г.

Активность гравитационных (обвальных и оползневых) процессов на дне Кольского залива прогнозируется в 2025 г. на низком уровне (табл. 19–21). Активизация ЭГП может быть спровоцирована техногенными причинами или сейсмическими событиями.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В прибрежно-шельфовой зоне Финского залива Балтийского моря комплекс геолого-геофизических работ в 2024 г. показал широкое развитие проявлений ЭГП. Гравитационные процессы (подводные оползни, осыпи) в условиях Финского залива относятся к категории потенциально опасных ЭГП в связи с интенсивным освоением подводных пространств и представляют угрозу при прокладке и эксплуатации подводных коммуникаций (нефте- и газопроводов, кабелей связи и электроснабжения).

Площади зон потенциального развития гравитационных ЭГП (подводные оползни и осыпи) в пунктах наблюдений прибрежно-шельфовой зоны восточной (российской) части Финского залива составляют: «Мыс Флотский — мыс Песчаный» — 16,6 км², или 2,5 %; «Выборгский залив» — 19,4 км², или 8 %; «Район о. Гогланд» — 22,2 км², или 4,3 %; «Кургальский риф — о. Сескар» — 29,1 км², или 3,7 %; «Копорский залив» — 0,7 км², или 0,5 %. Общая площадь возможных проявлений гравитационных ЭГП составляет 157 км², или 1,3 % от общей площади дна российской части Финского залива.

Гравитационные процессы наблюдаются преимущественно в пределах склонов крутизной более 5°, приуроченных как к естественным положительным формам рельефа дна ледникового происхождения (затопленные моренные гряды различного генезиса, озы) и подводным террасам, широко распространенным в Финском заливе, так и к техногенным формам рельефа (фарватеры, карьеры по добыче песка и песчано-гравийной смеси).

В ходе работ 2024 г., проведенных в районах техногенной переработки геологической среды на подводных склонах южной подводной оконечности о. Сескар, где добываются песчано-гравийные смеси и строительные пески, а также на отработанных подводных карьерах в районе м. Флотский, была выявлена высокая активность ЭГП гравитационной группы, локализованных в пределах этих подводных карьеров.

Рельеф дна Финского залива в пределах площадей, примыкающих к северному побережью, характеризуется наличием значительных уклонов, приуроченных к склонам подводной вдольбереговой террасы и карьеров по добыче песка. Характер донных грунтов (неконсолидированные, подвижные и текучие грунты) способствует высокой активности опасных ЭГП. В результате подводной добычи песчаного и песчано-гравийного материала на реликтовых (голоценовых) подводных террасах, окаймляющих побережья материка и островов восточной части Финского залива (район от м. Флотский до м. Песчаный, Лондонская отмель, периферия о. Сескар, районы Северной и Южной Лахты в Невской губе), происходит кардинальное изменение геологической среды, рельефа и седиментационных процессов. Естественного восстановления песчаной толщи, как правило, не наблюдается. Склоны карьеров становятся зонами активного развития комплекса склоновых ЭГП, а в наиболее глубоких частях карьеров формируются условия для накопления алевропелитовых илов. Кроме того, при разработке карьеров вблизи границ береговой зоны нарушается баланс вдольбереговых наносов, что приводит к активизации абразионных процессов на берегу.

Своеобразными техногенными положительными формами рельефа являются подводные свалки (отвалы) грунтов, в основном за счет перемещаемых донных грунтов при дноуглублении фарватеров и портовых площадей. Подобные техногенные гряды, которые могут протягиваться на 5 км при высоте до 10 м, легко и быстро разрушаются за счет размыва придонными течениями и при участии гравитационных ЭГП.

Геофизические исследования показали широкое развитие в восточной части Финского залива газонасыщенных осадков, характеризующихся «ураганными» содержаниями метана. Очевидно,

участки морского дна со следами газопроявлений следует относить к геологически опасным территориям, так как в их пределах наблюдается снижение прочности и возрастание тиксотропности песчано-глинистых грунтов, разуплотнение глинистых пород, снижение угла внутреннего трения песчаных отложений вплоть до их перехода в состояние пльвунов и т. д. [Миرونюк, Отто, 2014; Дашко и др., 2011]. Выбросы газа в водную толщу сопровождаются деформацией донной поверхности, формированием оползней и повышением коррозионной активности среды, что угрожает целостности подводных трубопроводов различного назначения, линий связи и электроснабжения и др.

Основным критерием выделения полей газонасыщенных грунтов служат акустические аномалии («окна»), выявляемые на записях НСАП. Появление этих «окон» свидетельствует о высокой пористости грунтов, что является причиной рассыпания акустического сигнала. Площадь газонасыщенных грунтов по результатам экстраполяции данных НСАП (актуальных и архивных переинтерпретированных) на прилегающие участки дна составила 648 км², или 5,6 % от общей площади акватории и 13,9 % от площади илов (текучих грунтов). Суммарный объем этих газонасыщенных осадков рассчитать сложно, так как зачастую мощность газонасыщенных илов остается неопределенной на записи НСАП из-за существования акустических окон. По совокупности геолого-геофизических данных мощность газонасыщенных грунтов варьирует в основном от 2 до 5 м. Следовательно, объем этих грунтов может быть оценен не менее 2300 млн м³. Распространенность газонасыщенных илов в пункте наблюдений «Район о. Гогланд» составляет 9,7 % его площади, в «Выборгском заливе» — 10,3 %, в пунктах наблюдений «Мыс Флотский — мыс Песчаный» — 12,2 %, «Кургальский риф — о. Сескар» — 9,9 %, «Копорский залив» — 0,7 %.

В районе о. Гогланд в пределах бассейна седиментации илов выявлены многочисленные линейные депрессии длиной до нескольких километров, шириной до 120–140 м и относительной глубиной до 4–5 м. В пробах грунтов, отобранных в 2016–2023 гг. в этих депрессиях, отмечены ураганные концентрации метана. В пункте наблюдений «Район о. Гогланд» содержание метана в 2024 г. в приповерхностных грунтах достигает 513 504 ppm в воздушном зазоре (headspace), «Выборгский залив» — до 181 100 ppm, «Кургальский риф — о. Сескар» — до 160 488 ppm, «Мыс Флотский — мыс Песчаный» — до 43 553 ppm, «Копорский залив» — 151 ppm. Таким образом, активность газофлюидной разгрузки в Финском заливе локально выявлена на высоком уровне, что, возможно, обусловлено интенсивным метанообразованием за счет значительного поступления в осадки седиментационных бассейнов ОВ в связи с широким сезонным распространением сине-зеленых водорослей [Murray et al., 2019].

Установлено два типа дегазации осадков: 1) дегазация, имеющая лавинообразный характер и реализующаяся как одномоментный прорыв газа на поверхность дна; 2) замедленная дегазация, протекающая за счет диффузии газов на поверхность. Результаты газогеохимических исследований подтвердили сделанные ранее выводы о том, что метан газонасыщенных илов имеет преимущественно бактериальную природу и генерируется, вероятно, на нижних горизонтах голоценовых отложений с высоким содержанием ОВ. В то же время анализ всего массива данных по составу газов (метан и его гомологи) и изотопному составу метана, полученных в 2016–2024 гг., не исключает гипотезы, что метан может иметь смешанное — микробное и термогенное происхождение, частично поступая, например, из газогенерирующих обогащенных ОВ микулинских морских отложений, останцы или отторженцы которых могут быть захоронены в нижних частях разреза четвертичных отложений в погребенных долинах на выходе из Лужской губы или протягивающихся вдоль северного побережья Финского залива. В Выборгском заливе не исключено, что часть углеводородных газов поступает по тектоническим разломам.

В Копорском заливе в 2024 г. обследовано 198 покмарков по южной периферии поля распространения покмарков, из них 91 стабильных (постоянно выявляемых), 89 — «пульсирующих» (выявляемых эпизодически) и 18 новых, ранее не выявленных. Средний диаметр покмарков, обследованных в 2024 г., составляет 9,55 м (площадь — 76,25 м²), минимальный — 4,4 м (15,1 м²), максимальный — 17,4 м (238,6 м²).

Наблюдения 2024 г. и анализ материалов работ по мониторингу, выполненных в Российском секторе прибрежно-шельфовой зоны юго-восточной Балтики (Калининградский шельф), локально выявили среднюю степень пораженности опасными ЭГП гравитационной группы (обвалы, осыпи). Площадь зоны потенциального развития подводных оползней и осыпей составляет 155 км², или 1,3 % общей площади Калининградского шельфа. В пункте наблюдений «Прибрежный район Самбийского полуострова» гравитационные ЭГП могут проявляться на 8,9 % площади. Эти ЭГП связаны преимущественно с крутыми (десятьки градусов, вплоть до вертикальных стенок и отрицательных уклонов) склонами куэстовых обрывов, выработанных в породах мела и палеогена, а также в ходе селективного подводного размыва. Высота уступов достигает 10 м. Различия в физико-механических свойствах пород, слои которых выходят на поверхность морского дна, обуславливают появление многочисленных останцов (высотой до первых метров), способных обрушаться по мере дальнейшего выноса осадочного материала. В пределах зон техногенного воздействия (дноуглубление, подводная добыча янтаря) на дне Балтийского моря активность гравитационных (обвальных

и оползневых) процессов локально прогнозируется в 2025 г. на высоком уровне, вне зон техногенного воздействия — на среднем. На склонах Гданьской впадины активность оползневых процессов отмечается как низкая.

При работах в районе Соловецких островов (Восточная Соловецкая Салма) в прибрежно-шельфовой зоне Белого моря в 2024 г. по результатам интерпретации данных НСАП уточнено строение участков дна, характеризующихся грядовым рельефом с углами склонов, достигающих от 3 до 15° с перепадом глубин от 10–12 до 100 м. У подножия моренных гряд и береговых склонов выявлен ряд подводных оползневых тел. В прол. Восточная Соловецкая Салма, по данным НСАП, выявлено небольшое поле газонасыщенных грунтов (в поперечнике — 750 м).

В пункте наблюдений «Кольский залив» в прибрежно-шельфовой зоне Баренцева работы 2024 г. подтвердили высокую степень пораженности наблюдаемой площади ЭГП гравитационной группы и их низкую активность. Мощность отдельных оползневых тел может достигать 12 м. Установлена многостадийность оползневых процессов. Выявлено, что процессы оползнеобразования протекают и на современном этапе развития акватории.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

ОСНОВНАЯ

1. Атлас геологических и эколого-геологических карт Российского сектора Балтийского моря / гл. ред. О. В. Петров. — СПб. : ВСЕГЕИ, 2010. — 78 с.
2. *Вороняева Л. В., Колянова И. Б. и др.* Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1 : 200 000. Издание второе. Серия Кольская. Лист R-36-XXVII, XXVII (Мурманск). Объяснительная записка. — СПб. : Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2023. — 318 с.
3. *Гарькуша Д. Н., Федоров Ю. А., Хромов М. И.* Метан в воде и донных отложениях устьевой области Северной Двины (Белое море) // *Океанология*. — 2010. — Т. 50. — № 4. — С. 534–547.
4. Геологическая карта СССР. Масштаб 1 : 200 000 (первое издание). Лист R-36-XXIX, XXX. — М. : Картографическая фабрика Госгеолтехиздата Мингео СССР, 1961.
5. Государственная геологическая карта Российской Федерации (новая серия). Масштаб 1 : 1 000 000 (новая серия). Лист Q-(35), 37 — Апатиты. Геологическая карта четвертичных образований. — СПб. : Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2012.
6. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1 : 1 000 000 (третье поколение). Серия Север-Карская-Баренцевоморская. Лист R-(35), 36 — Мурманск. Объяснительная записка. СПб. : Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2007. — 281 с.
7. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1 : 200 000. Издание второе. Серия Кольская. Лист R-36-XXVII, XXVIII (Мурманск). Объяснительная записка. — СПб., 2023. — 318 с.
8. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1 : 200 000. Издание второе. Серия Онежская. Лист Q-37-XXV, XXVI (Лопшеньга). Геологическая карта четвертичных образований. — СПб. : МФ ВСЕГЕИ, 2013.
9. *Грейсер Е. Л., Иванова Н. Г.* Пресные подземные воды: состояние и перспективы водоснабжения населенных пунктов и промышленных объектов // *Разведка и охрана недр*. — 2005. — № 5. — С. 36–48.
10. *Гуделис В. К., Емельянов Е. М.* (ред.) Геология Балтийского моря. — Вильнюс : Моклас, 1976. — 380 с.
11. Дальний Восток и берега морей, омывающий территорию СССР. — М. : Наука, 1982. — 277 с.
12. *Дашко Р. Э., Александрова О. Ю., Котюков П. В.* и др. Особенности инженерно-геологических условий Санкт-Петербурга / Р. Э. Дашко, О. Ю. Александрова, П. В. Котюков, А. В. Шидловская // *Развитие городов и геотехническое строительство*. — 2011. — № 1. — 47 с.
13. *Дзюба А. В., Зекцер И. С.* Изменения субмаринного подземного стока как возможная причина разрушения морских метаногидратов в Арктике // *Водные ресурсы*. — 2013. — Т. 40, № 1. — С. 83–94. — DOI 10.7868/s0321059613010033
14. Добровольский А. Д., Залогин Б. С. Моря СССР. — М. : Изд-во МГУ, 1982. — 192 с.
15. *Евзеров В. Я., Николаева С. Б., Шелехова Т. С.* Рыхлый покров и новейшая геодинамика Кольского залива (первые результаты и перспективы дальнейших работ) // *Вестник Кольского научного центра РАН*. — 2017. — № 1 (9). — С. 24–32.
16. *Ерзова В. А., Судариков С. М., Румынин В. Г.* и др. Естественная радиоактивность и фоновое содержание техногенных радионуклидов в подземных водах района Ленинградской АЭС / В. А. Ерзова, С. М. Судариков, В. Г. Румынин, А. А. Шварц // *Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геоэкология*. — 2021. — № 4. — С. 53–66. — DOI 10.31857/S0869780921040044.
17. *Жамойда В. А., Кропачев Ю. П., Рябчук Д. В., Сергеев А. Ю.* Поверхность дна и мозаичность распределения осадков // Нефть и окружающая среда Калининградской области. Т. II. Море / под ред. В. В. Сивкова, Ю. С. Каджояна, О. Е. Пичужкиной, В. Н. Фельдмана. — Калининград : Терра Балтика, 2012. — С. 321–334.
18. *Жамойда В. А., Рябчук Д. В., Сергеев А. Ю.* и др. Трансформация геологической среды восточной части Финского залива в результате подводной добычи полезных ископаемых / В. А. Жамойда, Д. В. Рябчук, А. Ю. Сергеев, О. А. Ковалева, Л. М. Буданов, А. Г. Григорьев // *Окружающая среда Санкт-Петербурга*. — 2021. — № 4 (22). — С. 18–20.
19. *Жамойда В. А.* Специфика современного железо-марганцевого рудообразования в Онежском заливе // *Комплексные морские геолого-геофизические исследования внутренних морей гляциальных шельфов*. — Л. : ВСЕГЕИ, 1987. — С. 72–79.

20. Жигульский В. А. Принципы адаптивного управления качеством морской среды г. Санкт-Петербурга // Материалы Научно-практической конференции «Проблемы градостроительной экологии в условиях глобальных и региональных изменений окружающей среды. — СПб., 2017.
21. Зоренко Т. Н., Черемхина Г. М., Корепанов В. С. и др. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1 : 200 000. Издание второе. Серия Онежская. Лист Q-37-XXV, XXVI. Объяснительная записка / Т. Н. Зоренко, Г. М. Черемхина, В. С. Корепанов, Л. С. Вертунова, В. И. Левин. — М. : МФ ВСЕГЕИ, 2013. — 52 с.
22. Иванова А. А., Соловьева М. А., Токарев М. Ю. и др. Обобщение материалов о газонасыщенных осадках в Кандалакшском заливе Белого моря / А. А. Иванова, М. А. Соловьева, М. Ю. Токарев, А. В. Старовойтов, А. Е. Рыбалко // Тез. докл. конф. «Инженерная геофизика 2016», 25–29 апреля, Анапа, 2016. — С. 145–151 (диск).
23. Иванов М. В., Леин А. Ю., Гальченко В. Ф. Глобальный метановый цикл в океане // Геохимия. — 1992. — № 7. — С. 1035–1045.
24. Информационный бюллетень о состоянии геологической среды прибрежно-шельфовых зон Баренцева, Белого и Балтийского морей в 2011 г. [Электронный ресурс] / под ред. О. В. Петрова, А. М. Лыгина. — СПб. : Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2012. — 80 с. — URL: <https://webftp.vsegei.ru/lzvestia/marine-11.pdf> (дата обращения: 18.12.2024).
25. Информационный бюллетень о состоянии геологической среды прибрежно-шельфовых зон Баренцева, Белого и Балтийского морей в 2012 г. [Электронный ресурс] / под ред. О. В. Петрова, А. М. Лыгина. — СПб. : Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2013. — 112 с. — URL: <https://webftp.vsegei.ru/lzvestia/marine-12.pdf> (дата обращения: 18.12.2024).
26. Информационный бюллетень о состоянии геологической среды прибрежно-шельфовых зон Баренцева, Белого и Балтийского морей в 2013 г. [Электронный ресурс] / под ред. О. В. Петрова, А. М. Лыгина. — СПб. : Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2014. — 136 с. — URL: <https://webftp.vsegei.ru/lzvestia/marine-13.pdf> (дата обращения: 18.12.2024).
27. Информационный бюллетень о состоянии геологической среды прибрежно-шельфовых зон Баренцева, Белого и Балтийского морей в 2014 г. [Электронный ресурс] / под ред. О. В. Петрова, А. М. Лыгина. — СПб. : Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2015. — 140 с. — URL: https://www.vsegei.ru/ru/public/bulletin/info_marine/marine-14.pdf (дата обращения: 18.12.2024).
28. Информационный бюллетень о состоянии геологической среды прибрежно-шельфовых зон Баренцева, Белого и Балтийского морей в 2015 г. [Электронный ресурс] / под ред. О. В. Петрова, А. М. Лыгина. — СПб. : Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2016. — 110 с. — URL: https://www.vsegei.ru/ru/public/bulletin/info_marine/marine-15.pdf (дата обращения: 18.12.2024).
29. Информационный бюллетень о состоянии геологической среды прибрежно-шельфовых зон Баренцева, Белого и Балтийского морей в 2016 г. [Электронный ресурс] / под ред. О. В. Петрова, А. М. Лыгина. — СПб. : Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2017. — 117 с. — URL: https://www.vsegei.ru/ru/public/bulletin/info_marine/marine-16.pdf (дата обращения: 18.12.2024).
30. Информационный бюллетень о состоянии геологической среды прибрежно-шельфовых зон Баренцева, Белого и Балтийского морей в 2017 г. [Электронный ресурс] / под ред. О. В. Петрова, А. М. Лыгина. — СПб. : Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2018. — 116 с. — URL: https://karpinskyinstitute.ru/ru/info/public/bulletin/info_marine/marine-17.pdf (дата обращения: 18.12.2024).
31. Информационный бюллетень о состоянии геологической среды прибрежно-шельфовых зон Баренцева, Белого и Балтийского морей в 2018 г. [Электронный ресурс] / под ред. О. В. Петрова, А. М. Лыгина. — СПб. : Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2019. — 99 с. — URL: https://karpinskyinstitute.ru/ru/info/public/bulletin/info_marine/marine-18.pdf (дата обращения: 18.12.2024).
32. Информационный бюллетень о состоянии недр прибрежно-шельфовых зон Белого, Баренцева и Балтийского морей Российской Федерации в 2022 г. [Электронный ресурс] / В. А. Жамойда, Д. В. Рябчук, А. Ю. Сергеев, О. А. Ковалева, А. Г. Григорьев, Л. М. Буданов, А. В. Чекулаев, А. А. Московцев, И. А. Неевин, А. В. Евдокименко, А. Н. Сукнотова, А. В. Амантов, М. Г. Амантова, О. В. Дронь, Е. Н. Нестерова. — СПб. : Изд-во ВСЕГЕИ, 2023. — 111 с. — URL: https://vsegei.ru/ru/public/bulletin/info_marine/marine_22.pdf (дата обращения: 18.12.2024).
33. Информационный бюллетень о состоянии недр прибрежно-шельфовых зон Белого, Баренцева и Балтийского морей Российской Федерации в 2023 г. [Электронный ресурс] / В. А. Жамойда, А. Г. Григорьев, Д. В. Рябчук, А. Ю. Сергеев, Л. М. Буданов, А. В. Чекулаев, А. А. Московцев, Е. Н. Нестерова, А. В. Амантов, А. Н. Сукнотова, О. В. Дронь, М. Г. Амантова, А. В. Евдокименко, О. А. Ковалева, И. А. Неевин, Д. В. Дорохов. — СПб. : Изд-во ФГБУ «Институт Карпинского», 2024. — 129 с. URL: https://karpinskyinstitute.ru/ru/info/public/bulletin/info_marine/marine_23new.pdf (дата обращения: 18.12.2024).
34. Калмычков Г. В., Егоров А. В., Кузьмин М. И., Хлыстов О. М. Генетические типы метана озера Байкал // Докл. РАН. — 2006. — Т. 411, № 5. — С. 672–675.
35. Канапацкий Т. А. Микробные процессы сульфатредукции, метаногенеза и метаноокисления в осадках Российского сектора Балтийского моря // Автореф. канд. дисс. — М., 2013. — 24 с.
36. Каплин П. А., Леонтьев О. К., Лукьянова С. А. и др. Берега / П. А. Каплин, О. К. Леонтьев, С. А. Лукьянова, Л. Г. Никифоров. — М. : Мысль, 1991. — 480 с. (Сер. «Природа мира»).
37. Козлов С. А. Опасные для нефтегазопромысловых сооружений геологические и природно-технологические процессы на Западно-Арктическом шельфе России [Электронный ресурс] // Нефтегазовое дело. — 2005а. — URL: http://www.ogbus.ru/authors/Kozlov/Kozlov_2.pdf (дата обращения: 18.12.2024).

38. Козлов С. А. Оценка устойчивости геологической среды на морских месторождениях углеводородов в Арктике [Электронный ресурс] // Нефтегазовое дело. — 20056. — URL: http://www.ogbus.ru/authors/Kozlov/Kozlov_1.pdf (дата обращения: 18.12.2024).
39. Краснов И. И. Газы четвертичной толщи предглинтовой Ленинградской области // Природные газы СССР. — Л., 1935. — С. 10–33.
40. Левченко О. В., Щербаков Ф. А. Приливно-отливные формы мезорельефа и структура дна восточной части Белого моря // Геоморфология. — 1999. — № 4. — С. 85–92.
41. Леин А. Ю. Аутигенное карбонатообразование в океане // Литология и полезн. ископ. — 2004. — № 1. — С. 3–35.
42. Леин А. Ю., Иванов М. В. Крупнейший на Земле метановый водоем // Природа. — 2005. — № 2. — С. 19–25.
43. Ленинград. Историко-географический атлас. — М. : Главное управление геодезии и картографии при Совете министров СССР, 1981. — 120 с.
44. Лоция Балтийского моря. Ч. 1. Восточная часть моря с Финским и Рижским заливами. — Л. : ГУНиО, 1979. — 407 с.
45. Лоция Белого моря. — Л. : ГУНиО, 1972. — 320 с.
46. Малаховский Д. Б., Саммет Э. Ю. Ледниковые отторженцы и гляциодислокации северо-запада Русской равнины // Материалы гляциологических исследований. Хроника обсуждения. — 1982. — № 44. — С. 121–128.
47. Мануйлов С. Ф., Рыбалко А. Е., Спиридонов М. А. и др. Стратотип позднеплейстоценовых и голоценовых отложений Соловецкого шельфа / С. Ф. Мануйлов, А. Е. Рыбалко, М. А. Спиридонов, Р. Н. Джиноридзе, Л. В. Калугина, Е. А. Кириенко, Е. А. Спиридонова // Палинология плейстоцена и голоцена. — Л. : Изд-во Ленинградского университета, 1981. — С. 116–134.
48. Медведев В. С. Некоторые особенности перемещения песчаных наносов в прибрежной зоне Белого моря // XII научная конференция по изучению морских берегов. — 1971.
49. Миронюк С. Г., Отто В. П. Газонасыщенные морские грунты и естественные газовыделения углеводородов: закономерности распространения и опасность для инженерных сооружений // Геориск. — 2014. — № 2. — С. 8–18.
50. Нежиховский Р. А. Река Нева и Невская губа. — Л. : Гидрометеиздат, 1981. — 112 с.
51. Никифоров С. Л., Кошель С. М., Сорохтин Н. О. и др. Цифровая модель рельефа дна Белого моря: методика построения и краткое описание / С. Л. Никифоров, С. М. Кошель, Н. О. Сорохтин, В. В. Фроль, О. Е. Попов, О. В. Левченко // Система Белого моря. Т. IV. Процессы осадкообразования, геология и история. — М. : Научный мир, 2017. — С. 157–184.
52. Обзор результатов экологического мониторинга морского нефтяного месторождения «Кравцовское» (Д-6): 2005 год / ред. О. Е. Пичужкина, В. В. Сивков, В. Н. Фельдман. — Калининград : ООО «ЛУКОЙЛ-Калининградморнефть», 2006. — 40 с.
53. Павлидис Ю. А., Ионин А. С., Щербаков Ф. А. и др. Арктический шельф. Позднечетвертичная история как основа прогноза развития / Ю. А. Павлидис, А. С. Ионин, Ф. А. Щербаков, Н. Н. Дунаев. — М. : ГЕОС, 1998. — 187 с.
54. Прасолов Э. М. Изотопная геохимия и происхождение природных газов. — Л. : Недра, Ленинградское отделение, 1990. — 280 с.
55. Репкина Т. Ю., Рыбалко А. Е., Терехина Я. Е. и др. Опыт крупномасштабного геоморфологического картографирования гляциальных шельфов по геофизическим данным (пролив Великая Кандалакшского залива Белого моря) / Т. Ю. Репкина, А. Е. Рыбалко, Я. Е. Терехина, П. Г. Михайлюкова, И. И. Середа, М. А. Соловьева, А. К. Потемка, А. М. Токарев, М. Ю. Токарев, А. И. Исаченко, Н. В. Шабалин // Океанология. — 2022. — Т. 62, № 3. — С. 451–465.
56. Рыбалко А. Е., Журавлев В. А., Семенова Л. Р. и др. Четвертичные отложения Белого моря и история развития современного Беломорского бассейна в позднем неоплейстоцене — голоцене / А. Е. Рыбалко, В. А. Журавлев, Л. Р. Семенова, М. Ю. Токарев // Система Белого моря. Т. IV. Процессы осадкообразования, геология и история. — М. : Научный мир, 2017. — С. 84–127.
57. Рыбалко А. Е., Спиридонов М. А., Кропачев Ю. П. и др. Обработка и интерпретация материалов локализации бокового обзора для определения вещественного состава поверхностных образований шельфа. Методические рекомендации / А. Е. Рыбалко, М. А. Спиридонов, Ю. П. Кропачев, П. Е. Москаленко, М. Г. Нечаев, Д. Ф. Такки, Ю. В. Хан. — Л. : ВСЕГЕИ, 1989. — 45 с.
58. Рыбалко А. Е., Спиридонов М. А., Спиридонова Е. А. и др. Четвертичные отложения Онежского залива и основные черты его палеогеографии в плейстоцене-голоцене / А. Е. Рыбалко, М. А. Спиридонов, Е. А. Спиридонова, П. Е. Москаленко // Комплексные морские геолого-геофизические исследования внутренних морей гляциальных шельфов. — Л. : ВСЕГЕИ, 1987. — С. 38–52.
59. Руденко Е. С. К вопросу о биохимическом газообразовании в подземном пространстве Санкт-Петербурга [Электронный ресурс] // Реконструкция городов и геотехническое строительство. Интернет-журнал. — 2000. — № 2. — URL: <https://georec.narod.ru/mag/2000n2/19/19.htm> (дата обращения: 18.12.2024).
60. Румянцева А. К., Буданов Л. М., Жамойда В. А. и др. Покмарки Копорского залива: новые данные по распространению и динамике / А. К. Румянцева, Л. М. Буданов, В. А. Жамойда, Д. С. Фатеев, Д. В. Дорохов, И. Ю. Дудков // Труды XIII Международной научно-практической конференции «Морские исследования и образование (MARESEDU-2024)». Т. IV. — Тверь : ООО «ПолиПРЕСС», 2024. — С. 151–157.
61. Сафьянов Г. А., Соловьева Г. Д. Геоморфология дна и берегов Белого моря // Вестник МГУ. Сер. 5. География. — 2005. — № 3. — С. 54–62.

62. Сергеев А. Ю., Жамойда В. А. Механизм образования диапиров реликтовых лагунных отложений на подводном склоне Куршской косы [Электронный ресурс] // Литология и полезные ископаемые. — 2017. — № 3. — С. 257–265. — URL: <https://doi.org/10.7868/S0024497X17030065> (дата обращения: 18.12.2024).
63. Скибина Л. Б., Бланкфельд К. С., Колянова И. Б. и др. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1 : 200 000. Издание второе. Серия Ильменская. Лист О-35-V (Кингисепп). Объяснительная записка [Электронный ресурс]. — М. : Московский филиал ФГБУ «ВСЕГЕИ», 2021. — URL: http://geo.mfvsegei.ru/200k/Zap/Zap_O-35-V.pdf (дата обращения: 18.12.2024).
64. Старовойтов А. В., Токарев М. Ю., Терехина Я. Е. и др. Строение осадочного чехла Кандалакшского залива Белого моря по данным сейсмоакустики / А. В. Старовойтов, М. Ю. Токарев, Я. Е. Терехина, Н. А. Козупица // Вестник МГУ. Сер. 4. Геология. — 2018. — № 2. — С. 91–92.
65. Токарев М. Ю., Полудеткина Е. Н., Старовойтов А. В. и др. Характеристика газонасыщенных отложений Кандалакшского залива Белого моря по данным сейсмоакустических и литолого-геохимических исследований / М. Ю. Токарев, Е. Н. Полудеткина, А. В. Старовойтов, А. С. Пирогова, С. П. Корост, А. Н. Ошкин, А. К. Потемка // Вестник МГУ. Сер. 4. Геология. — 2019. — № 1. — С. 107–114.
66. Ульянова М. О. Углеводородные газы в поверхностных донных осадках юго-восточной части Балтийского моря // Автореф. дис. канд. географ. наук. — Калининград, 2014. — 23 с.
67. ФГБУ «Администрация морских портов Балтийского моря» [Электронный ресурс]. — URL: https://www.pasp.ru/bolshoy_port_sankt-peterburg1 (дата обращения: 18.12.2024).
68. Хёфс И. Геохимия стабильных изотопов. — М. : Мир, 1983. — 197 с.
69. Шипилов Э. В., Шкарубо С. И., Ковальчук Е. А. Структура и литологический состав разреза отложений Кольского залива (фиорда) по данным бурения и сейсмоакустики и неотектонические условия его образования // Арктика: экология и экономика. — 2017. — № 4 (28). — С. 72–79.
70. Böttner C., Hoffmann J. J. L., Unverricht D. et al. The enigmatic pockmarks of the sandy southeastern North Sea [Electronic resource] / C. Böttner, J. J. L. Hoffmann, D. Unverricht, M. Schmidt, T. Spiegel, J. Geersen, T. H. Müller, J. Karstens, K. J. Andresen, L. Sander, J. S. von Deimling, C. Schmidt // *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*. — 2024. — Vol. 25. — URL: <https://doi.org/10.1029/2024GC011837> (accessed 18.12.2024).
71. Dorokhov D. V., Lugovoy N. N., Dorokhova E. V. et al. Morphology and origin of the palaeo cliff area in the Sambia Peninsula nearshore (SE Baltic Sea) [Electronic resource] / D. V. Dorokhov, N. N. Lugovoy, E. V. Dorokhova, L. M. Budanov, I. Y. Dudkov // *Quaternary International*. — 2022. — Vol. 630. — P. 17–33. — URL: <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2021.03.025> (accessed 18.12.2024).
72. Krek A., Danchenkov A., Mikhnevich G. Morphological and chemical features of submarine groundwater discharge zones in the south-eastern part of the Baltic Sea [Electronic resource] // *Russ. J. Earth. Sci.* — 2022. — Vol. 22, ES4003. — URL: <https://doi.org/10.2205/2021ES000776> (accessed 18.12.2024).
73. Murray C. J., Müller-Karulis B., Carstensen J. et al. Past, Present and Future Eutrophication Status of the Baltic Sea / C. J. Murray, B. Müller-Karulis, J. Carstensen, D. J. Conley, B. G. Gustafsson, J. H. Andersen // *Front. Mar. Sci.* — 2019. — Vol. 6. — DOI 10.3389/fmars.2019.00002.
74. Rybalko A. E., Zhuravlyov V. A., Semyonova L. R. et al. Development History and Quaternary Deposits of the White Sea Basin / A. E. Rybalko, V. A. Zhuravlyov, L. R. Semyonova, M. Yu. Tokarev // *Sedimentation Processes in the White Sea. The White Sea Environment Part II, The Handbook of Environmental Chemistry*. — Springer, 2018. — Vol. 82. — P. 135–165.
75. Söderberg P., Flodén T. Gas seepages, gas eruptions and degassing structures in the seafloor along the Strömme tectonic lineament in the crystalline Stockholm Archipelago, east Sweden // *Continental Shelf Research*. — 1992. — Vol. 12, iss. 10. — P. 1157–1171.
76. Ulyanova M., Sivkov V., Dorokhov D. Gas-bearing sediments distribution in the SE Baltic based on acoustical data // Abstracts of 10th International Conference in Marine Sediments. Listvyanka, Russia, 6–12 September 2010. — Irkutsk, 2010. — P. 83–84.
77. Zhamoida V., Grigoriev A., Ryabchuk D. et al. Ferromanganese concretions of the eastern Gulf of Finland — Environmental role and effects of submarine mining [Electronic resource] / V. Zhamoida, A. Grigoriev, D. Ryabchuk, A. Evdokimenko, A. T. Kotilainen, H. Vallius, A. M. Kaskela // *Journal of Marine Systems*. — 2017. — Vol. 172. — P. 178–187. — URL: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jmarsys.2017.03.009> (accessed 18.12.2024).

ФОНДОВАЯ

78. Жамойда В. А. и др. Отчет о результатах работ по объекту: «Государственный мониторинг состояния геологической среды прибрежно-шельфовой зоны Баренцева, Белого и Балтийского морей». Госконтракт № 03/10/60-12 от 17.05.2011. СПб., 2012.
79. Информационный бюллетень о состоянии недр прибрежно-шельфовой зоны Белого, Баренцева и Балтийского морей в 2020 году [Электронный ресурс] // Геологический отчет о результатах работ за 2020 г. «Ведение наблюдений, сбор и обобщение качественных и количественных показателей состояния недр прибрежно-шельфовых зон Белого, Баренцева и Балтийского морей». Кн. 2. — СПб., 2020. — 112 с. — URL: <https://geomonitoring.ru/download/pshz/beloe2020.pdf> (дата обращения: 18.12.2024).
80. Отчет о результатах работ по договору 80/04/12: «Проведение государственного мониторинга состояния недр прибрежно-шельфовой зоны Кандалакшского залива Белого моря, северного прибрежного шельфа Кольского полуострова — район Териберка — Гремиха Баренцева моря и центрального сектора восточной части Финского залива Балтийского моря в связи с интенсивным хозяйственным освоением территории». ОАО Севморгео. Л., 2014.

ИНФОРМАЦИОННЫЙ БЮЛЛЕТЕНЬ
о состоянии недр прибрежно-шельфовых зон
Белого, Баренцева и Балтийского морей
Российской Федерации в 2024 г.

Редактор и корректор *А. А. Миндрик*
Техническое редактирование и верстка *А. С. Смирнова*

Обложка выполнена с использованием материалов
[wirestock] / [freepic.com](https://www.freepic.com)

Подписано к использованию 30.06.2025. Объем 1,92 Гб.
Заказ 90000170

Федеральное государственное бюджетное учреждение
«Всероссийский научно-исследовательский геологический
институт им. А. П. Карпинского» (ФГБУ «Институт Карпинского»)
199106, Санкт-Петербург, Средний пр., д. 74.
Тел. 328-90-90 (доб. 24-24, 23-23). E-mail: izdatel@karpinskyinstitute.ru

Записано на электронный носитель на Картографической фабрике Института Карпинского
199178, Санкт-Петербург, Средний пр., 72.
Тел. 328-91-90, 321-81-53. E-mail: karta@karpinskyinstitute.ru

ISBN 978-5-00266-055-1



9 785002 660551