



Всероссийский
научно-исследовательский
геологический институт
имени А. П. Карпинского



ИНФОРМАЦИОННЫЙ БЮЛЛЕТЕНЬ

о состоянии недр прибрежно-шельфовых зон
Белого, Баренцева и Балтийского морей
Российской Федерации в 2023 г.

Санкт-Петербург, 2024 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 2023 г.

УДК 502.175:502.7:551.351(268.45/.46+261.24)(055)
ББК 26.221+26.37(912+322)
И74

Авторы - составители

*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
(Институт Карпинского); Д. В. Дорохов (Институт океанологии РАН)*

Научный редактор *Б. И. Королев*

Информационный бюллетень о состоянии недр прибрежно-шельфовых зон Белого, Баренцева и Балтийского морей Российской Федерации в 2023 г. / И74 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. [Электронный ресурс] / Минприроды России, Роснедра, ФГБУ «Институт Карпинского». – Электрон. текстовые дан. – СПб. : Изд-во ФГБУ «Институт Карпинского», 2024. – 1 опт. диск (DVD-ROM) (178 Мб). – Систем. требования: Windows; Acrobat Reader от 10.0; дисковод DVD-ROM. – Загл. с экрана. – ISBN 978-5-00193-813-2.

В Бюллетене приводится оценка региональной активности опасных экзогенных геологических процессов (ЭГП) в прибрежно-шельфовых зонах Белого, Баренцева и Балтийского морей в 2023 г. на основе анализа данных полевых и лабораторных исследований по восьми площадным пунктам наблюдений, охватывающих Териберскую губу Баренцева моря, Кандалакшский залив Белого моря, а также восточную часть Финского залива и российский сектор юго-восточной части Балтийского моря. При работах применялся традиционный спектр геолого-геофизических методов работ на акватории. Установлены основные тенденции развития потенциально опасных экзогенных геологических процессов за истекший годовой период.

© Федеральное агентство по недропользованию,
2024

© ФГБУ «Институт Карпинского», 2024

© Коллектив авторов, 2024

© Издательство ФГБУ «Институт Карпинского»,
2024

ISBN 978-5-00193-813-2

ОГЛАВЛЕНИЕ

СПИСОК ПРИНЯТЫХ СОКРАЩЕНИЙ	4
ВВЕДЕНИЕ	5
1. ПРИБРЕЖНО-ШЕЛЬФОВАЯ ЗОНА БАЛТИЙСКОГО МОРЯ (РОССИЙСКАЯ ЧАСТЬ)	7
1.1. Прибрежно-шельфовая зона восточной (русской) части Финского залива	7
1.1.1. Общие сведения	7
1.1.2. Наблюдательная сеть и применяемые методы	10
1.1.3. Региональная активность опасных экзогенных геологических процессов в 2023 г.	17
1.1.4. Воздействие опасных экзогенных геологических процессов на хозяйственные объекты и рекомендации по снижению ущерба	64
1.2. Прибрежно-шельфовая зона Российской части юго-восточной части Балтийского моря	68
1.2.1. Общие сведения	68
1.2.2. Наблюдательная сеть и применяемые методы	72
1.2.3. Региональная активность опасных экзогенных геологических процессов в 2023 г.	72
1.2.4. Воздействия опасных экзогенных геологических процессов на хозяйственные объекты и рекомендации по снижению ущерба	72
2. ПРИБРЕЖНО-ШЕЛЬФОВАЯ ЗОНА БЕЛОГО МОРЯ	85
2.1. Общие сведения	85
2.2. Наблюдательная сеть и применяемые методы	88
2.3. Региональная активность опасных экзогенных геологических процессов в 2023 г.	91
2.4. Воздействие опасных экзогенных геологических процессов на хозяйственные объ- екты и рекомендации по снижению ущерба	99
3. ПРИБРЕЖНО-ШЕЛЬФОВАЯ ЗОНА РОССИЙСКОЙ ЧАСТИ БАРЕНЦЕВА МОРЯ	101
3.1. Общие сведения	101
3.2. Наблюдательная сеть и применяемые методы	104
3.3. Региональная активность опасных экзогенных геологических процессов в 2023 г.	104
3.4. Воздействие опасных экзогенных геологических процессов на хозяйственные объ- екты и рекомендации по снижению ущерба	114
4. ПРОГНОЗ РАЗВИТИЯ ОПАСНЫХ ЭКЗОГЕННЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРО- ЦЕССОВ НА 2024 г. И ОПРАВДЫВАЕМОСТЬ ПРОГНОЗА	115
4.1. Методика составления прогноза	115
4.2. Прогноз развития экзогенных геологических процессов в прибрежно-шельфовой зоне Балтийского моря на 2024 г.	115
4.2.1. Прогноз развития экзогенных геологических процессов в прибрежно-шельфо- вой зоне восточной части Финского залива Балтийского моря на 2024 г.	115
4.2.2. Прогноз развития экзогенных геологических процессов в прибрежно-шельфо- вой зоне Российской части юго-восточной части Балтийского моря на 2024 г. ..	119
4.3. Прогноз развития экзогенных геологических процессов в прибрежно-шельфовой зоне Белого моря на 2024 г.	120
4.4. Прогноз развития экзогенных геологических процессов в прибрежно-шельфовой зоне Баренцева моря (Губа Терiberская) на 2024 г.	120
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	121
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	124

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
- МГУ – Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова
- МЛСП – морская ледостойкая стационарная платформа
- ММП – многолетнемерзлые породы (многолетняя мерзлота)
- МЭ – многолучевое эхолотирование
- НСАП – непрерывное сейсмоакустическое профилирование
- ПР – профиль
- ОВ – органическое вещество
- РОВ – растворенное органическое вещество
- СПГ – сжиженный природный газ
- т.н. – точка наблюдения
- ст. – станция наблюдения
- ФГБУ – Федеральное государственное бюджетное учреждение
- ЭГП – экзогенные геологические процессы

ВВЕДЕНИЕ

Необходимость и актуальность проведения Государственного мониторинга состояния недр (ГМСН) в прибрежно-шельфовых зонах морей Северо-Запада Российской Федерации с целью оценки современного состояния экзогенных геологических процессов (ЭГП) и прогноза его изменения определяется прежде всего исключительно высоким уровнем освоения этих зон. К основным типам техногенного преобразования геологической среды относятся дноуглубление в пределах существующих и строящихся портов, фарватеров-подходов к этим портам, а также противоположный процесс – дампинг, в ходе которого массы грунта, извлеченные при дноуглублении, сбрасываются на дно моря, формируя подводные возвышенности, обычно легко разрушающиеся под влиянием течений. Дноуглубление и дампинг особенно интенсивно осуществляются в Балтийском и, отчасти, в Белом морях. Эта деятельность в совокупности со строительством в береговой зоне различного рода гидротехнических сооружений (портовые терминалы и причалы, берегозащитные сооружения, намывные искусственные острова, всевозможные дамбы, путепроводы, ряжевые преграды и т. д.) принципиально меняют (нарушают) естественные лито- и морфодинамические процессы, коренным образом трансформируя рельеф дна, изменяя направление и емкость потоков наносов и характер распределения донных осадков, т. е. локально, но существенно воздействуя на состояние недр (геологической среды). В восточной части Финского залива и в российской части юго-восточной Балтики, как правило, за пределами береговой зоны к этому добавляется подводная добыча полезных ископаемых (строительные пески, песчано-гравийные смеси, железомарганцевые конкреции, янтарь), также приводящая к кардинальным изменениям рельефа дна. Расширение объемов добычи нефти в прибрежно-шельфовой зоне, примыкающей к Калининградской области, потенциально может послужить причиной сейсмических событий, в свою очередь провоцирующих активизацию экзогенных геологических процессов. Площадной характер нарушений поверхности донных грунтов и приповерхностного геологического разреза происходит в пределах якорных стоянок, что хорошо видно на записях гидролокации бокового обзора, и на участках донного траления рыбы. 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 материальным потерям добавляется еще экологический ущерб. Таким образом, можно констатировать, что хотя развитие экзогенных геологических процессов в прибрежно-шельфовых зонах Балтийского, Белого и Баренцева морей не является особенно активным или катастрофическим, но возрастающая степень использования их недр обуславливает и потенциальный рост опасности проявлений ЭГП.

ЭГП гравитационного типа в прибрежно-шельфовых зонах Балтийского, Белого и Баренцева морей развиты достаточно широко. Это подводные оползни (в Кольском заливе Баренцева моря, в Кандалакшском заливе Белого моря, на подводном продолжении Кургальского рифа и на склонах подводных террас в Финском заливе, на склонах Гданьской впадины Балтийского моря); обвальные процессы (во фиордах и фиардах, а также по периферии подводного склона Кольского полуострова в Баренцевом море, в том числе в губе Териберская), на подводной периферии Самбийского полуострова в зоне подводных клифов (выходы осадочных пород палеогена и верхнего мела), маркирующих древние береговые линии Балтийского моря) и т. д.

Активизация подводных оползней может происходить за счет самых различных процессов, как естественных, в частности абразии и сейсмической активности, так и техногенного воздействия. В настоящее время можно с уверенностью сказать, что комплексный техногенез как фактор, являющийся триггером активизации ЭГП, по интенсивности и частоте воздействия стал сопоставим с природными явлениями.

Угрозу подводным коммуникациям и гидротехническим сооружениям наряду с гравитационными экзогенными геологическими процессами несут также донный размыв и береговая абразия, а также процессы, связанные с седиментацией, в том числе динамичной (как в Горле Белого моря или устье Северной

Двины) создающие проблемы навигации, но они в настоящий момент классифицируются как гидрологические и поэтому исключены из состава ЭГП.

Значимой активностью, особенно в прибрежно-шельфовых зонах Балтийского моря, характеризуются процессы подводной газово-флюидной разгрузки. Особенно широко распространены зоны развития газонасыщенных отложений, с которыми в Финском заливе связаны и линейные просадки в виде пологих подводных ложбин. На основании изотопного анализа установлено, что газ (преимущественно метан) имеет биогенный генезис, т. е. образуется преимущественно в современных донных отложениях за счет переработки органического вещества. В связи с этим можно ожидать, что в результате глобального потепления объемы метана и его гомологов в донных отложениях будут только увеличиваться, соответственно увеличиваться будет и площадь развития газонасыщенных грунтов. Они выявлены в различных районах Финского залива и на склонах Гданьской впадины в Юго-Восточной Балтике. Распространение покмарков, связанных с выходами газа, выявлено на шельфе Баренцева моря. Подводные выходы подземных вод установлены в Онежском заливе Белого моря, в прибрежной зоне Самбийского полуострова и Куршской косы в Юго-Восточной Балтике, в Копорской губе Финского залива. В Балтийском море, в районах, прилегающих к Куршской косе, установлены проявления «глинистого диапиризма»: современные – в Куршском заливе и реликтовые – со стороны открытого моря.

Мониторинг ЭГП в морских условиях довольно специфичен, что обусловлено невозможностью оперативного визуального наблюдения за их конкретными проявлениями. Использование многолучевого эхолотирования (МЭ) позволяет частично решить эту проблему за счет получения количественных показателей подводных перемещений масс горных пород и отложений с применением геодезических съемок высокого разрешения в режиме мониторинга участков морского дна, где выявлены те или иные проявления гравитационных ЭГП. Однако крайне высокая стоимость такого рода работ позволяет использовать их только на очень ограниченной площади.

Тем не менее многолетний опыт работ в пунктах наблюдения Белого, Баренцева и Балтийского морей показывает, что традиционные методы морской геологии, используемые при геологической съемке шельфа: гидролокация бокового обзора (ГЛБО) и непрерывное сейсмоакустическое профилирование (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 газово-флюидных разгрузок. Это в свою очередь позволяет осуществлять на основе экспертных оценок 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 Российского сектора юго-восточной части Балтийского моря характеризуются разнообразием проявления ЭГП. По причине высокого уровня освоения дна акватории на ряде участков развитие ЭГП может создавать неблагоприятные условия для той или иной сферы деятельности.

1.1. Прибрежно-шельфовая зона восточной (российской) части Финского залива

1.1.1. Общие сведения

Общая площадь восточной (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 примерно 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 («дамбы»), превратилась в природно-техногенную лагуну. Площадь Невской губы достигает 320 км² при длине 25 км и ширине 15 км.

Восточная часть Финского залива изобилует островами, особенно в районе Выборгских шхер, где их бесконечное множество: Крепыш, Игривый, Верховой, Тюлень, Еловый, Буян, Новик, Маячный, Песчаный и т. д. К Выборгскому заливу примыкает и группа островов Березового архипелага. Наиболее крупные острова – Котлин, Гогланд, Сескар, Малый, Мощный, Большой Тютерс – расположены в осевой части залива. К списку внешних островов Финского залива относится и ряд малых островов, в основном скалистых или сложенных мореной: Родшер, Нерва, Соммерс, острова Виргины, Кокор, Куров, Чайкин, Сонин и др. 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-й, 2-й, 3-й Южные форты, 4-й, 5-й, 6-й Северные форты и остров естественного происхождения Верперлуда. Глубины в Финском заливе возрастают от вершины к устью, причем можно отметить каскадное увеличение с востока на запад и глубин депоцентров (бассейнов седиментации) нефелоидных алевропелитовых илов. Большая часть залива мелководна (средняя глубина – 38 м) с максимумом глубины 90 м к востоку от о. Гогланд, по данным Института Карпинского. Равнинный рельеф дна залива осложнен эрозионными, денудационными и аккумулятивными формами в основном ледникового, ледниково-водного и морского происхождения. В последние десятилетия степень расчленения рельефа возросла за счет интенсивного техногенеза.

Самой крупной рекой, впадающей в Финский залив и определяющей его гидрологический режим, является Нева, средний многолетний годовой расход воды которой составляет 78,9–81,6 км³ [Гуделис, Емельянов, 1976; Ленинград..., 1981; Нежиховский, 1981]. Средние значения ежегодного стока взвешенных наносов составляют: р. Нева – 510,0–514,1 тыс. т, влекомых наносов – 65 тыс. т, ионного стока – 2870 тыс. т [Гуделис, Емельянов, 1976; Ленинград..., 1981]. Большое значение имеют 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 экзогенным геологическим процессам отнесены гравитационные (подводные оползни, обрушения), подводная разгрузка газов и образование просадок (в зонах развития газонасыщенных илов) и, в меньшей степени, подземных вод (рис. 2). Локально установлены подводные ложбины стока, которые с некоторым допущением могут рассматриваться как формы рельефа дна,

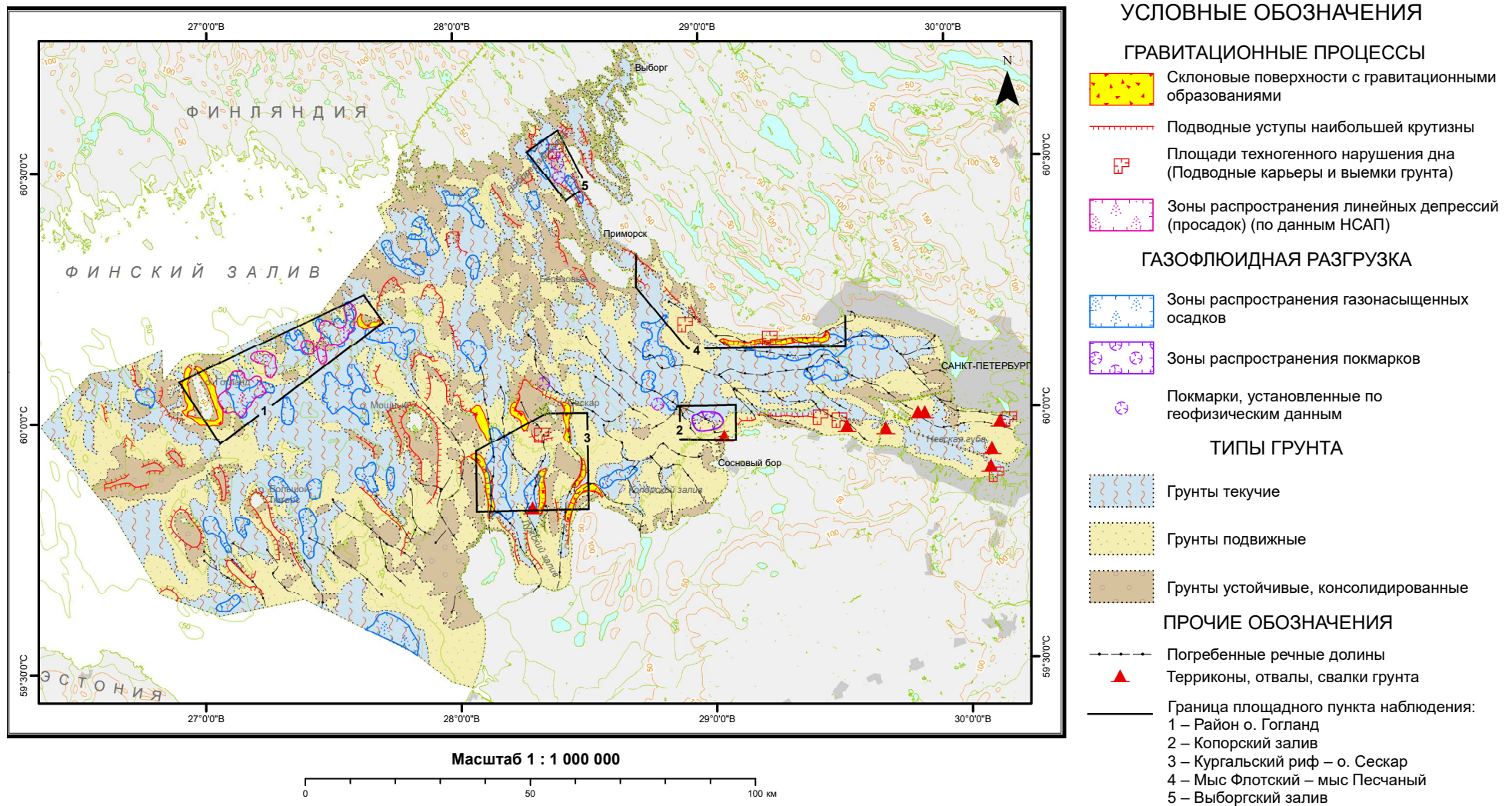


Рис. 2. Карта проявлений опасных ЭГП в прибрежно-шельфовой зоне Финского залива Балтийского моря

Таблица 1

**Площадь распространения различных типов грунтов
(км²/ % от общей площади) в пунктах наблюдения восточной части Финского залива**

Тип грунтов	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>4633</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	11 656

образованные за счет линейно проявленного оплывания осадков (слампинг).

Гравитационные процессы (подводные оползни и осыпи) чаще всего проявляются в пределах склонов крутизной более 5°. Такие параметры фиксируются по данным НСАПа в условиях Финского залива в основном у широко распространенных здесь затопленных моренных гряд и редких положительных форм флювиогляциального генезиса (озы). Наряду с крутизной склонов вероятность проявления гравитационных ЭПП определяется типом донных грунтов. В табл. 1 приведены данные по площади распространения текучих (илы), подвижных (пески) и устойчивых (выходы неоплейстоценовых отложений, валунные отмокты) грунтов. В связи с этим чаще 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 (фарватеры, карьеры по добыче песка и песчано-гравийной смеси, подводные свалки грунта).

Общая площадь зон потенциального развития гравитационных склоновых процессов, уточненная в 2023 г. по результатам анализа совокупности доступной геолого-геофизической информации, в пределах восточной (русской) части Финского залива составляет 157 км² или 1,3% общей площади.

По данным НСАП, в пределах восточной части Финского залива выявлено более 200 полей проявления газонасыщенных осадков, создающих акустические аномалии. Площадь распространения газонасыщенных осадков в восточной части Финского залива, по уточненным

в 2023 г. данным, составляет 648 км² или 5,6% от общей площади поверхности дна. При работах 2019–2023 гг. было установлено, что кровля слоя газонасыщенных отложений может залегать на достаточно большой глубине по разрезу вплоть до нижнеголоценовых отложений. Такая картина наблюдалась практически во всех пунктах наблюдения.

1.1.2. Наблюдательная сеть и применяемые методы

Морские мониторинговые геолого-геофизические работы в восточной части Финского залива выполняются в пяти пунктах наблюдений: «Район о-ва Гогланд», «Копорский залив», «Кургальский риф – о-в Сескар», «мыс Флотский – мыс Песчаный», «Выборгский залив». В ходе мониторинга состояния недр (рис. 3) создана база данных площадной геофизической информации (мозаики гидролокации бокового обзора (ГЛБО), многолучевое эхолотирование, сеть профилей непрерывного сейсмоакустического профилирования (НСАП) по пунктам наблюдений [Информационный..., 2012–2019; 2023].

ГЛБО выполнялось с использованием сонара СМ-2 (С-МАХ, Великобритания) с рабочей частотой 325 КГц (дальность обзора 25–150 м, разрешающая способность составляет 10–30 см). Для проведения НСАП в пунктах наблюдения «мыс Флотский – мыс Песчаный», «Кургальский риф – о-в Сескар», «Выборгский залив», «Копорский залив» применялся параметрический профилограф SES-2000 контраст (производство Innomar, Германия). Использовалась частота зондирующего сигнала 12 кГц, что обеспечило разрешающую способность до 5 см. В пункте наблюдений «район острова Гогланд»

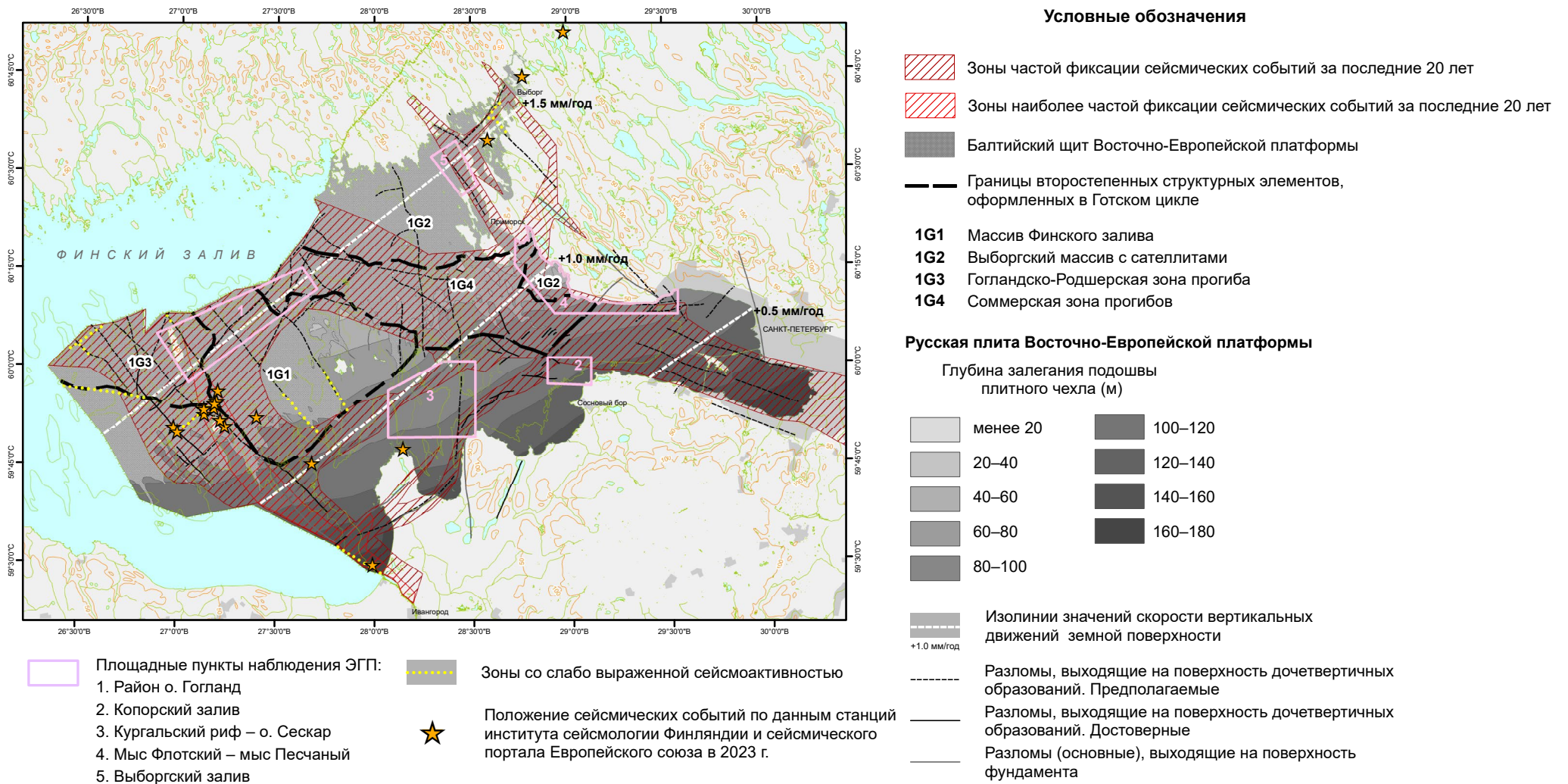


Рис. 3. Карта наблюдательной сети прибрежно-шельфовой зоны восточной части Финского залива Балтийского моря на тектонической основе

НСАП производилось с использованием профилографа Parasound P70 Teledyne Reson: первичная частота – 18–24 кГц, параметрическая – от 0,5 до 7,0 кГц, разрешающая способность – 0,15 м. Фототелепрофилирование выполнялось с помощью подводного дистанционно управляемого дрона Chasing M2 PRO MAX (КНР) и экшн-камеры Sony, закрепляемой на бокс-корере. Отбор проб грунтов производился с применением бокс-корера и герметичной грунтовой трубки (ГГТ) с пластиковым вкладышем.

1. Пункт наблюдений «Район о-ва Гогланд». В районе о. Гогланд при работах 2016–2023 гг. [Информационный..., 2017–2019; 2023] были установлены многочисленные зоны 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 (очевидно, следствие выпаивающего воз-

действия контурированных течений). Обнаружены округлые кратеры диаметром до 120 м, судя по косвенным признакам – послеледниковому возрасту. Происхождение кратеров, возможно, связано с деятельностью талых потоков. Контрастный (локально) рельеф дна, строение толщи четвертичных отложений и присутствие тектонических нарушений позволяет прогнозировать наличие здесь подводных оползней. В непосредственной близости от участка проходит трасса газопровода «Нордстрим-1».

Основными задачами работ в 2023 г. в пункте наблюдений «район о-ва 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, проведено 60 км НСАП (рис. 4). Поля газонасыщенных отло-

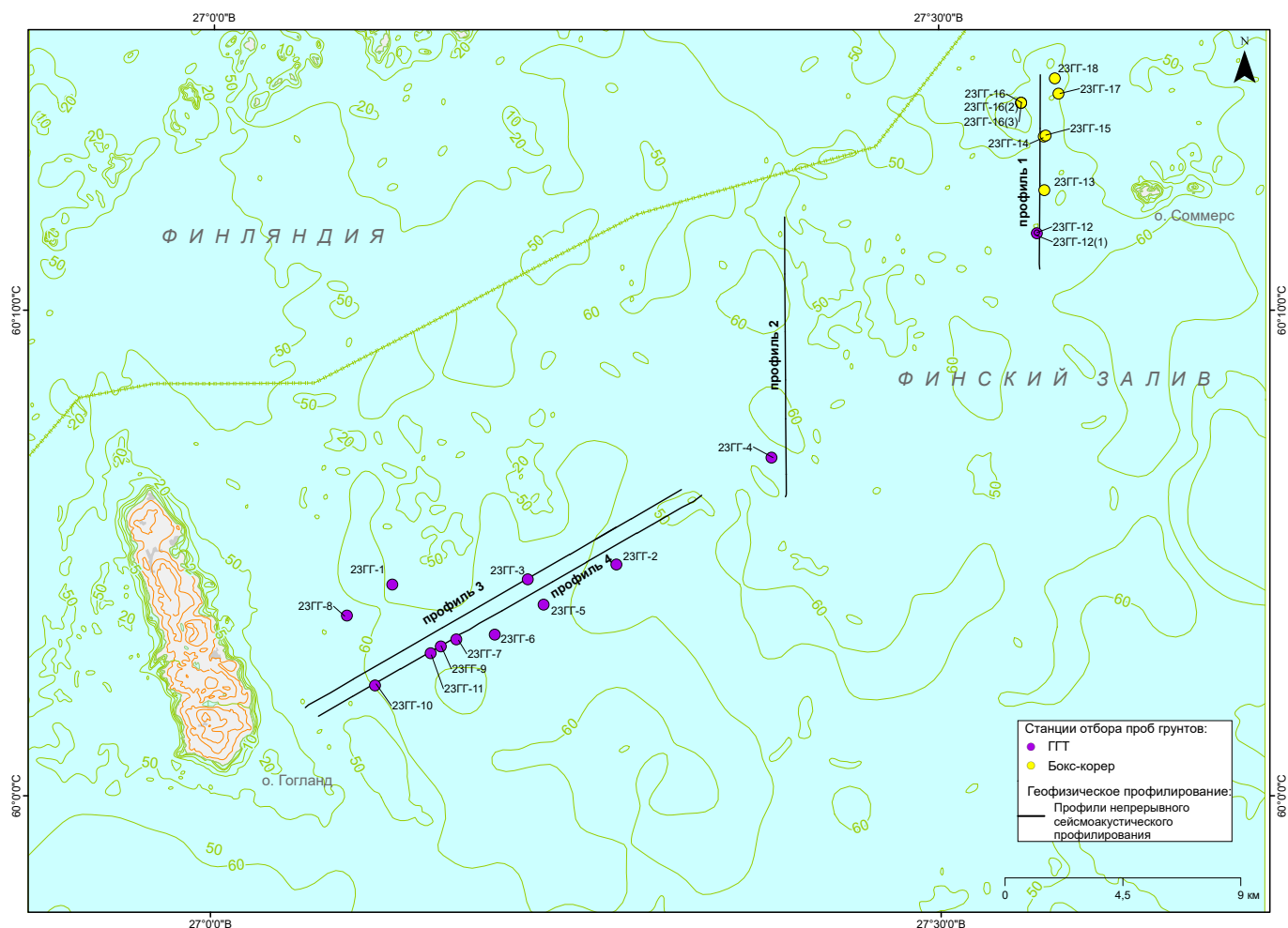


Рис. 4. Карта фактического материала полевых геолого-геофизических работ в пункте наблюдений «район о-ва Гогланд» в 2023 г. Условные обозначения элементов топографической основы соответствуют знакам Эталонной базы изобразительных средств Госгеолкарты-200: https://vsegei.ru/ru/info/normdocs/ggk200/ebz_200_x01-08-01_160223.zip

жений (газофлюидная разгрузка) выявляются на профилях НСАП по акустическим окнам, обусловленным рассеиванием акустического сигнала большим количеством пузырьков газа в осадках. В отдельных случаях верхняя граница акустических аномалий, предположительно, совпадает с анциловыми глинами.

Отбор проб грунтов для определения газового и химического составов, а также проб морской воды частично проводился на станциях многолетних мониторинговых наблюдений, а частично – на основании оперативной интерпретации данных, полученных при проведении НСАП. Пробы грунтов отобраны на 16 станциях. Пробы на газ отбирались с использованием герметичной грунтовой трубки (ГГТ) из придонной воды, из поверхностных грунтов (0–7 см) и из забоя кернов (35–58 см).

2. Пункт наблюдений «Копорский залив». В пределах этого пункта наблюдений обнару-

жены более 250 стабильных (постоянно наблюдаемых на записях ГЛБО) и пульсирующих (выявляемых эпизодически) покмарков на небольшой площади, а также, предположительно, установлены тектонические нарушения и зоны трещиноватости, связанные с ними. Наиболее вероятной причиной появления покмарков на этом участке является разгрузка грунтовых вод, но из какого из водоносных горизонтов выяснить однозначно не удастся. В метане из донных грунтов, опробованных внутри покмарков, выявлено присутствие тяжелых изотопов углерода, более характерных для термогенного метана [Информационный..., 2012–2014]. Поле покмарков расположено в непосредственной близости от Ленинградской атомной электростанции. В задачи работ входит мониторинг динамики развития покмарков и выявление геохимических и гидрохимических аномалий, обусловленных проявлениями газофлюидной разгрузки.

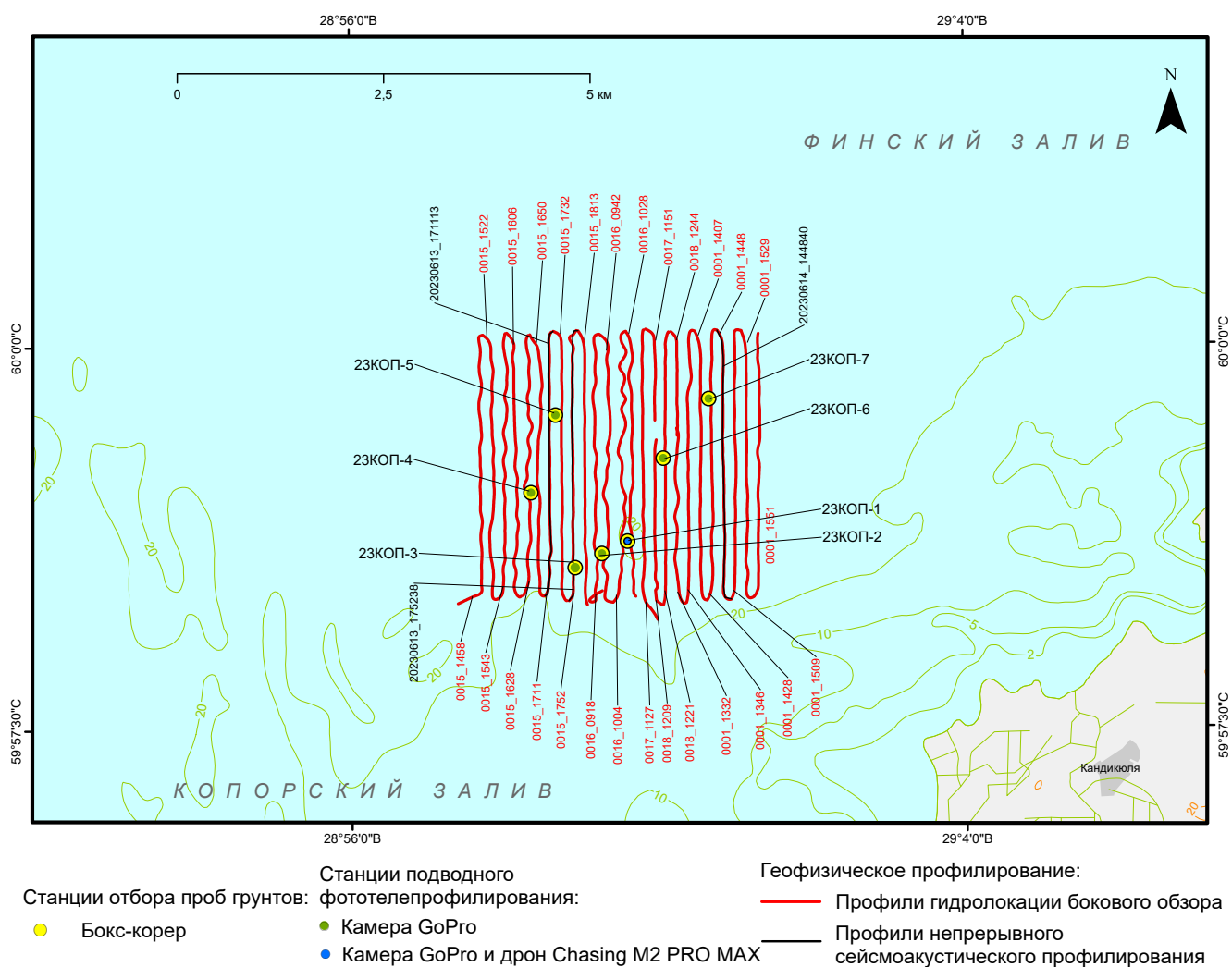


Рис. 5. Карта фактического материала полевых геолого-геофизических работ в пункте наблюдений «Копорский залив» в 2023 г.

В 2023 г. проведена площадная съемка ГЛБО (80 км) (рис. 5) на участке скопления покмарков, закартированных ранее (в 2012–2022 гг.). Пробоотбор выполнен бокс-корером на 7 станциях с отбором проб на определение газового и химического составов, также были отобраны пробы грунта для выделения поровой воды. На бокс-корер была установлена экстрим-камера для наблюдения за поверхностью дна.

3. Пункт наблюдения «Кургальский риф – о-в Сескар». В наиболее глубоководных частях пункта наблюдений выявлены поля газонасы-

щенных грунтов, пространственно совпадающих с древними погребенными долинами [Информационный..., 2023]. На восточном склоне банки Хитаматала обнаружены проявления естественных гравитационных процессов (серия подводных оползней) [Информационный..., 2017; 2018; 2019]. К югу от о. Сескар расположен подводный карьер по добыче песка, где полностью преобразован рельеф морского дна за счет формирования техногенных депрессий, а на выходе из Лужского залива к юго-западу от банки Селхематала свалка (отвал) грунта.

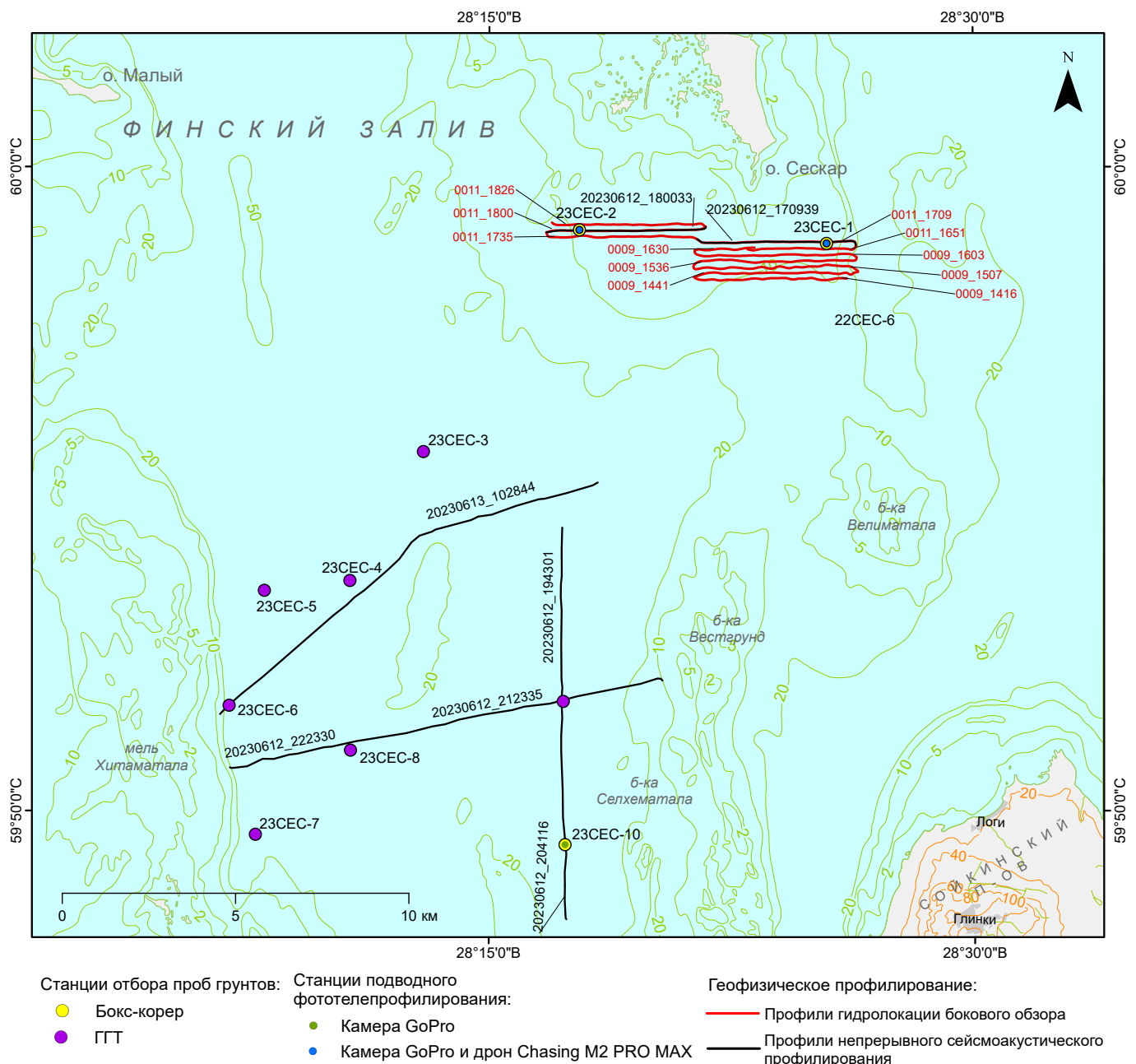


Рис. 6. Карта фактического материала полевых геолого-геофизических работ в пункте наблюдений «Кургальский риф – о-в Сескар» в 2023 г.

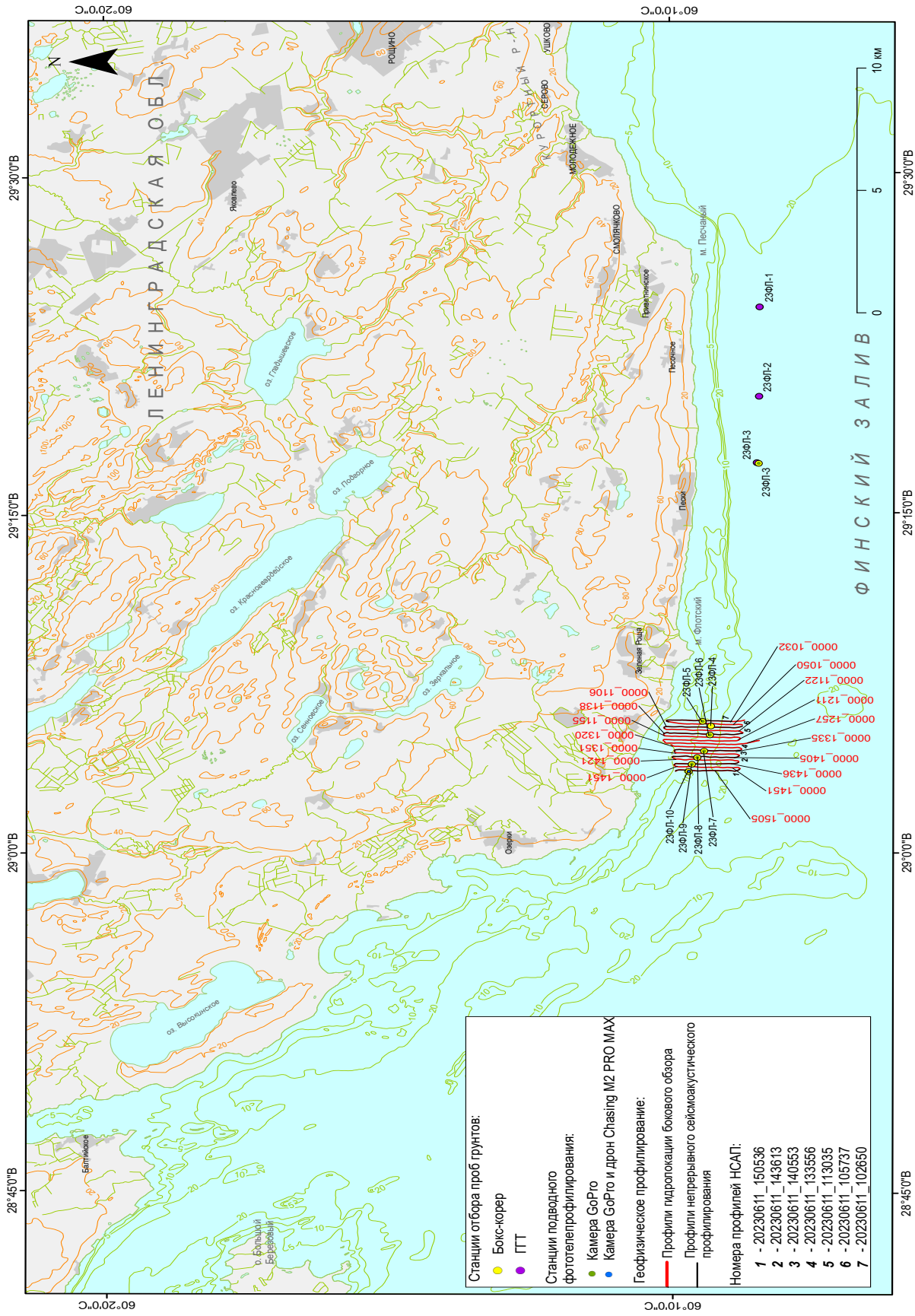


Рис. 7. Карта фактического материала полевых геолого-геофизических работ в пункте наблюдений «Мыс Флотский – мыс Песчаный» в 2023 г.

В 2023 г. для изучения распространенности газонасыщенных осадков и проявлений ЭГП, происходящих на склонах техногенной гряды грунтовой свалки, выполнено 40 км профилирования методом НСАП (рис. 6). Эти работы проведены вдоль предполагаемой погребенной палеодолины. Профилирование методом ГЛБО (40 км) выполнено к югу от о. Сескар в пределах подводной террасы на площади проведения добычи строительных песков, где

по причине изменения естественного рельефа морского дна активизированы малоамплитудные гравитационные ЭГП. Отбор грунтов для определения их газового и химического составов произведен с помощью ГГТ на 7 станциях (преимущественно мониторинговых) в районах распространения газонасыщенных грунтов на выходе из Лужского залива и бокс-корера на 2 станциях на участке добычи песков (месторождение «Южный Сескар») и на одной

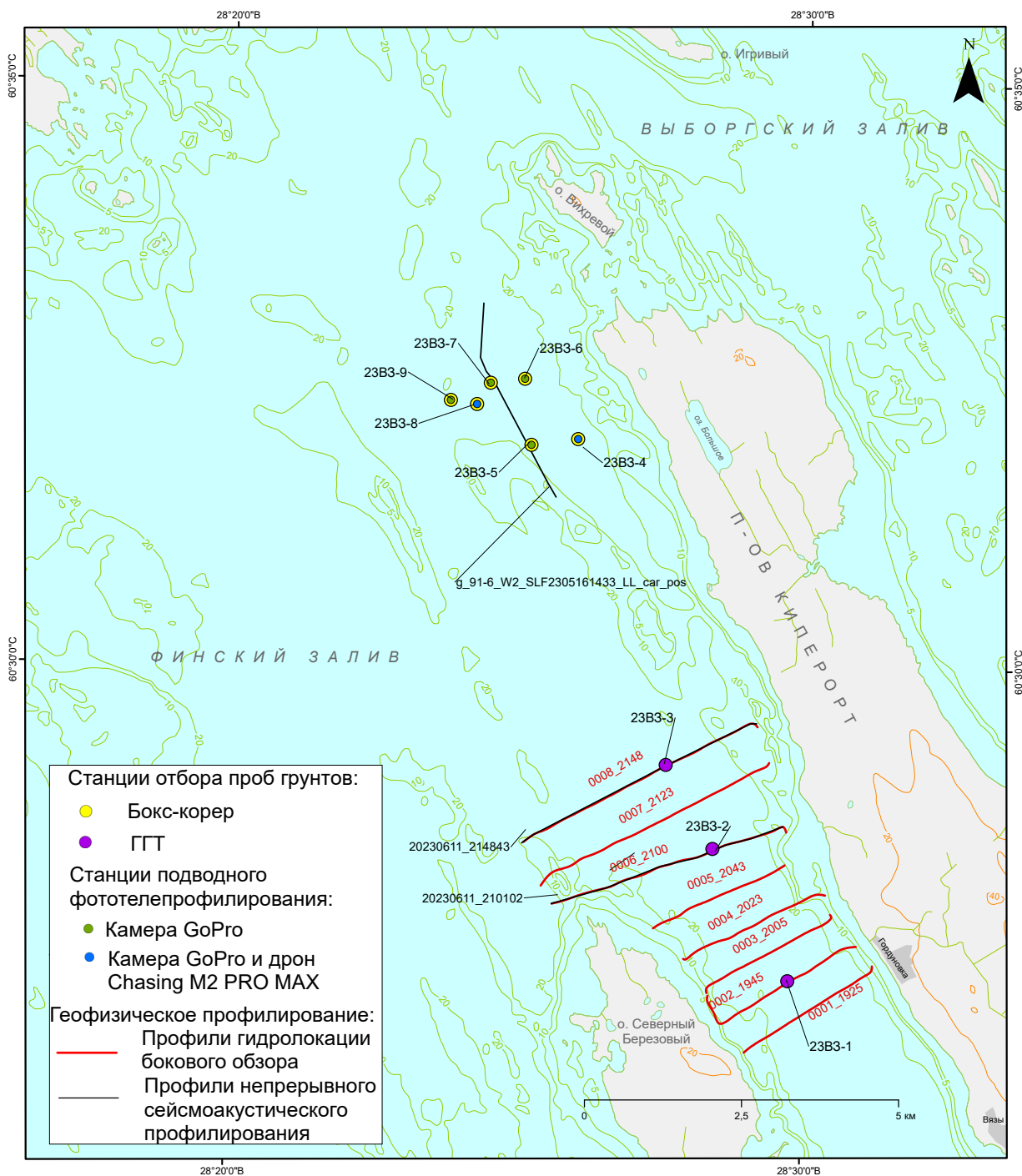


Рис. 8. Карта фактического материала полевых геолого-геофизических работ в пункте наблюдений «Выборгский залив» в 2023 г.

станции в районе свалки грунтов. На 2 станциях в подводном песчаном карьере выполнено фототелепрофилирование.

4. Пункт наблюдения «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 этой 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 2023 г. в результате профилирования НСАП (20 км) и ГЛБО (30 км) (рис. 7), закартированы следы техногенной активности (подводная добыча песка), провоцирующие активизацию ЭГП непосредственно на склоне подводной террасы. Пробоотбор грунтов в пределах пункта наблюдений выполнен на площади карьера (7 станций) и на 3 станциях мониторинга в зонах распространения газонасыщенных грунтов, развитых у подножья террасы.

5. Пункт наблюдения «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, существенно трансформировавшая природный донный рельеф и процессы седиментации. В локальных бассейнах нефеллоидной седиментации выявлено широкое распространение газонасыщенных грунтов.

В 2023 г. профилирование методами НСАП (20 км) и ГЛБО (40 км) было выполнено в целях картирования участков распространения газонасыщенных грунтов в прол. Бьёркезунд и изучения возможных проявлений гравитационных процессов на участках контрастного (ледникового) рельефа дна (рис. 8). Пробы грунтов отобраны на 9 станциях для определения газового, химического и гранулометрического состава. Станции расположены как в пределах выявленных полей газонасыщенных отложений, так на площади добычи ЖМК.

1.1.3. Региональная активность опасных экзогенных геологических процессов в 2023 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 на отдельных участках характеризуется интенсивно расчлененным рельефом морского дна с перепадами глубин от –5 до –35 м. В редких случаях подводные возвышенности (останцы) сложены прочными кристаллическими породами, иногда выходящими на поверхность дна (рис. 9, а). Но в подавляющем большинстве картируемые гряды и холмы относятся к ледниковым образованиям, в частности формирующим на морском дне конечно-моренные комплексы различных стадий оледенения (рис. 9, б; 10).

В центральной и южной частях залива, где четвертичные отложения подстилаются осадочными образованиями венда, рельеф дна несколько 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 достигая 23° (рис. 11). Морена представляет 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. 12, 13).

Активными гравитационными процессами характеризуются склоны подводных песчаных террас, окаймляющих как материковые берега Финского залива, так и некоторые острова в его осевой части, в частности о. Сескар. Достаточно детально эти террасы были изучены с использованием ГЛБО, НСАП и многолучевого эхолотирования в 2011–2019 г. [Информационный бюллетень..., 2012–2019; 2023]. К примеру размеры оползневых тел (конусов выноса), выявленных у подножия восточного склона подводной террасы мели Хитаматала (подводное продолжение Кургальского рифа), достигают 200–250 м на 130–140 м [Информационный бюллетень..., 2014; 2023]. Относительно крутыми склонами характеризуются банки Селхематала, Вестгрунд и Велиматала. На северо-восточном склоне банки Велиматала на записях ГЛБО выявлена система узких протяженных полос – вероятно, это следствие процессов гравитационного оплывания осадков (слампинга) (рис. 14).

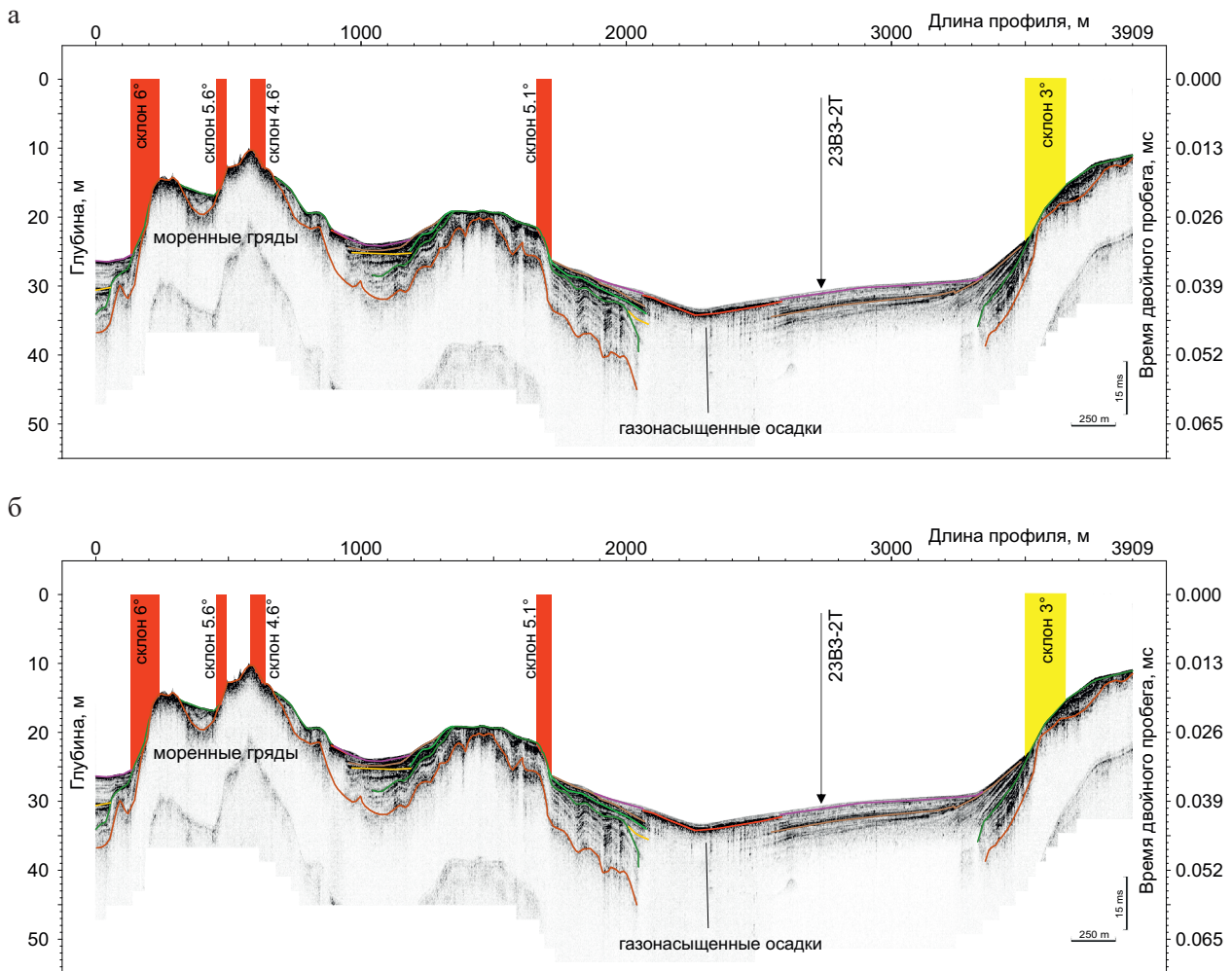


Рис. 9. Профили НСАП, пересекающие поля газонасыщенных илов и зоны контрастного рельефа в пункте наблюдений «Выборгский залив»

а – 20230611_214843; *б* – 20230611_210102

В восточной части Финского залива существенная, хотя и относительно локальная, трансформация геологической среды (рельефа, распределения грунтов), способная привести к активизации малоамплитудных гравитационных ЭГП, происходит при подводной добыче строительных песков и песчано-гравийных смесей (ПГС). В 2009 г. на Государственном балансе или выведенными за баланс числились 22 подводных месторождения строительных песков, ПГС и валунов [Атлас..., 2010]. В Государственном кадастре месторождений и проявлений полезных ископаемых Российского Федерального геологического фонда в 2023 г. в восточной части Финского залива числятся действующие паспорта следующих месторождений строительных песков, гравийно-песчаного и гравийно-галечного материала: Банка Похьякиви, Банка Розовая, Банка Тервахартиала, Большой Березовый остров, Копорская губа, Кургальский риф, Ломоносовская отмель, Лондонская отмель, мыс Песчаный – мыс Флотский, мыс

Стирсудден – мыс Кюринниemi, мыс Флотский – мыс Стирсудден, Сескар, Сестрорецкое, Стирсудденские банки, Темная Лода, Югантовское [<https://rfgf.ru/gkm/>]. В 2017 г. разрабатывалось шесть месторождений из вышеперечисленных [Жигульский, 2017]. Средняя ежегодная добыча составляла около 3 млн м³. Сколько месторождений разрабатывается в 2023 г. выяснить через открытые источники не удалось. Общий объем добытых песков и ПГС ориентировочно составляет 140–160 млн м³ [Атлас..., 2010].

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

Подводная терраса о. Рифовый – мыс Флотский – мыс Песчаный вытянута в субширотном направлении на 24 км, ширина ее составляет от 800 до 2300 м. В ее восточной части площадка

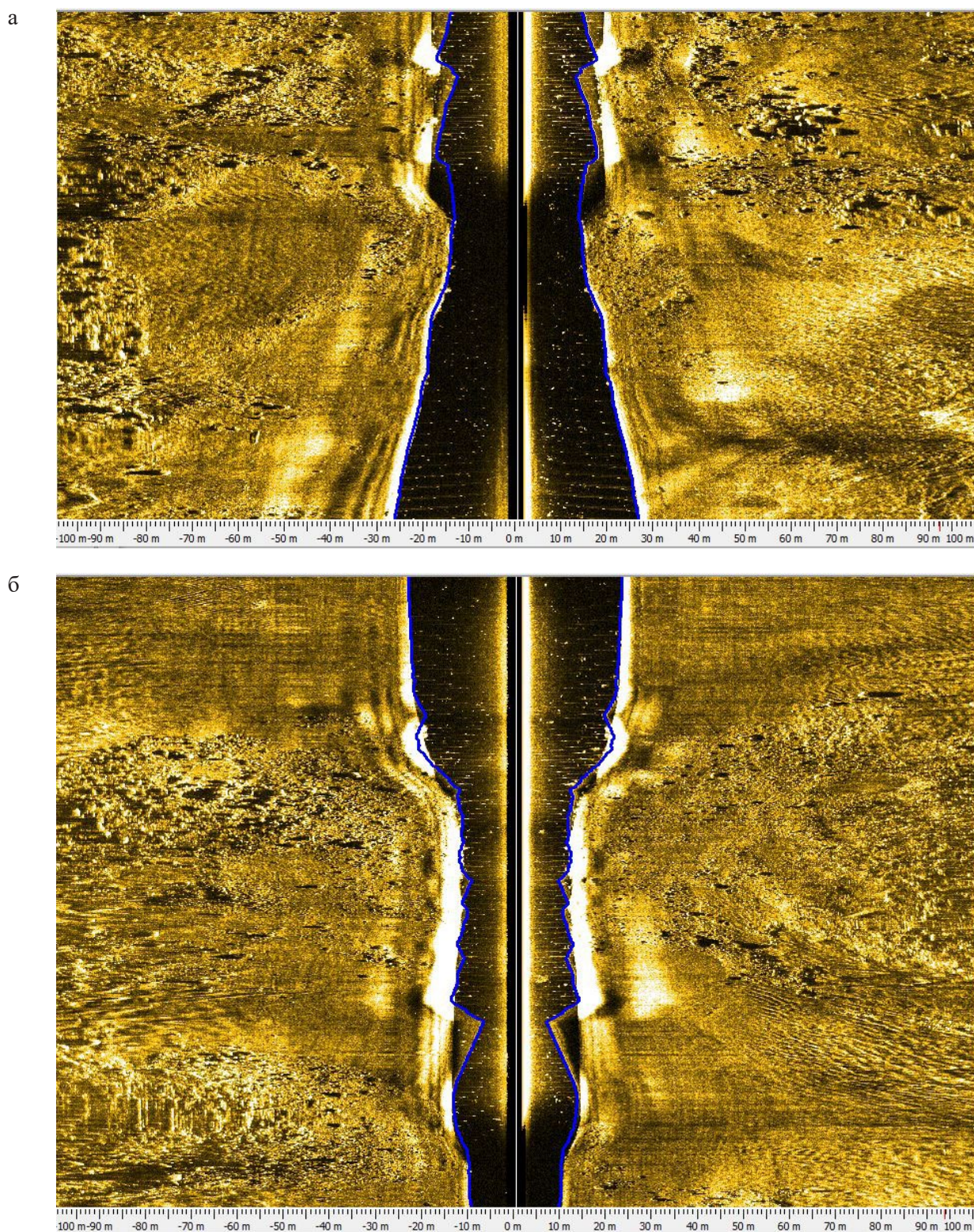
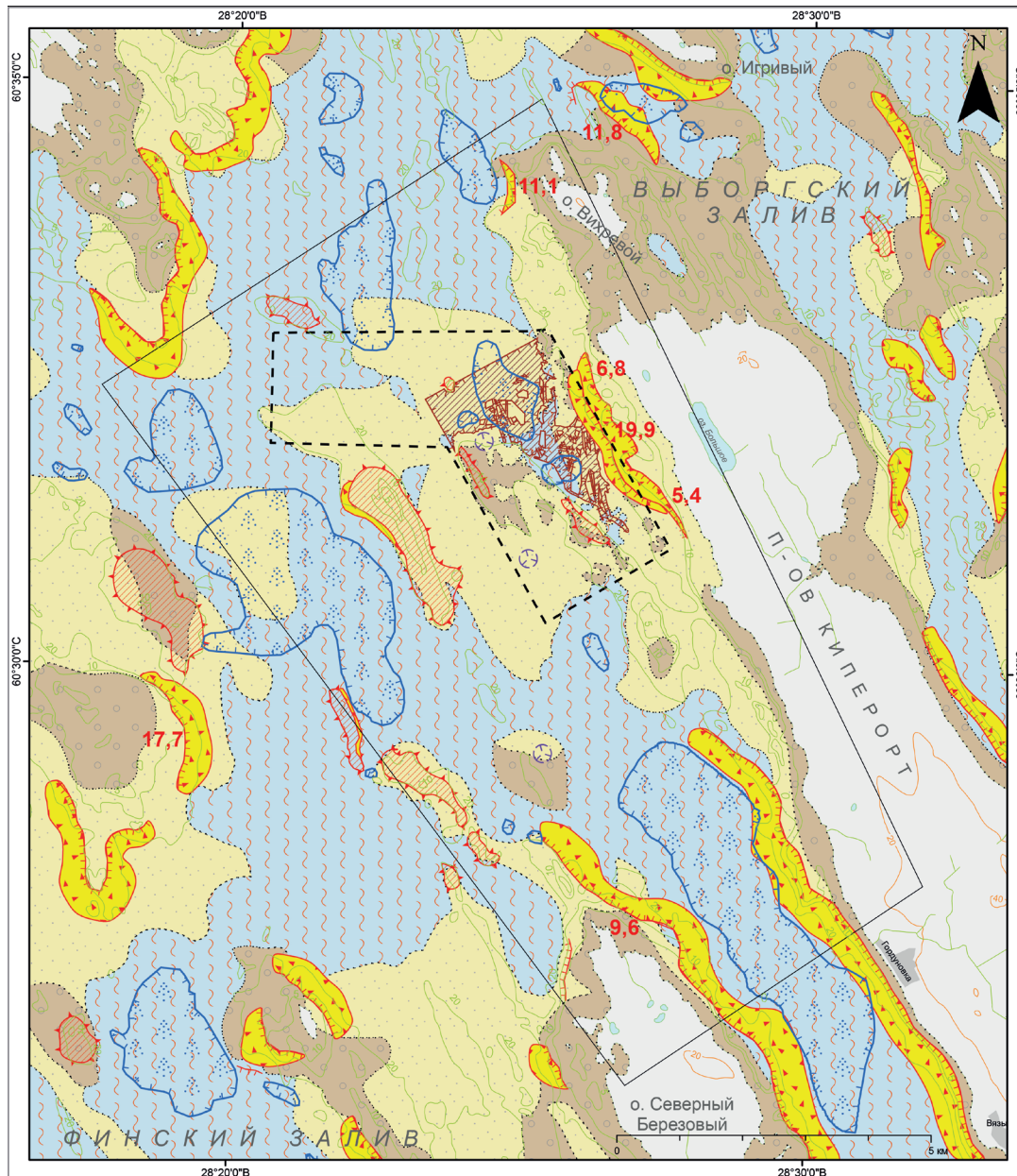





Рис. 10. Контрастный рельеф дна в прибрежной зоне пролива Бьёркезунд – моренные гряды с многочисленными россыпями крупных валунов. Фрагменты профилей ГЛБО

а – 0008_2148; *б* – 0006_2100





УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ




ГРАВИТАЦИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ

-  Склоновые поверхности с гравитационными образованиями
-  Подводные изолированные возвышенности со склонами наибольшей крутизны
-  Подводные уступы наибольшей крутизны (углы наклона указаны по данным с НСАП)

ГАЗОФЛЮИДНАЯ РАЗГРУЗКА

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

ТИПЫ ГРУНТА

-  Грунты подвижные
-  Грунты текучие
-  Грунты устойчивые, консолидированные

ПРОЧИЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ




-  Площади техногенного нарушения дна (подводные карьеры, следы добычи)
-  Граница площадного пункта наблюдения (на карте-врезке)
-  Граница участка детального изучения

Рис. 11. Карта проявлений опасных ЭГП в пункте наблюдений «Выборгский залив»

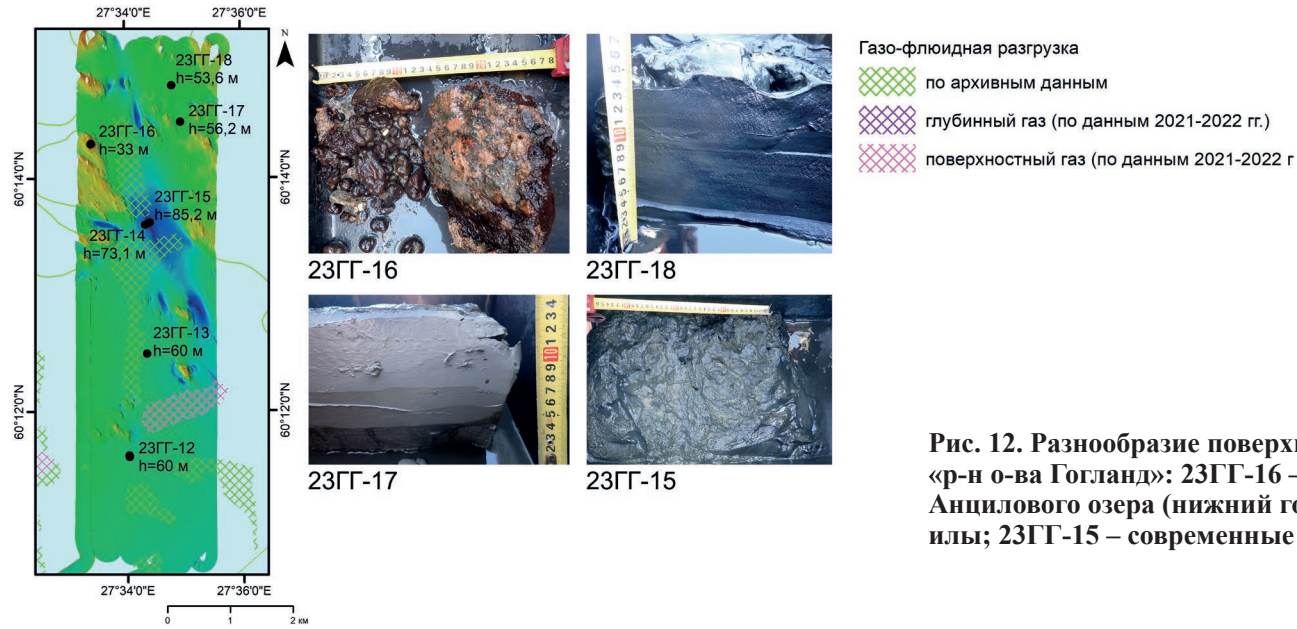


Рис. 12. Разнообразие поверхностных донных отложений в пункте наблюдений «р-н о-ва Гогланд»: 23ГГ-16 – размываемая морена; 23ГГ-17 – глины Анцилового озера (нижний голоцен); 23ГГ-18 – современные алевропелитовые илы; 23ГГ-15 – современные газонасыщенные алевропелитовые илы

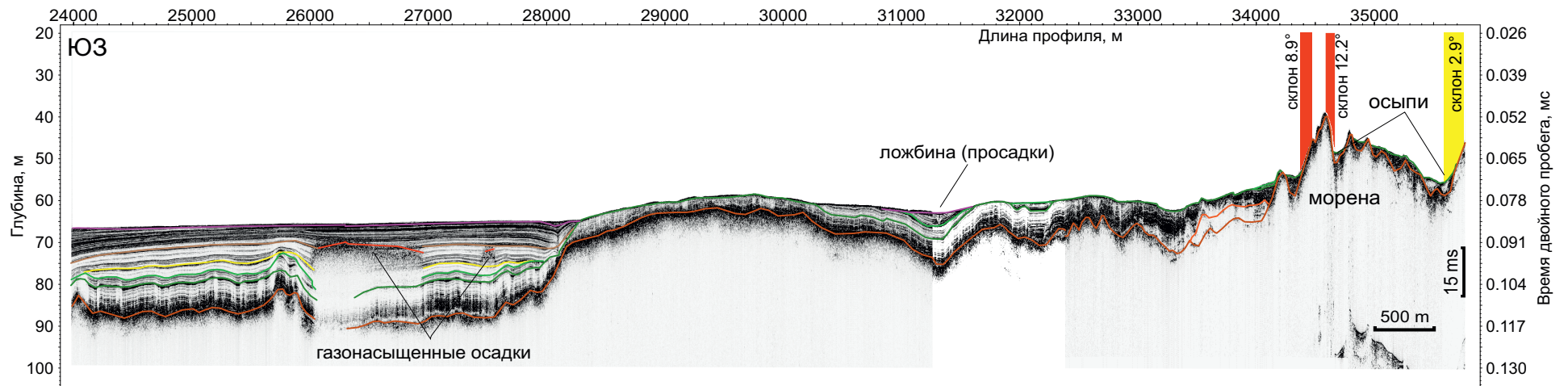


Рис. 13. Фрагмент профиля 3 НСАП, пересекающий поля газонасыщенных илов и зоны контрастного рельефа в пункте наблюдений «р-н о-ва Гогланд»

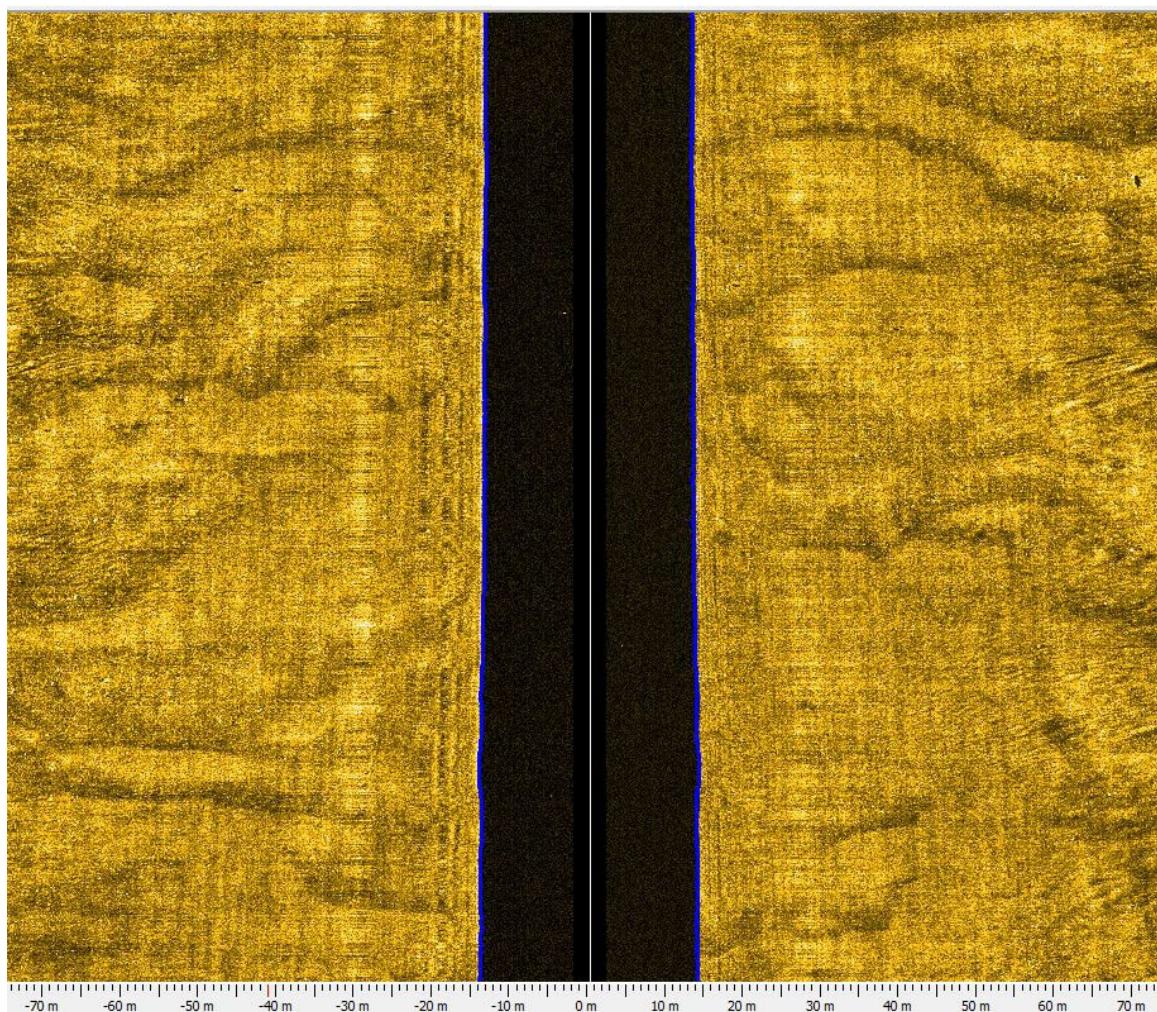


Рис. 14. Фрагмент профиля ГЛБО (0014_1210) на северо-восточном склоне банки Велиматала

террасы лежит на глубине -10 м, подножие расположено на -18 м. В западной (к востоку от мыса Флотский) части террасы батиметрическое положение ее площадки не изменяется, а подножие склона опускается на глубины от -20 до -25 м. Уступ, ограничивающий террасу со стороны моря, имеет уклон $6-7^\circ$, максимально до 11° . В 2023 г. была обследована наиболее западная часть террасы, где подводный карьер по добыче песка частично расположен на склоне террасы (рис. 7). Как следствие техногенного воздействия, в результате гравитационных ЭГП, в условиях дефицита песчаных наносов происходит разрушение склона подводной вдольбереговой террасы (рис. 15, б), что в конечном итоге может привести к деградации берегов на этом участке.

В пределах подводного карьера отмечают неупорядоченные формы донного рельефа, первоначально образованные в результате подводной добычи строительных песков и после-

дующего наложения природных экзогенных гравитационных процессов (рис. 15, 16, 17).

Донный пробоотбор в пределах техногенных депрессий и их склонов показал существенную неоднородность распределения грунтов, что свидетельствует о значительном разнообразии фациальных условий. На глубинах моря от $12,0$ до $15,7$ м осадки представлены песками от несортированных отмытых крупнозернистых с гравием и галькой на поверхности террасы (рис. 15, б, 18, а, б) до среднезернистых с единичными включениями гравийных зерен на склоне техногенной ложбины (рис. 15, а, 18, в, г). В этой части подводного карьера происходит оползание стенок в результате гравитационных ЭГП, спровоцированных волновой деятельностью.

На глубинах моря от $20,9$ до $22,0$ м в техногенных депрессиях отложения представлены алевропелитами от зеленовато-серых до черных текуче-пластичных (рис. 19, 20), т. е. происходит заиление депрессий. Очевидно, что действие

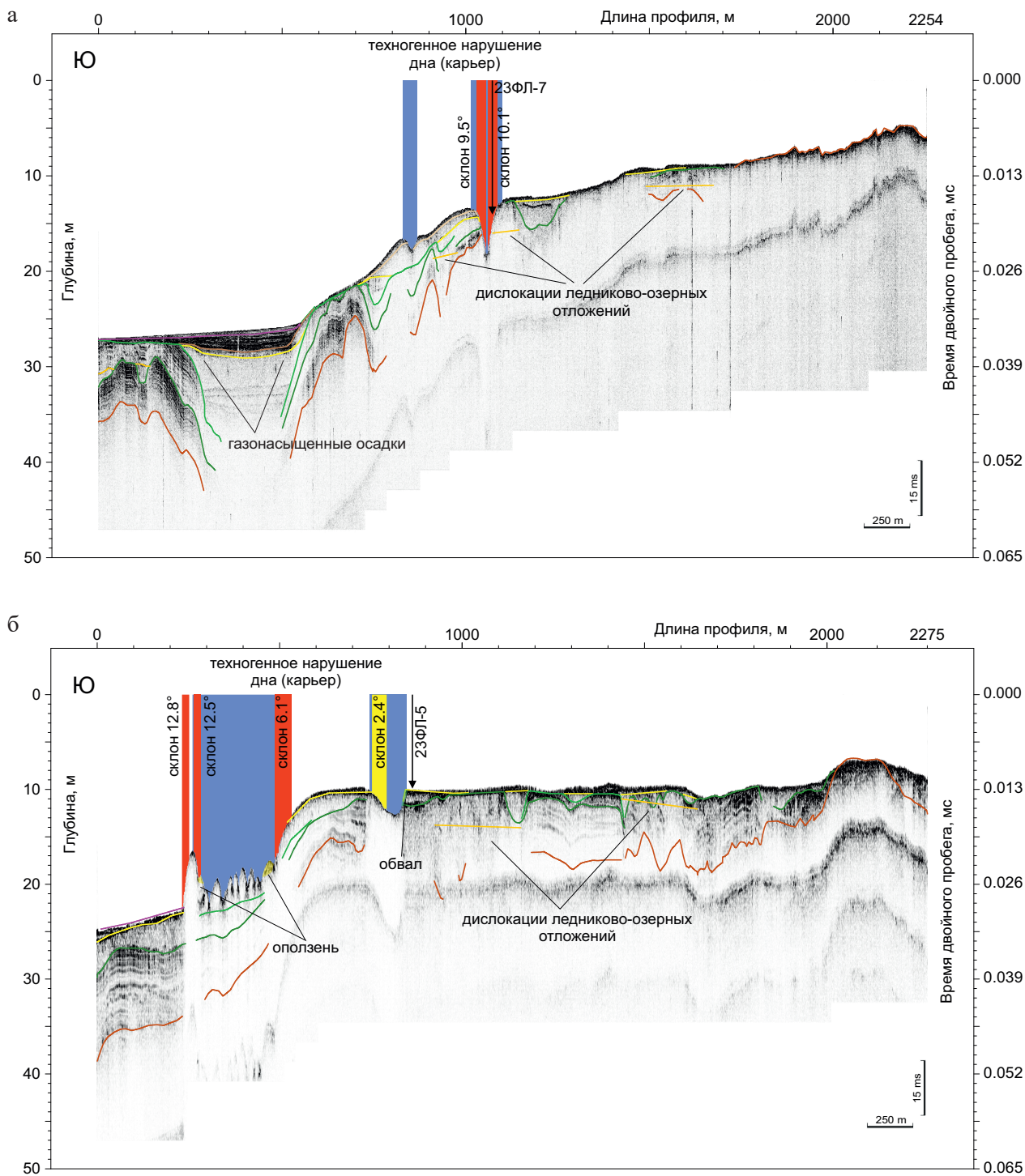


Рис. 15. Подводная терраса о. Рифовый – мыс Флотский – мыс Песчаный

а – профиль НСАП 20230611_133556 – ненарушенный склон террасы; *б* – профиль НСАП 20230611_102650 – техногенно-нарушенный склон террасы

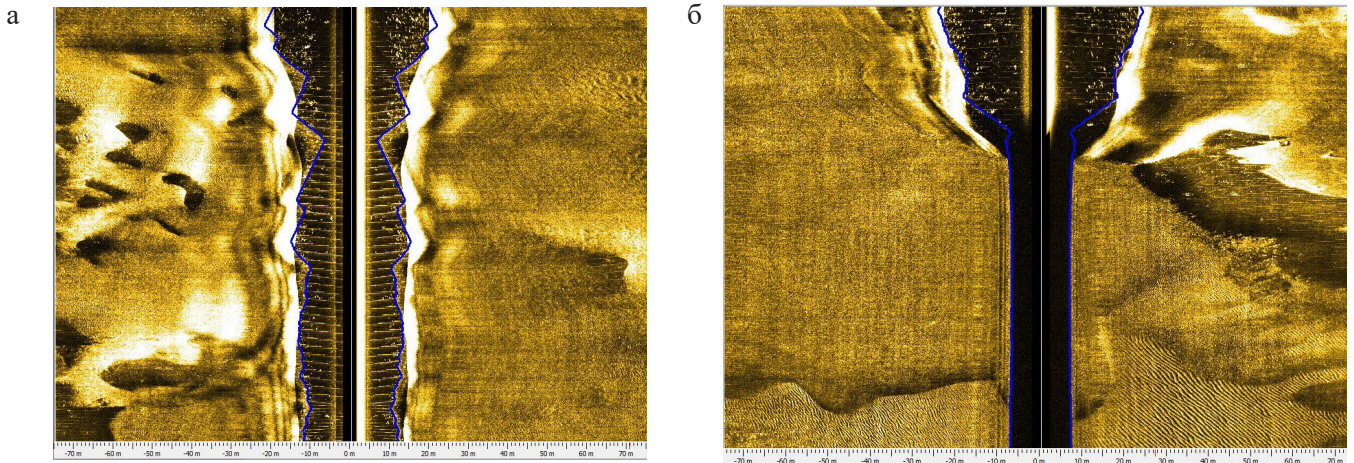


Рис. 16. Фрагменты профилей ГЛБО

a – 0000_1122, пересекающего техногенные депрессии подводного карьера «Пески»; *б* – 0000_1021, разрушение склона подводной вдольбереговой террасы под действием техногенеза и гравитационных ЭГП

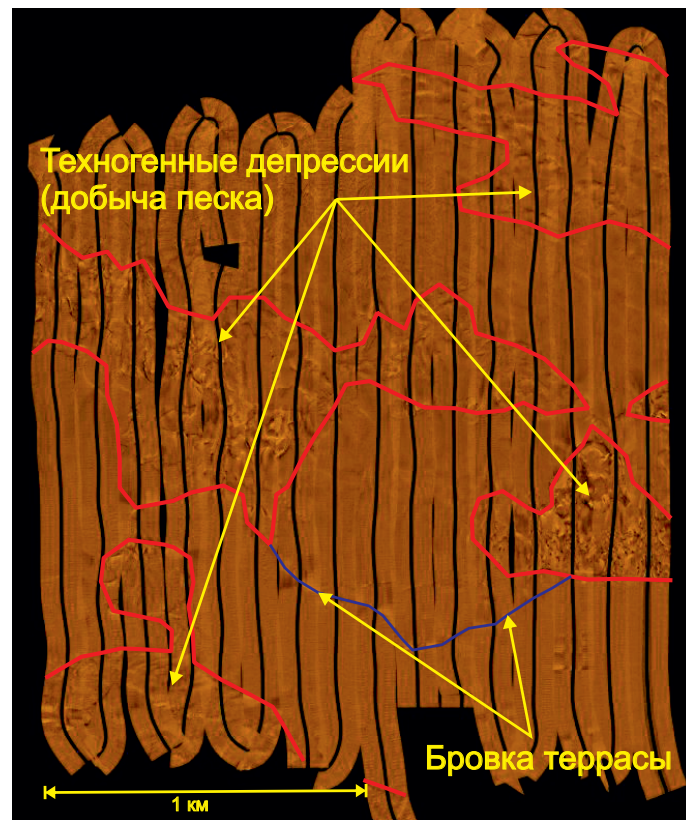


Рис. 17. Мозаика записи ГЛБО (2023 г.) на участке подводной вдольбереговой террасы между мысом Флотский и о. Рифовый. Расположение участка см. на рис. 7

волн в этом случае не влияет на осадконакопление. Обращает на себя внимание то, что в некоторых пробах, например, на станциях 23ФЛ-9 и 23ФЛ-10, отобранных внутри выемок карьера (рис. 19), в приповерхностном разрезе наблюдается четкая цветовая полосчатость (рис. 20, *a*), вероятно, обусловленная сезонным осадконакоплением. Появление такой полосчатости обычно объясняется отсутствием процессов биотурбации в осадках, т. е. отсутствием роящих бентосных

организмов, что в свою очередь является свидетельством бескислородной обстановки внутри придонного слоя отложений.

На карте проявлений ЭГП в пункте наблюдений «мыс Флотский – мыс Песчаный» (рис. 21) показаны обширные площади техногенного нарушения дна, где активизированы малоамплитудные гравитационные процессы.

В пункте наблюдений «Кургальский риф – о-в Сескар» к югу от о. Сескар в пределах

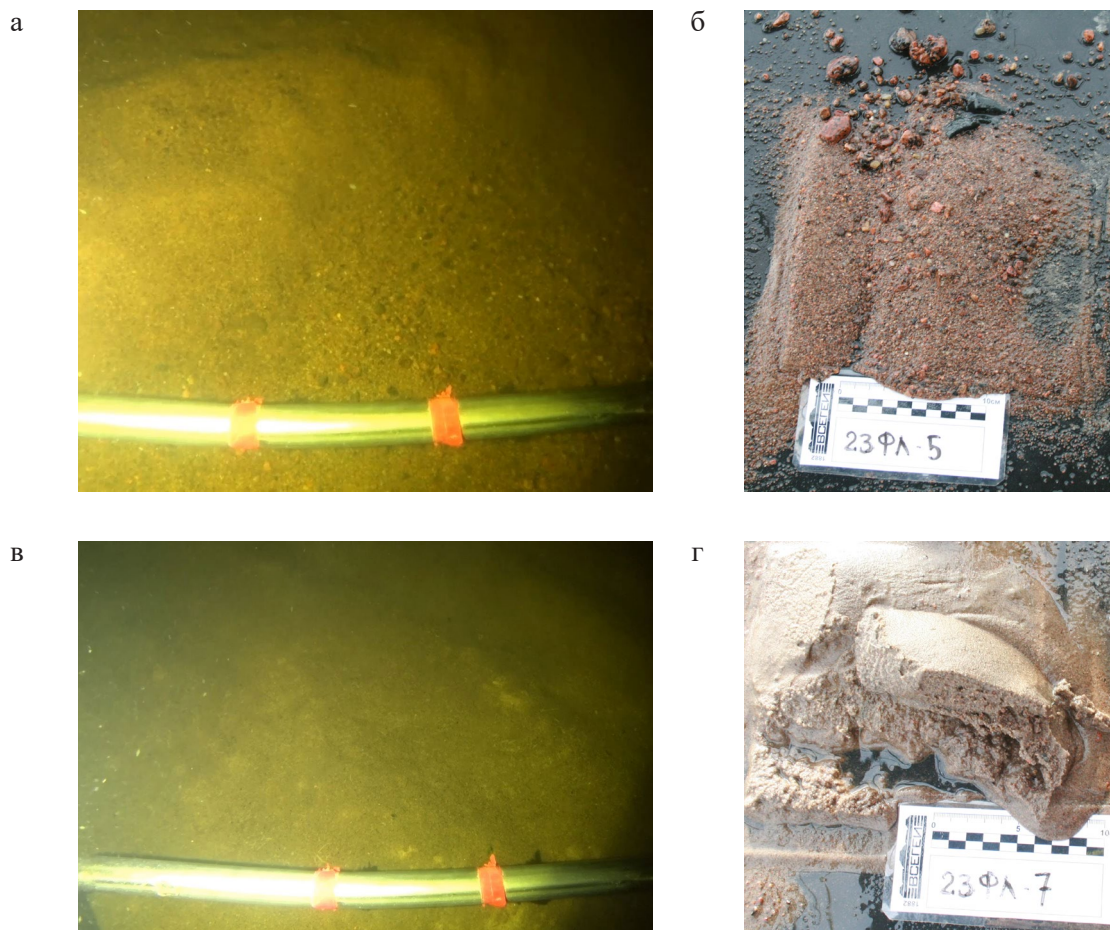


Рис. 18. Пески на поверхности подводной террасы:

Крупнозернистый песок – ст. 23ФЛ-5; а – подводная фотография дна; б – проба на борту судна; среднезернистый песок – ст. 23ФЛ-7; в – подводная фотография дна; г – проба на борту судна

подводной террасы на площади проведения добычи строительных песков по причине изменения естественного рельефа морского дна в техногенных депрессиях активизируются малоамплитудные гравитационные ЭГП. На изученной с помощью ГЛБО площади выделяются две зоны: сплошной выемки песка и разреженной сети траншей (рис. 22).

Относительная глубина отдельных техногенных депрессий (борозд) составляет 5–6 м (рис. 23, 24).

В пределах подводного карьера месторождения «Сескар» отложения вскрытого песчаного тела представлены бурым песком (от тонко-мелкозернистого до мелко-среднезернистого) (рис. 25) с зернами крупнозернистого песка и гравия. Песок, как правило, отмытый. На его поверхности повсеместно отмечаются знаки ряби, что свидетельствует о повышенной активности придонной литодинамики (рис. 26). При этом на поверхности дна в карьере при проведении фототелепрофилирования были

встречены и россыпи валунов (рис. 27, а), и выходы плотных глин (рис. 27, б).

Площадь участка измененного естественного рельефа (техногенного нарушения дна) в пределах месторождения Сескар показана на карте проявления ЭГП (рис. 28).

Согласно Государственному кадастру месторождений и проявлений полезных ископаемых Российского Федерального геологического фонда [<https://rfgf.ru/gkm/>], кроме месторождений строительных песков и песчано-гравийных смесей в восточной части Финского залива, на 2023 г. имеется 4 месторождения железомарганцевых конкреций (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

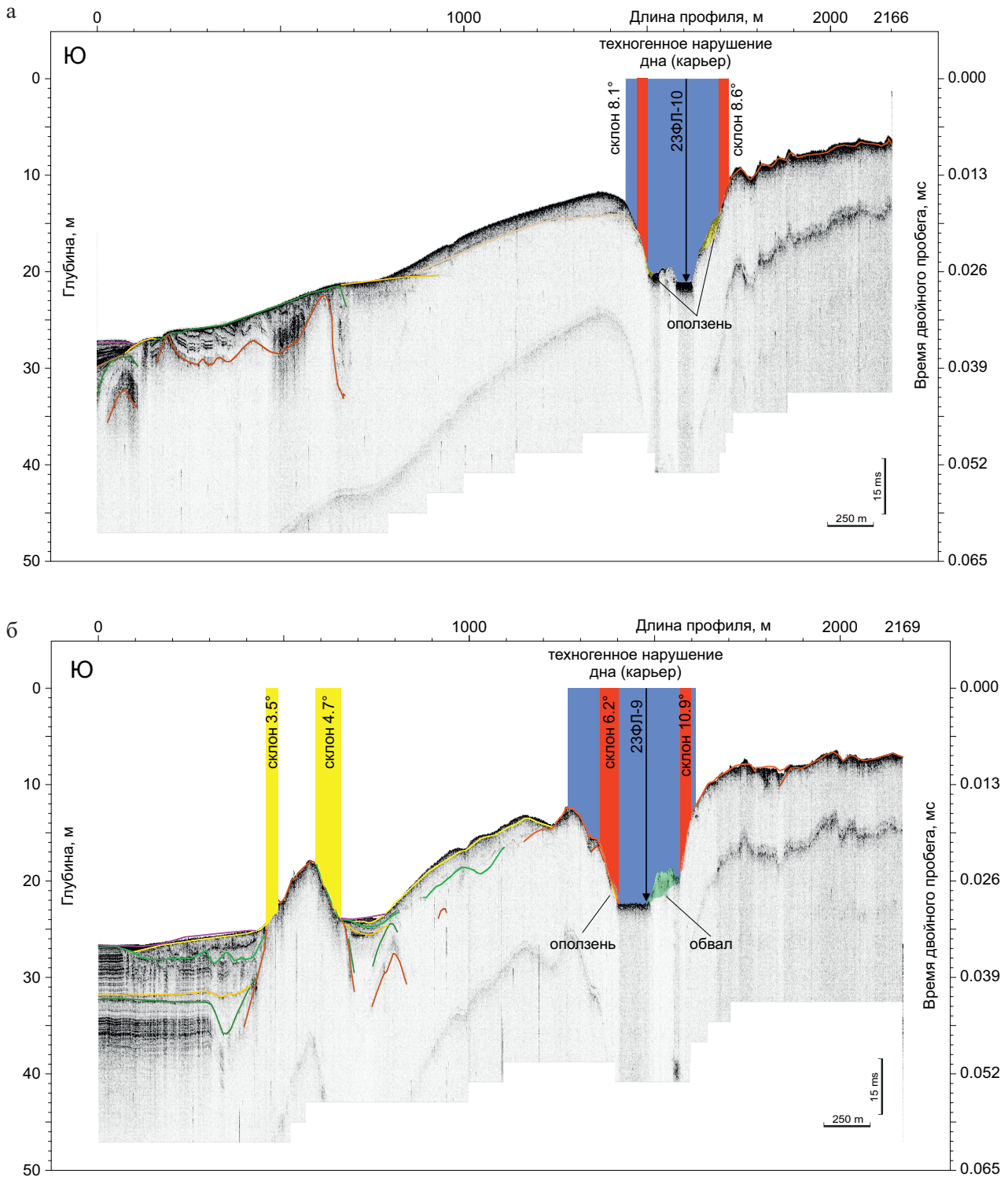


Рис. 19. Подводная терраса о. Рифовый – мыс Флотский – мыс Песчаный:
а – профиль НСАП 20230611-150536; б – профиль НСАП 20230611_143613

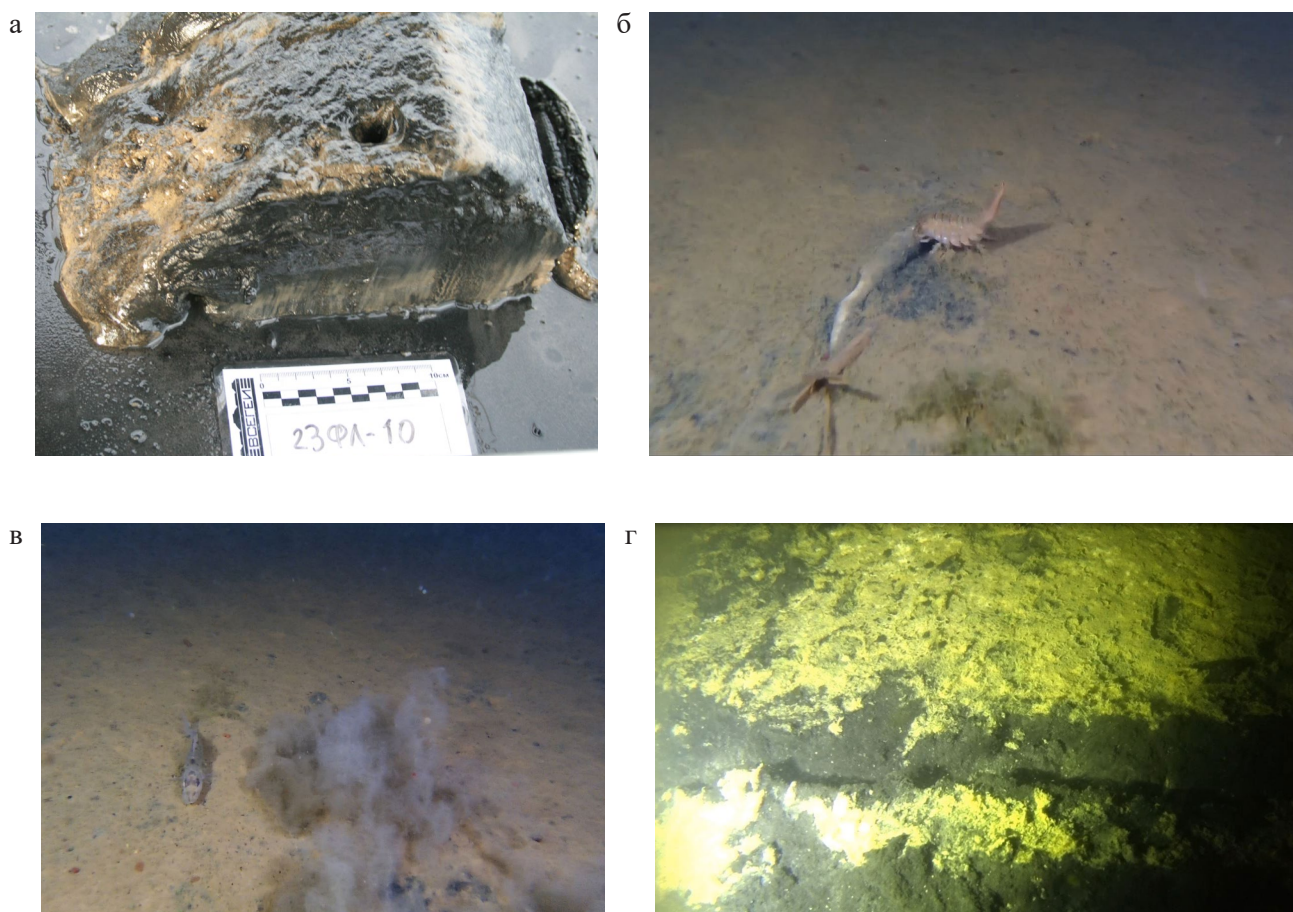


Рис. 20. Алевропелитовые илы.

Ст. 23ФЛ-10: *а* – проба на борту судна; *б, в* – подводная фотография дна (дрон); ст. 23ФЛ-9: *г* – подводная фотография дна (экшн-камера)

бюллетень..., 2013; 2014; 2023; Zhamoïda et al., 2017]. Площадь проведения подводной добычи достоверно картируется по материалам съемки ГЛБО и многолучевого эхолота по многочисленным хаотично расположенным протяженным траншеям, относительная глубина которых достигает 1 м.

На участке экспериментально-промышленной добычи ЖМК поверхностные осадки представлены алевропелитовыми (пелитово-алевритовыми) илами, скорость накопления которых существенно выше, чем на прилегающих площадях. Практически во всех пробах, отобранных на этом участке в 2023 г. (рис. 8), присутствуют сферические конкреции, что, предположительно, свидетельствует о регенерации залежи ЖМК. Различия заключаются в размерах ЖМК: от дробовидных (диаметр 1–2 мм) до крупных (диаметр до 10–15 мм) (рис. 29, *а, б*); их поверхностных текстурах (от гроздевидных (растущие ЖМК) до сглаженных (растворяющиеся или законсервированные); положению в приповерхностном раз-

резе (лежат на поверхности или в осадке на глубине до 11 см) (рис. 29, *в, г*).

Хорошо фиксируется распределение ЖМК при фототелепрофилировании (рис. 29). В комплексе с данными геофизического профилирования и донного пробоотбора фототелепрофилирование позволяет в этом случае судить о степени нарушенности геологической среды в ходе проведения добычи и процессах ее самовосстановления до естественного состояния. При фототелепрофилировании получено очередное доказательство возможности в случае возникновения благоприятных условий аномально высоких скоростей роста ЖМК, не только на несколько порядков превышающих темпы роста океанических конкреций, но и существенно выше, чем для нормальных фоновых условий Финского залива. Свидетельством этому является техногенный объект, полностью обросший железомарганцевыми корками (рис. 29, *г*).

Помимо добычи полезных ископаемых в значительной мере нарушают и дестабилизируют геологическую среду дна акватории Финского

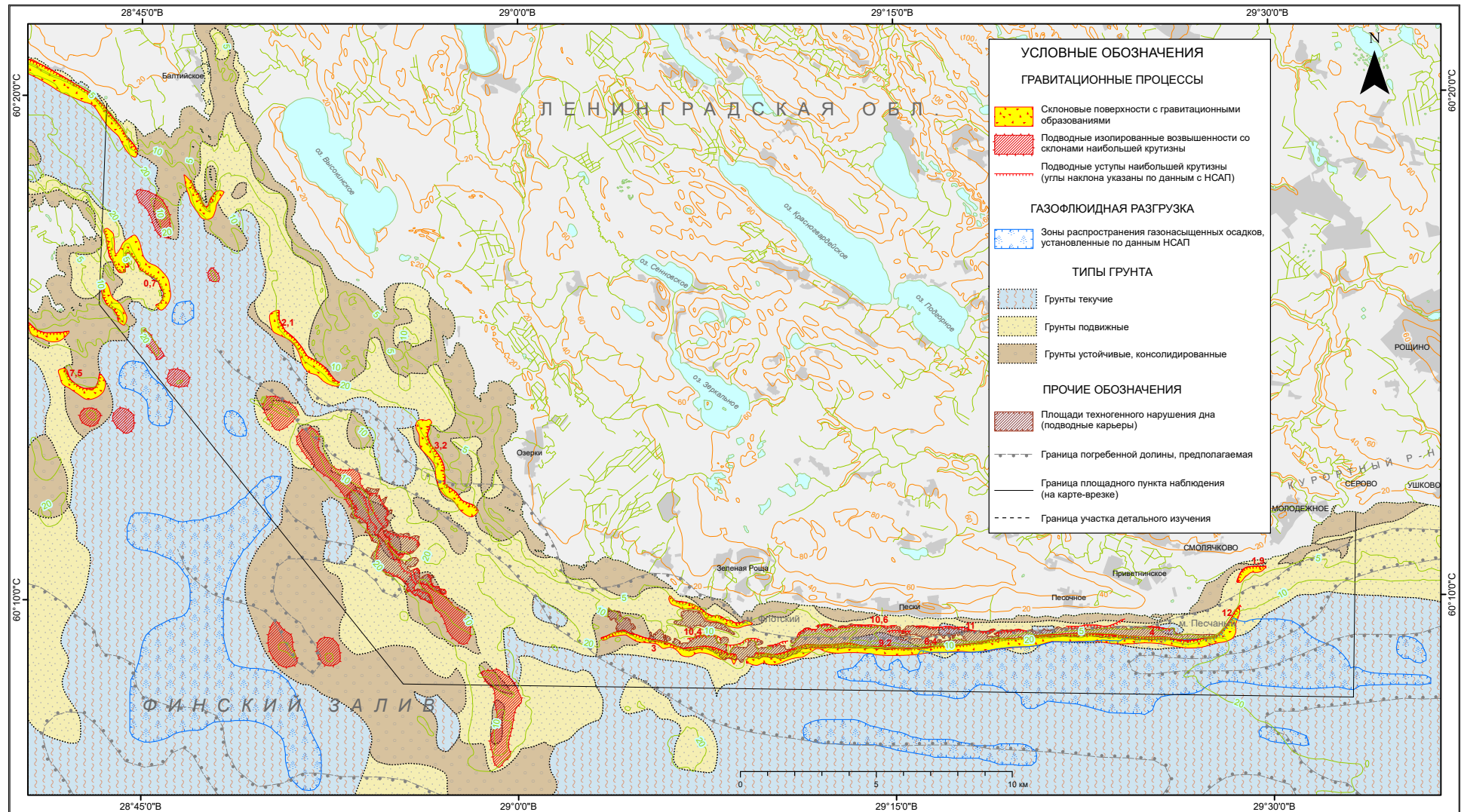


Рис. 21. Карта проявлений опасных ЭГП в пункте наблюдений «мыс Флотский – мыс Песчаный»

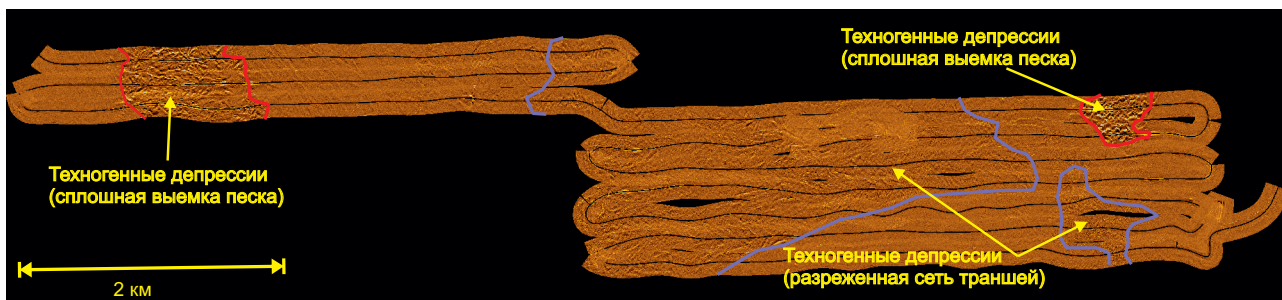


Рис. 22. Мозаика записи ГЛБО на участке подводной террасы к югу от о. Сескар. Расположение участка см. на рис. 6

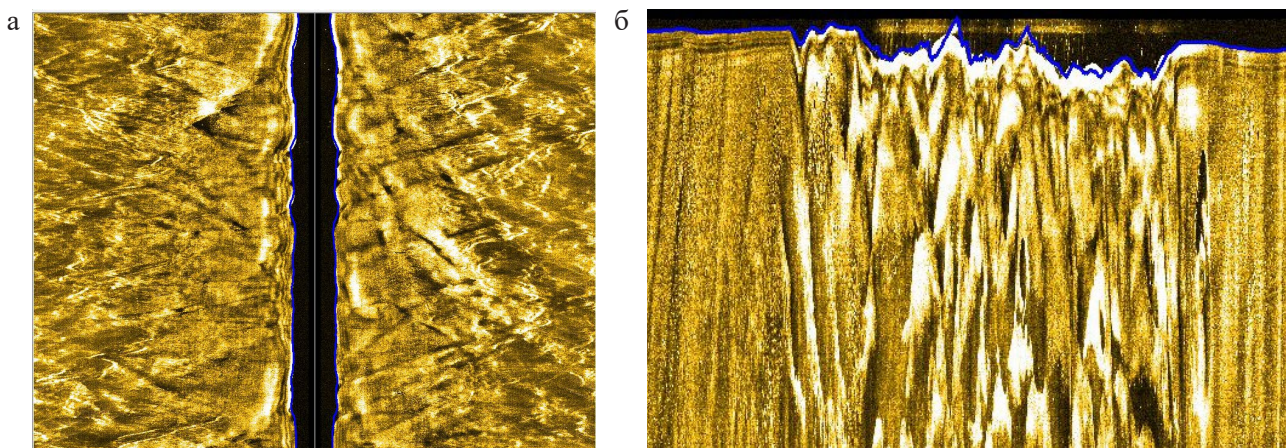


Рис. 23. Фрагменты профиля ГЛБО (0011_1826), пройденного в пределах подводного карьера сплошной отработки песков месторождения «Сескар»:

а – изображение на два борта, *б* – сжатое изображение на один борт (диапазон 100 м)

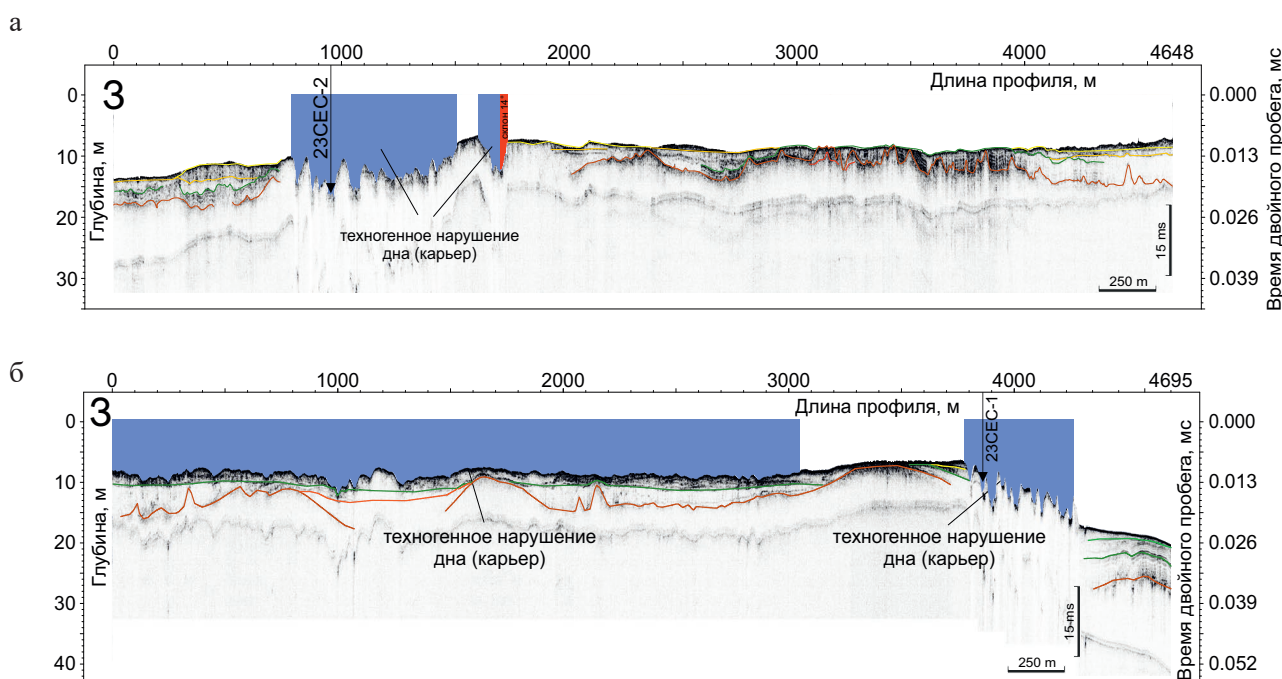


Рис. 24. Профили НСАП 20230612_180033 (*а*) и 20230612_170939 (*б*), пересекающие подводные карьеры месторождения «Сескар»

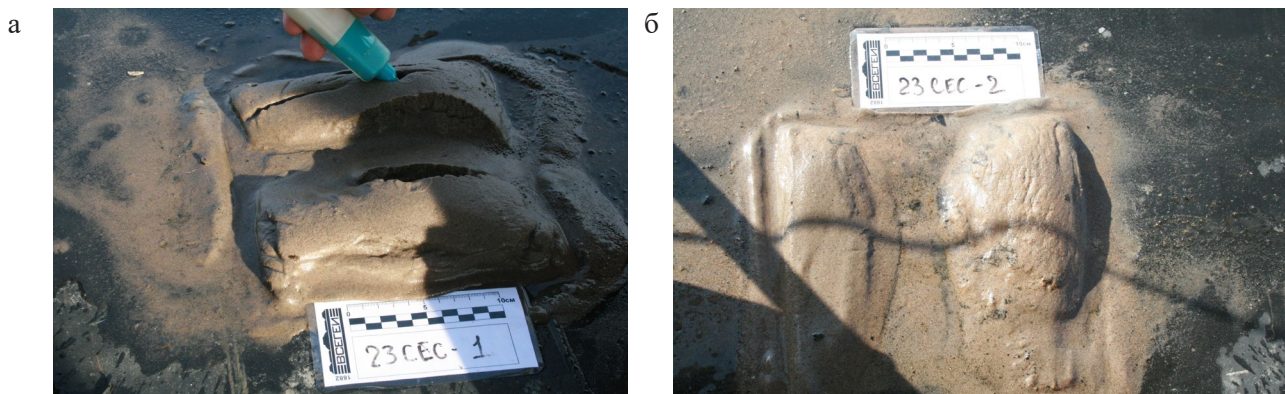


Рис. 25. Пробы песка, отобранные в подводном карьере месторождения «Сескар»

а – ст. 23СЕС-1; *б* – ст. 23СЕС – 2

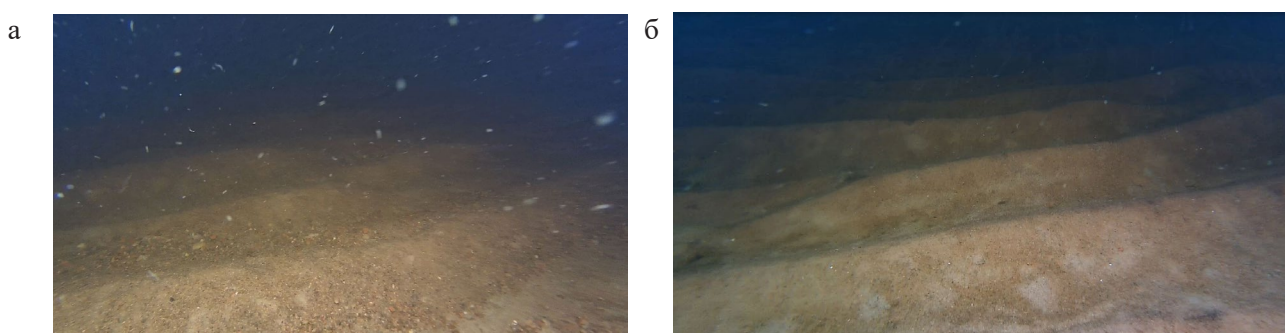


Рис. 26. Фотографии поверхности морского дна со знаками ряби, пески с примесью гравия

а – ст. 23СЕС-1тв; *б* – ст. 23СЕС-2тв

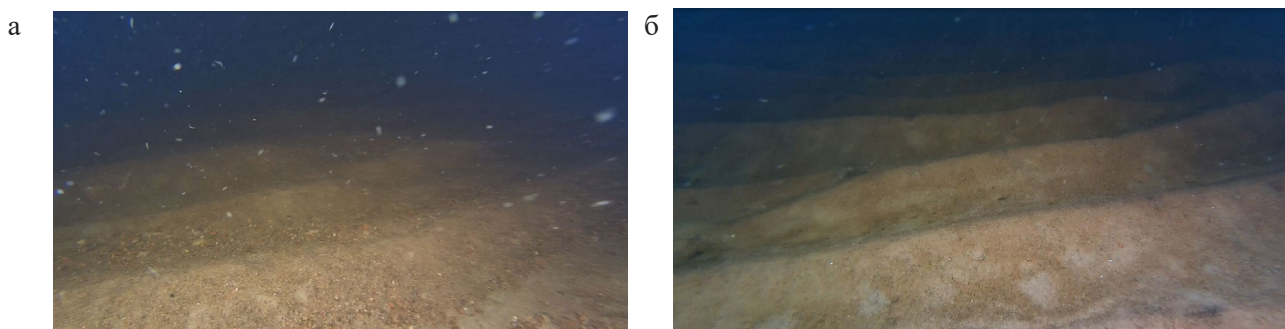


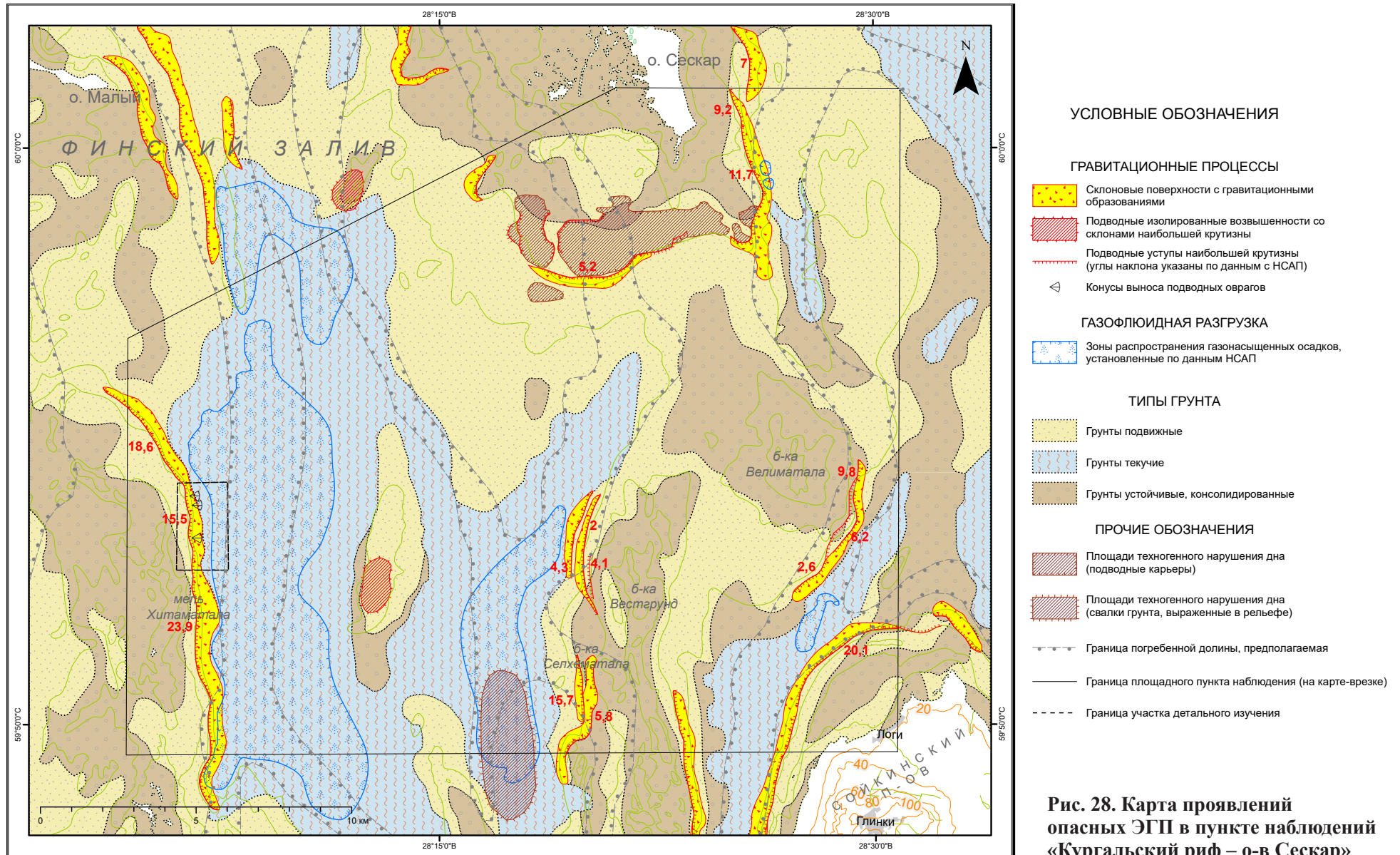
Рис. 27. Фотографии поверхности морского дна

а – ст. 23СЕС-1тв – валуны, обросшие водорослями; *б* – ст. 23СЕС-2тв – выход на поверхность дна плотных глин

залива дноуглубление и подводные отвалы грунта. По данным [Жигульский, 2017], общий объем дноуглубления в Финском заливе в 2001–2016 гг. составил около 200 млн м³. Часть этих грунтов, если они признаны незагрязненными, используется для расширения намывных территорий. В частности в 2007–2016 гг. в Невской губе для этого было использовано около 10% извлеченных грунтов, в порту Усть-Луга – около 30% [Жигульский, 2017]. Загрязненные

или непригодные по своим физико-механическим свойствам грунты сбрасывались в подводные отвалы. В 2007–2016 гг. сброшено более 126 млн м³ грунта [Жигульский, 2017]. Всего в восточной части Финского залива насчитывается семь официально установленных подводных отвалов (свалок) грунта (рис. 30).

В 2023 г. обследована свалка (отвалы) грунта, расположенная на выходе из западной части Лужской губы. Это самая большая свалка



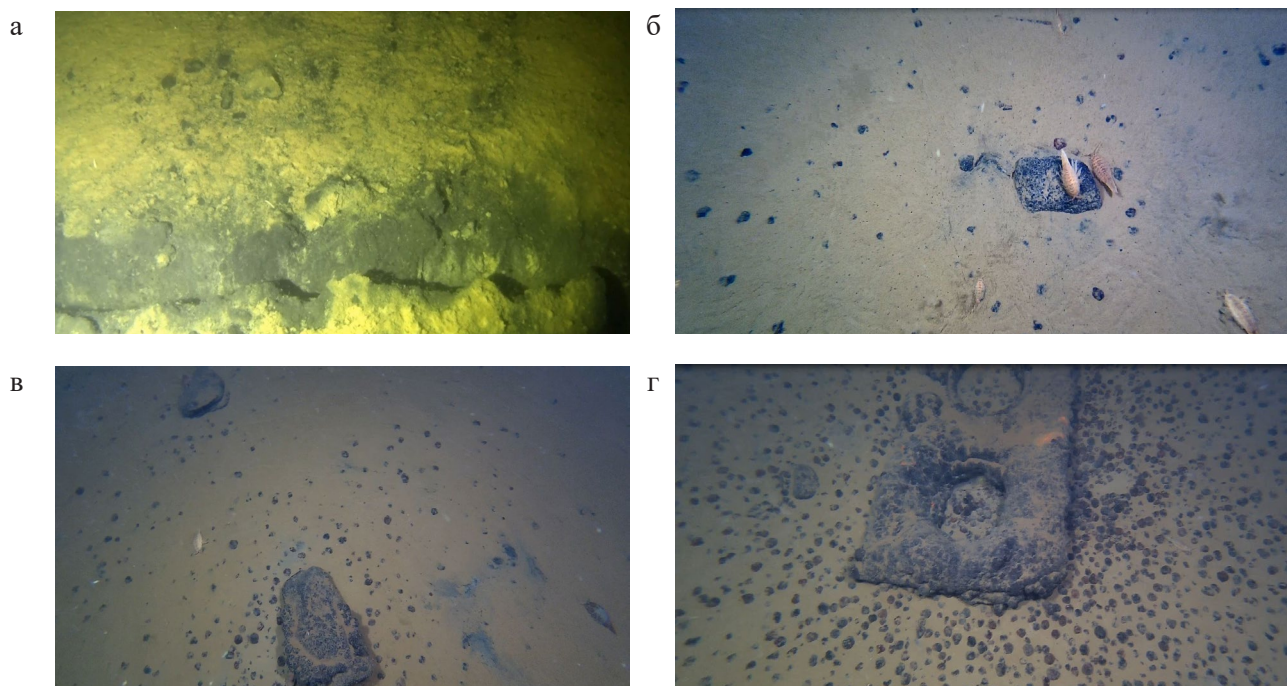


Рис. 29. Фотографии поверхности дна на площади опытно-промышленной добычи ЖМК

а – ст. 23В3-5 – ЖМК погребены под слоем алевропелитов мощностью до 10 см, ст. расположена в траншее, оставленной добычным судном; *б* – ст. 23В3-4 – сферические ЖМК преимущественно перекрыты поверхностным наилком; *в* – ст. 23В3-8 – наряду со сферическими ЖМК, преимущественно перекрытыми поверхностным наилком, встречаются крупные уплощенные ЖМК и корки обрастания вокруг терригенных обломков; *г* – ст. 23В3-8 – много сферических ЖМК на поверхности дна и техногенный объект, обросший железомарганцевой коркой

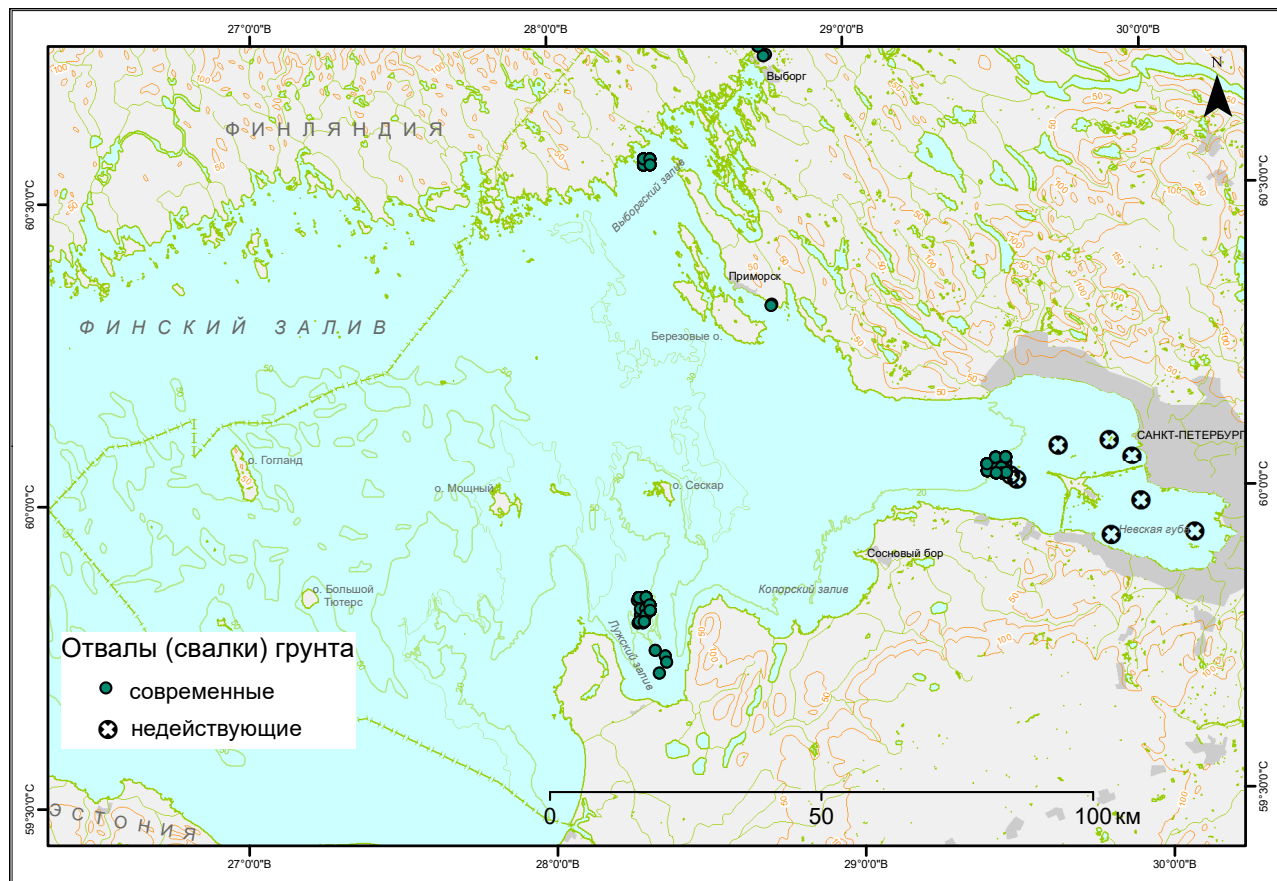


Рис. 30. Расположение подводных отвалов (дампинг) грунта в восточной части Финского залива [Жигульский, 2017; <https://rpn.gov.ru>]

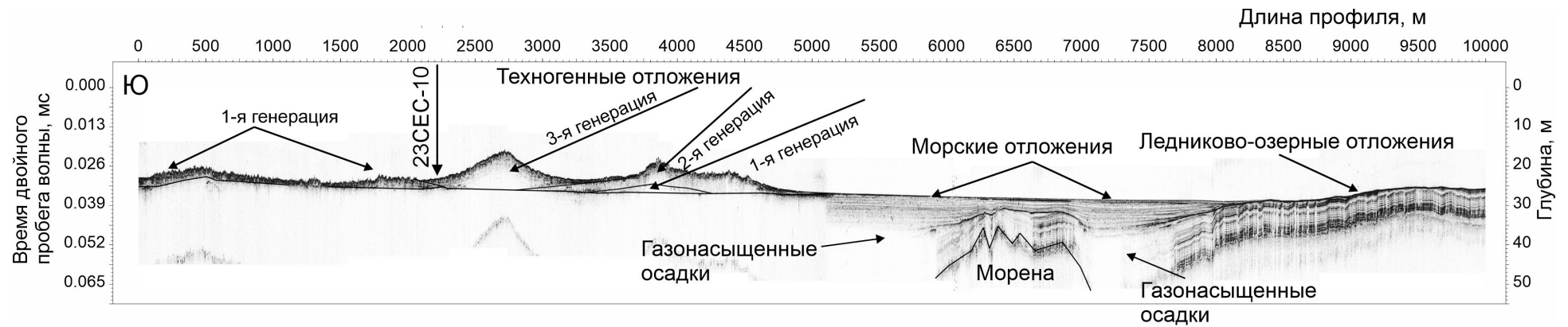


Рис. 31. Профиль НСАП 20230612_204116+20230612_194301, пересекающий подводный отвал (свалку) грунта, расположенный на выходе из западной части Лужской губы



Рис. 32. Техногенные отложения (свалка грунта), отобранные на ст. 23СЕС-10

грунта в восточной части Финского залива, ее официальная площадь (по данным на 2017 г.) – 836 га. На профиле НСАП свалка (отвал) грунта похожа на моренную грядку высотой до 10 м (рис. 31). Отчетливо выявляется не менее трех генераций техногенных отложений, перекрывающих современные алевропелитовые морские газонасыщенные осадки. Поверхность гряды, сложенной наиболее молодой генерацией техногенных отложений, выровнена. Поверхность гряды, сложенной отложениями предыдущей генерации, характеризуется мелкорасчлененным рельефом морского дна, что свидетельствует о переработке осадочного материала за счет размыва и селективного выноса тонкозернистой его части и сопутствующих этим явлениям гравитационным ЭГП, приводящим к постепенной нивелировке поверхности. Наиболее активно эти процессы проявляются на самой молодой гряде, т. к. по мере дифференциации

осадочного материала может формироваться бронирующая отмостка, сложенная грубообломочными фракциями.

Проба, отобранная с поверхности отвала грунта, представлена серым песчано-глинисто-алевритовым миктитом с зернами грубого песка и комками глин (рис. 32). На поверхности (0–2 см) осадок текучий, ниже уплотняется (2–4 см). На подводной видеозаписи зафиксирована повышенная мутность, не видно не только поверхности дна, но даже рамы бокс-корера, к которому прикреплена экшн-камера: вода экстремально мутная от взвеси.

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

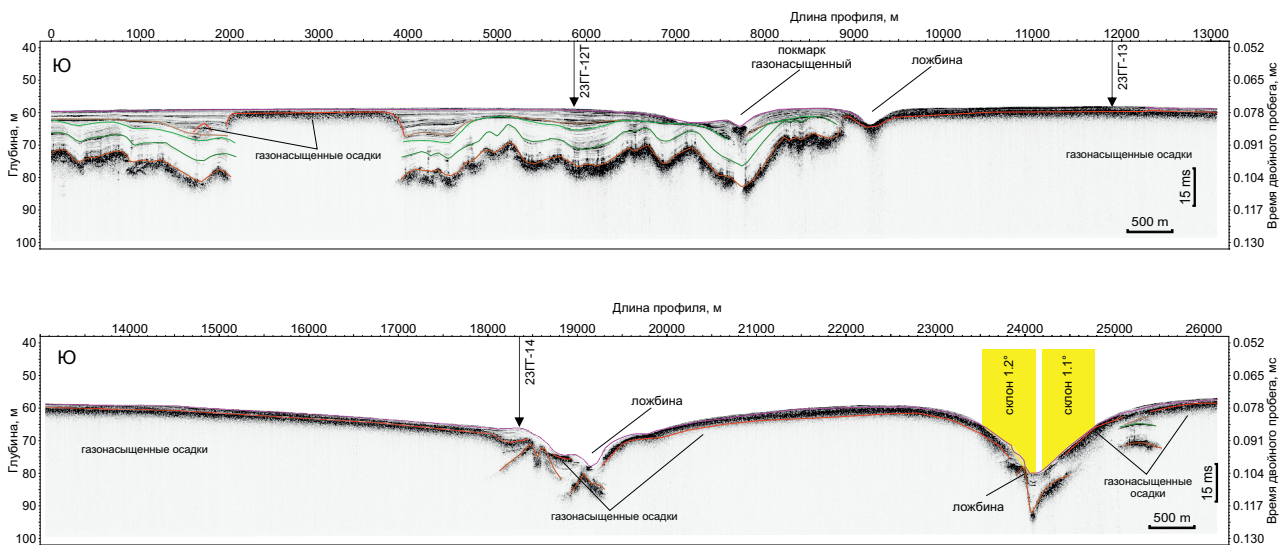


Рис. 33. Профиль НСАП 1 в пункте наблюдений «р-н о-ва Гогланд». Протяженные поля газонасыщенных грунтов, пересечение линейных ложбин (просадки)

Таблица 2

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

Пункт наблюдений	Площадь, км ²	% от площади пункта наблюдений	% 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

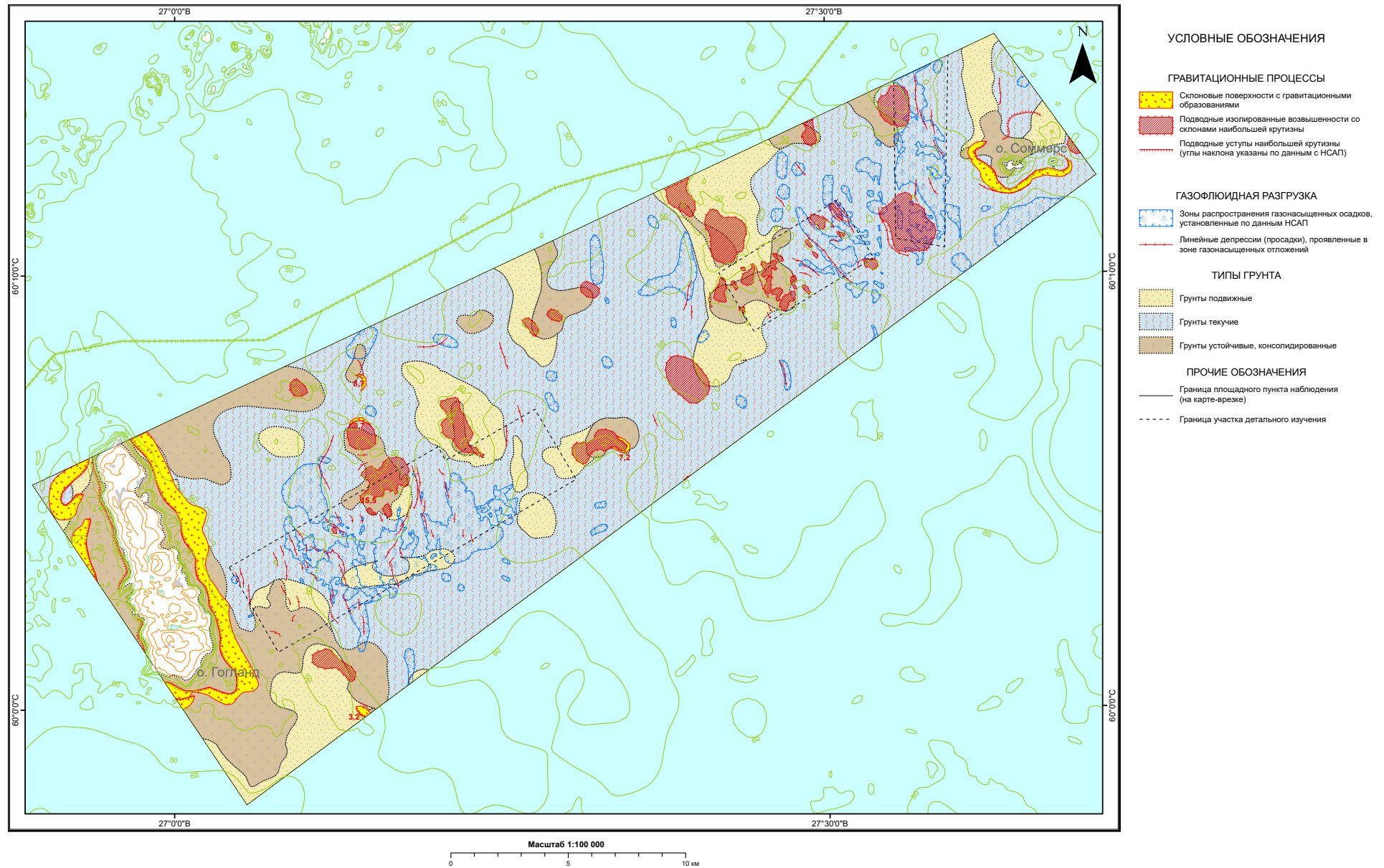


Рис. 34. Карта проявлений опасных ЭГП в пункте наблюдений «район о-ва Гогланд»



Рис. 35. Грунтовые колонки, отобранные в пункте наблюдений «район о-ва Гогланд»

а – станция 23ГГ-12 – оскольчатый излом керна газонасыщенных пористых грунтов, *б* – 23ГГ-1 – черный пористый (газонасыщенный) алевропелит, E_h прид. воды +63 мВ (неустойчивая окислительно-восстановительная обстановка); *в* – 23ГГ-17 – бурый наилок (окислительная обстановка)

сигнала (рис. 33). Площади распространения газонасыщенных осадков в пределах пунктов наблюдений мониторинга приведены в табл. 2. В 2023 г. фиксируется увеличение рассчитанной площади распространения газонасыщенных отложений по отношению к 2022 г., что обусловлено в основном выявлением и учетом новых площадей этих отложений, уточнением их ранее закартированных контуров за счет новых данных геофизического профилирования, а также объединением мелких полей, выявленных вдоль профилей НСАП, в более крупные путем экстраполяции.

Пункт наблюдения «район о. Гогланд» характеризуется значительной площадью распространения метаногенерирующих илов и повышенной мощностью, предположительно, достигающей в разрезе 10 м (рис. 34). Опробованные в 2023 г. грунты разнообразны, что обусловлено существенными различиями условий седиментации, и представлены не только газонасыщенными морскими осадками, но и глинами Балтийского ледникового озера, а также железомарганцевыми конкрециями и грубообло-

мочными отложениями. Собственно, илы представляют собой черные, реже зеленовато-серые алевропелиты от текучих до мягкопластичных. Часто грунты пористые (рис. 35, *а*), газонасыщенные, с сильным запахом сероводорода. Газ в осадке находится в условиях гидростатического давления, значительно превышающего атмосферное, при выемке из трубы его начинает «распирать», т. к. его объем увеличивается при атмосферном давлении.

Поверхностный наилок в пробах грунтов, отобранных трубкой ГГТ и бокс-корером, на некоторых станциях бурый (рис. 35, *в*), что свидетельствует об окислительной обстановке в придонном слое воды и поверхностных осадках, на некоторых – черный с белесоватым налетом (бактериальные маты (?), что связано с дефицитом кислорода в поверхностных осадках. В 2023 г. на всех станциях, где были опробованы грунты, E_h в придонной воде имеет положительные значения: от +63 до +234 мВ, что существенно выше, чем в 2022 г.

Результаты определения в донных отложениях содержания неуглеводородных газов показаны

Таблица 3

**Состав неуглеводородных газов в грунтах и придонной воде в пункте наблюдений
«Район о-ва Гогланд» (концентрация газов в воздушном зазоре)**

№ п/п	Номер т.н.	Интервал опробования, см	CO ₂	He	H ₂	O ₂	N ₂
			ppm			%	
			Пробы грунта				
1	23ГГ-1	0–7	15730,38	66,95	5,97	0,36	94,39
2	23ГГ-1	52–59	10123,16	40,34	7,90	0,21	88,28
3	23ГГ-2	0–7	3207,93	8,95	4,69	0,63	98,08
4	23ГГ-2	27–34	916,96	7,65	4,60	0,64	98,56
5	23ГГ-3	0–7	18894,04	40,59	9,23	0,59	93,74
6	23ГГ-3	42–52	36630,07	34,33	6,09	0,36	84,31
7	23ГГ-4	3–10	1346,68	7,52	4,57	0,57	98,53
8	23ГГ-4	28–35	1306,27	9,46	5,03	0,67	98,56
9	23ГГ-5	0–7	30330,48	91,68	9,10	0,48	87,62
10	23ГГ-5	58–65	22860,74	32,01	5,02	0,41	96,39
11	23ГГ-6	0–7	24376,72	88,42	8,17	0,30	91,92
12	23ГГ-6	53–60	11946,04	57,96	7,96	0,39	97,54
13	23ГГ-7	0–7	3238,58	27,84	8,84	0,28	91,71
14	23ГГ-7	59–66	14153,43	95,07	8,11	0,20	87,47
15	23ГГ-8	0–7	15889,11	98,55	7,50	0,29	95,73
16	23ГГ-8	42–49	6551,67	69,67	9,65	0,32	80,47
17	23ГГ-9	0–7	24839,69	7,73	8,18	0,09	95,75
18	23ГГ-9	51–58	26082,30	40,20	9,15	0,18	86,38
19	23ГГ-10	0–7	4250,30	19,13	6,14	0,37	98,05
20	23ГГ-10	51–58	1126,58	11,29	7,69	0,55	98,41
21	23ГГ-11	0–7	7382,45	30,08	6,06	0,33	98,43
22	23ГГ-11	44–51	3581,88	38,97	8,97	0,35	98,45
	Номер т.н.		Придонная вода				
23	23ГГ-2		305,49	10,51	6,51	19,54	80,16
24	23ГГ-3		1285,71	10,31	7,30	19,64	79,98
25	23ГГ-4		708,91	23,37	7,18	18,05	81,66
26	23ГГ-5		1092,71	8,09	3,52	18,36	81,06
27	23ГГ-6		939,96	15,12	7,00	18,93	80,92
28	23ГГ-7		1119,02	5,66	3,79	18,76	80,74
29	23ГГ-8		489,60	10,26	5,29	19,22	80,50
30	23ГГ-9		1236,40	8,24	5,35	18,81	80,69
31	23ГГ-10		921,68	4,45	5,44	15,34	84,40
32	23ГГ-11		1065,61	4,82	4,90	19,77	79,88

Таблица 4

Состав углеводородных газов в грунтах и придонной воде в пункте наблюдений «Район о-ва Гогланд»

№ п/п	Номер т.н.	Интервал опробования, см	Метан	Этан	Этилен	Пропан	Пропилен	i-бутан	n-бутан	i-бутилен + бутен-1	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	n-C ₅ H ₁₂
Пробы грунта, исходная концентрация в воздушном зазоре, ppm											
1	23ГГ-1	0–7	8109,08	0,03	0,10	0,11	0,01	0,00	0,03	0,02	0,01
2	23ГГ-1	52–59	104634,45	0,04	0,15	1,35	0,08	0,02	2,52	0,69	0,05
3	23ГГ-2	0–7	14,61	0,41	1,22	0,51	0,43	0,05	0,54	1,25	0,53
4	23ГГ-2	27–34	40,46	0,53	1,65	0,48	0,31	0,03	0,37	0,71	0,60
5	23ГГ-3	0–7	32260,41	0,03	0,19	0,66	0,03	0,01	0,26	0,57	0,12
6	23ГГ-3	42–52	112028,73	0,05	0,20	0,95	0,07	0,02	2,16	0,64	0,28
7	23ГГ-4	3–10	5,11	0,05	0,44	0,07	0,18	0,03	0,11	0,61	0,16
8	23ГГ-4	28–35	4,50	0,05	0,60	0,07	0,23	0,03	0,16	0,91	0,22
9	23ГГ-5	0–7	90418,42	0,03	0,11	0,69	0,06	0,02	0,85	0,74	0,25
10	23ГГ-5	58–65	8711,07	0,04	0,13	0,37	0,03	0,03	1,68	0,46	0,18
11	23ГГ-6	0–7	47154,93	0,04	0,11	0,75	0,08	0,04	0,44	0,73	0,68
12	23ГГ-6	53–60	4751,77	0,05	0,12	0,32	0,10	0,05	0,55	0,82	0,37
13	23ГГ-7	0–7	77350,73	0,14	0,58	0,89	0,10	0,04	1,09	0,87	0,48
14	23ГГ-7	59–66	106380,01	0,21	0,64	0,88	0,09	0,02	2,32	0,70	0,27
15	23ГГ-8	0–7	20547,92	0,03	0,10	0,89	0,07	0,03	0,36	0,59	0,58
16	23ГГ-8	42–49	158018,82	0,04	0,12	0,70	0,12	0,06	1,11	0,82	0,45
17	23ГГ-9	0–7	15732,80	0,02	0,10	0,92	0,05	0,03	0,45	0,88	0,06
18	23ГГ-9	51–58	105178,80	0,03	0,11	0,69	0,05	0,02	1,11	0,80	0,37
19	23ГГ-10	0–7	3738,17	0,22	0,65	0,26	0,14	0,02	0,21	0,74	0,29
20	23ГГ-10	51–58	7,97	0,71	1,32	0,80	0,36	0,08	0,67	0,94	1,10
21	23ГГ-11	0–7	562,45	0,14	0,23	0,36	0,06	0,04	0,34	0,51	0,21
22	23ГГ-11	44–51	42,13	0,81	1,46	1,21	0,38	0,09	0,69	1,21	0,41
№ т.н.		Придонная вода, исходная концентрация в воздушном зазоре, ppm									
23	23ГГ-2		7,62	0,01	0,02	0,03	0,02	0,01	0,03	0,57	0,24
24	23ГГ-3		17,47	0,01	0,03	0,02	0,03	0,01	0,12	0,39	0,24
25	23ГГ-4		4,27	0,01	0,07	0,02	0,05	0,01	0,06	0,47	0,18
26	23ГГ-5		72,73	0,01	0,05	0,04	0,02	0,02	0,08	0,43	0,23
27	23ГГ-6		37,95	0,01	0,06	0,02	0,05	0,04	0,13	0,35	0,31
28	23ГГ-7		17,83	0,01	0,06	0,02	0,02	0,02	0,10	0,37	0,25
29	23ГГ-8		45,75	0,01	0,07	0,03	0,03	0,02	0,09	0,49	0,44
30	23ГГ-9		13,87	0,01	0,03	0,02	0,03	0,03	0,07	0,34	0,16
31	23ГГ-10		4,83	0,01	0,10	0,03	0,03	0,03	0,09	0,43	0,20
32	23ГГ-11		9,45	0,02	0,02	0,02	0,03	0,01	0,08	0,68	0,28

Таблица 5

Статистические параметры распределения метана и его гомологов в грунтах, отобранных в пункте наблюдений «Район о-ва Гогланд»

Углеводородные газы	Кол-во набл.	Среднее	Медиана	Минимум	Максимум	Ст. откл.
ppm (исходная концентрация в воздушном зазоре)						
Метан	19	47 141	20 548	15	158 019	51 043
Этан	19	0,15	0,04	0,02	0,81	0,21
Этилен	19	0,42	0,15	0,10	1,65	0,49
Пропан	19	0,68	0,69	0,11	1,35	0,32
Пропилен	19	0,12	0,08	0,01	0,43	0,12
i-бутан	19	0,03	0,03	0,00	0,09	0,02
n-бутан	19	0,90	0,55	0,03	2,52	0,75
i-бутилен + бутен-1	19	0,72	0,73	0,02	1,25	0,26
n-пентан	19	0,33	0,29	0,01	0,68	0,20

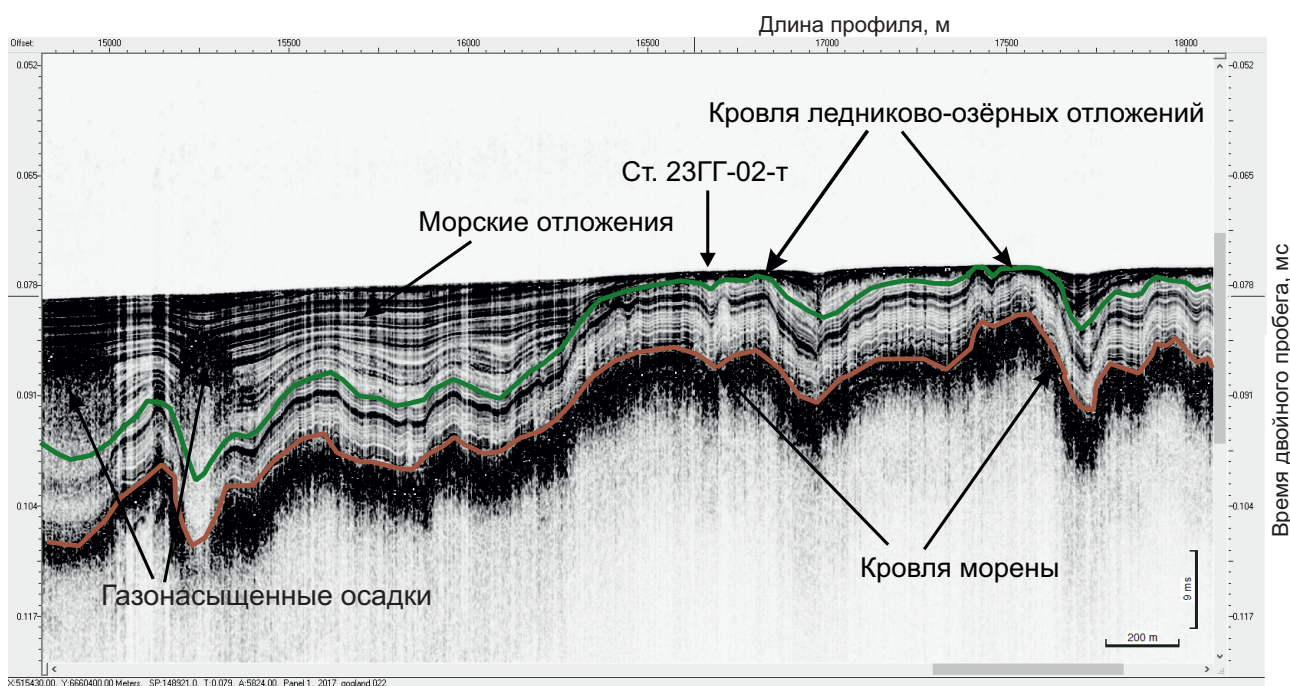


Рис. 36. Фрагмент профиля НАП (ПР-2017_gogland.022) в районе ст. 23ГГ-02-Т

в табл. 3, углеводородных – в табл. 4. Статистические параметры распределения метана и его гомологов в газовой фазе грунтов приведены в табл. 5.

Метан в донных осадках в пункте наблюдений «район о-ва Гогланд» распределен неравномерно. Максимальные его концентрации

приурочены к участкам со значительной мощностью илов. С уменьшением мощности илов его содержание заметно понижается. На рис. 36 представлен акустический разрез, проходящий через ст. 23ГГ-02. Ледниково-озерные отложения в месте отбора этой пробы подходят близко к поверхности дна, а мощность голоценовых

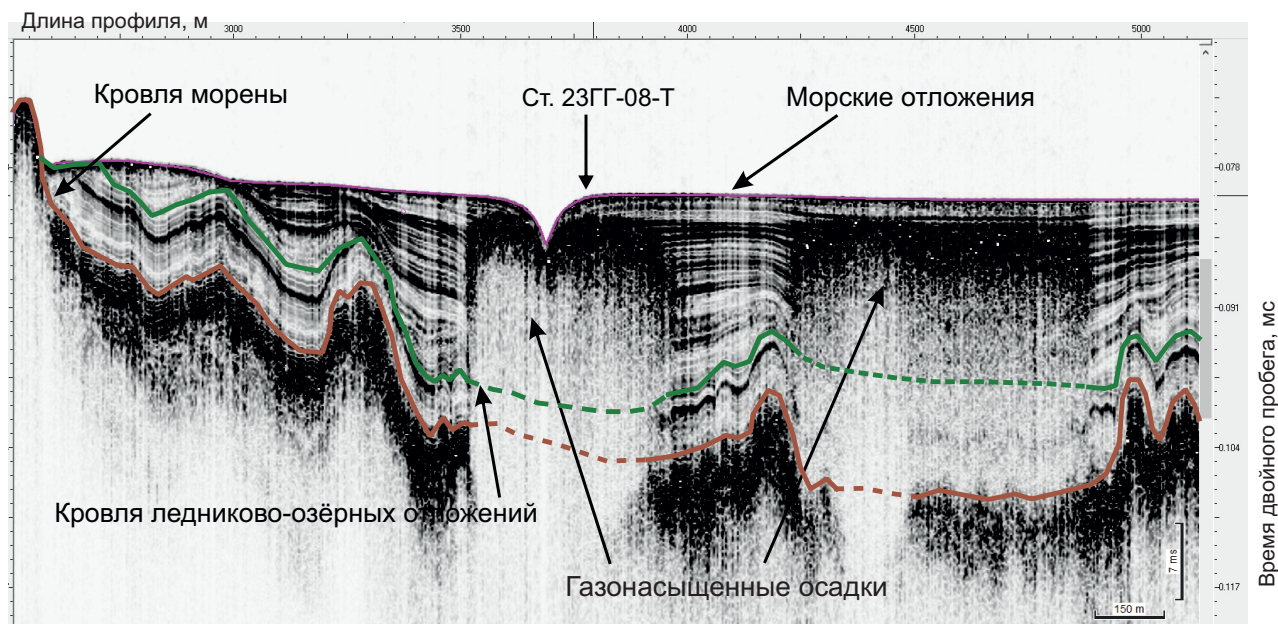


Рис. 37. Фрагмент профиля НСАП (ПР-2017_gogland.001) в районе ст. 23ГГ-08-Т

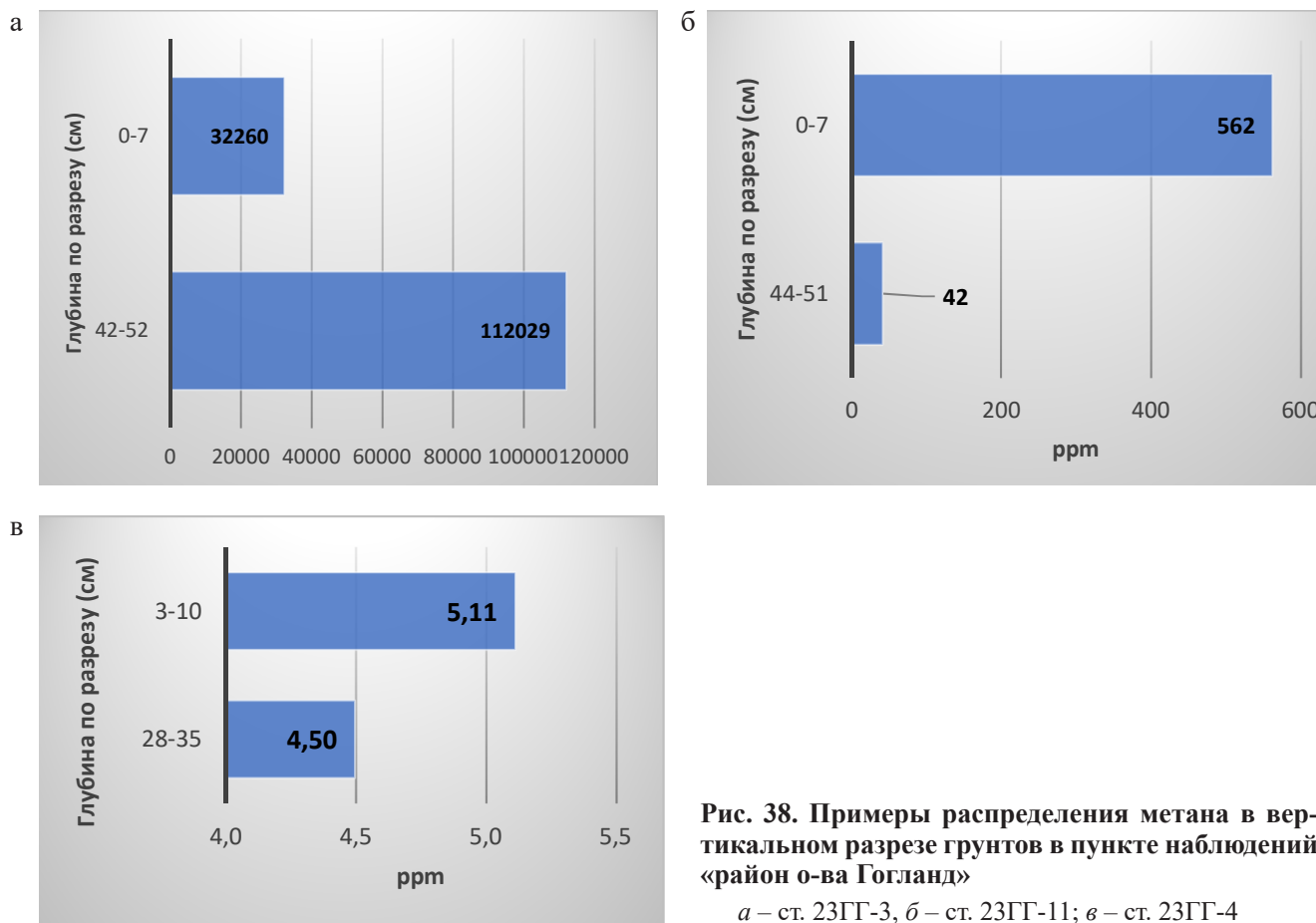


Рис. 38. Примеры распределения метана в вертикальном разрезе грунтов в пункте наблюдений «район о-ва Гогланд»

а – ст. 23ГГ-3, б – ст. 23ГГ-11; в – ст. 23ГГ-4

Таблица 6

Состав углеводородных газов в грунтах и придонной воде в пункте наблюдений «Кургальский риф – о-в Сескар»

№ п/п	Номер т.н.	Интервал опробования, см	Метан	Этан	Этилен	Пропан	Пропилен	i-бутан	n-бутан	i-бутилен + бутен-1	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	n-C ₅ H ₁₂
Пробы грунта, исходная концентрация в воздушном зазоре, ppm											
1	23СЕС-3	1–8	3708,64	0,12	0,20	0,48	0,07	0,21	0,44	0,98	0,26
2	23СЕС-3	33–40	2443,88	0,09	0,38	0,31	0,31	0,10	0,53	1,50	0,42
3	23СЕС-4	1–8	12623,57	0,08	0,34	0,61	0,13	0,24	1,05	0,78	0,72
4	23СЕС-4	23–30	6079,20	0,13	0,56	0,89	0,21	0,12	0,86	0,94	0,26
5	23СЕС-5	1–8	106224,02	0,02	0,18	1,17	0,02	0,08	1,73	0,69	0,26
6	23СЕС-5	39–46	195057,52	0,05	0,24	1,15	0,12	0,01	3,43	1,20	0,35
7	23СЕС-6	1–8	122647,72	0,02	0,11	0,71	0,04	0,21	0,73	0,52	0,32
8	23СЕС-6	36–43	119591,79	0,04	0,12	0,90	0,09	0,05	3,08	1,14	0,49
9	23СЕС-7	1–8	106287,91	0,05	0,16	0,94	0,10	0,02	1,69	1,29	0,30
10	23СЕС-7	15–20	184772,28	0,06	0,23	0,95	0,02	0,00	3,60	0,70	0,42
11	23СЕС-8_	1–8	6063,99	0,10	0,31	0,38	0,07	0,02	0,26	0,60	0,12
12	23СЕС-8_	18–25	43012,32	0,14	0,30	1,07	0,16	0,04	1,50	0,98	0,27
13	23СЕС-9	1–8	2654,84	0,14	0,30	0,52	0,13	0,04	0,49	0,72	0,25
14	23СЕС-9	29–36	4005,35	0,14	1,56	0,45	0,34	0,05	0,37	0,84	0,32
Придонная вода, исходная концентрация в воздушном зазоре, ppm											
15	23СЕС-3		4,16	0,04	0,26	0,05	0,08	0,33	2,64	0,92	1,15
16	23СЕС-4		6,44	0,02	0,03	0,02	0,02	0,02	0,11	0,37	0,28
17	23СЕС-5		75,34	0,01	0,09	0,02	0,02	0,02	0,11	0,39	0,23
18	23СЕС-6		212,59	0,01	0,03	0,02	0,02	0,01	0,07	0,33	0,04
19	23СЕС-7		22,95	0,01	0,15	0,02	0,05	0,01	0,16	0,38	0,18
20	23СЕС-8		9,92	0,01	0,02	0,02	0,05	0,01	0,02	0,42	0,30
21	23СЕС-9		3,96	0,02	0,02	0,03	0,03	0,01	0,06	0,42	0,25

Таблица 7

Состав неуглеводородных газов в грунтах и придонной воде в пункте наблюдений «Кургальский риф – о-в Сескар» (концентрация газов в воздушном зазоре)

№ п/п	Номер т.н.	Интервал опробования, см	CO ₂	He	H ₂	O ₂	N ₂
			ppm			%	
			Пробы грунта				
1	23СЕС-3	1–8	5690,96	32,99	10,06	0,31	97,89
2	23СЕС-3	33–40	4156,48	12,00	9,42	0,49	98,07
3	23СЕС-4	1–8	5078,79	73,77	13,74	0,38	97,70
4	23СЕС-4	23–30	2302,87	12,96	6,96	0,40	98,20
5	23СЕС-5	1–8	8880,07	100,31	7,31	0,35	87,80
6	23СЕС-5	39–46	8396,38	20,30	8,04	0,47	79,95
7	23СЕС-6	1–8	16123,55	53,24	10,03	0,20	86,13
8	23СЕС-6	36–43	9735,34	33,40	9,40	0,31	86,49
9	23СЕС-7	1–8	4645,36	427,76	17,98	0,52	87,97
10	23СЕС-7	15–20	19718,35	103,26	10,26	0,22	80,40
11	23СЕС-8	1–8	2430,09	235,88	15,89	0,36	98,08
12	23СЕС-8	18–25	2651,06	13,09	6,68	0,31	94,49
13	23СЕС-9	1–8	10372,33	19,68	4,58	0,25	97,90
14	23СЕС-9	29–36	1560,24	22,49	7,23	0,52	98,38
Номер т.н.			Придонная вода				
15	23СЕС-3		712,61	29,63	9,63	19,32	80,48
16	23СЕС-4		1622,01	6,69	4,06	19,19	80,37
17	23СЕС-5		793,75	6,46	3,46	19,20	80,72
18	23СЕС-6		629,03	13,45	6,97	19,48	80,45
19	23СЕС-7		1462,96	6,19	3,19	20,93	78,76
20	23СЕС-8		232,23	5,98	3,91	20,09	79,27
21	23СЕС-9		380,17	13,79	6,75	19,97	79,98

Таблица 8

Статистические параметры распределения метана и его гомологов в грунтах, отобранных в пункте наблюдения «Кургальский риф – о-в Сескар»

Углеводородные газы	Кол-во набл.	Среднее	Медиана	Минимум	Максим.	Ст. откл.
ppm (исходная концентрация в воздушном зазоре)						
Метан	14	65 369	27 818	2443,88	195057,5	71476,25
Этан	14	0,08	0,08	0,02	0,14	0,04
Этилен	14	0,36	0,27	0,11	1,56	0,37
Пропан	14	0,75	0,8	0,31	1,17	0,29
Пропилен	14	0,13	0,11	0,02	0,34	0,1
i-бутан	14	0,08	0,05	0	0,24	0,08
n-бутан	14	1,41	0,95	0,26	3,6	1,17
i-бутилен + бутен-1	14	0,92	0,89	0,52	1,5	0,28
n-пентан	14	0,34	0,31	0,12	0,72	0,14

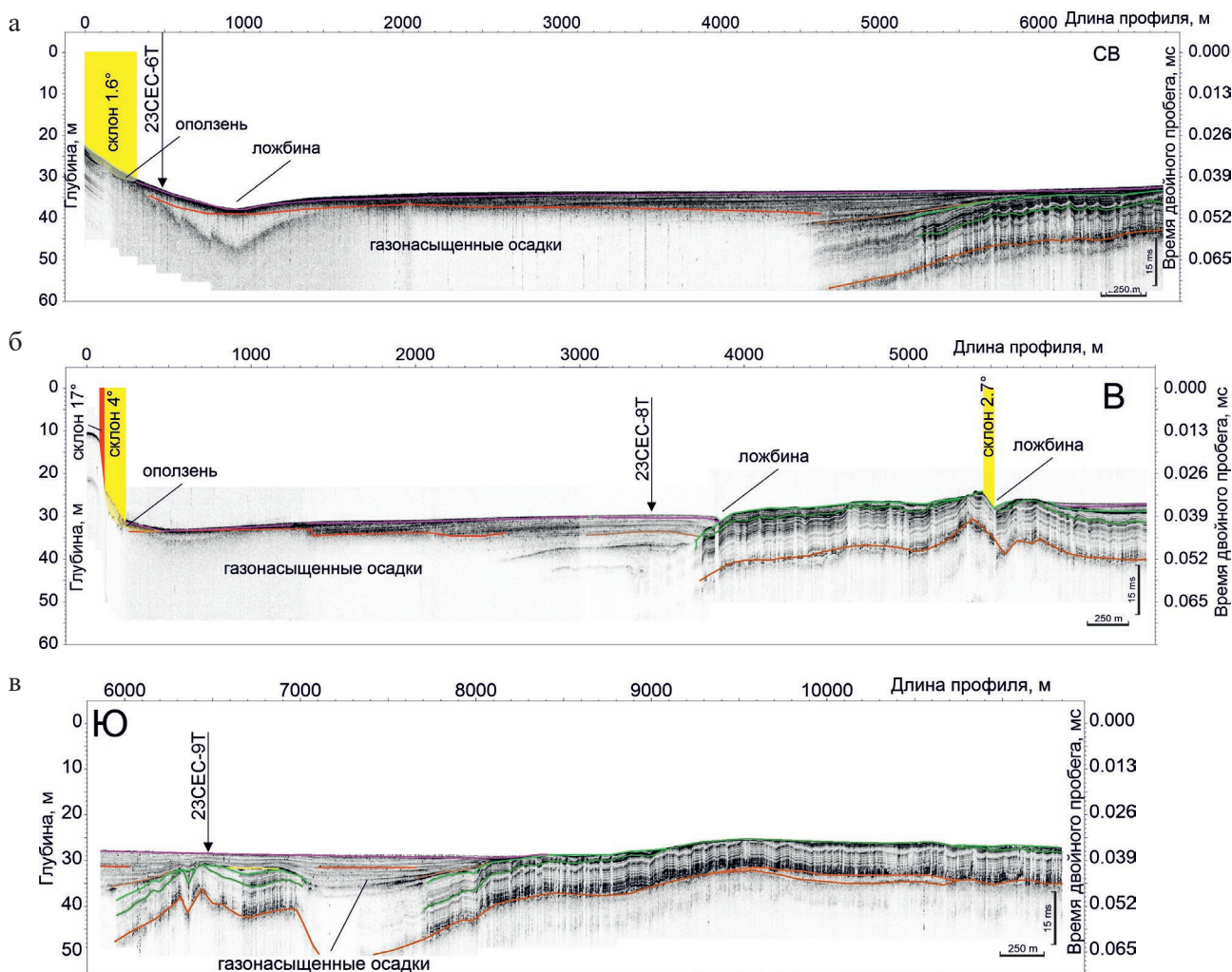


Рис. 39. Профили НСАП, пересекающие поля газонасыщенных илов, и точки пробоотбора в пункте наблюдений «Кургальский риф – о-в Сескар»

Номера профилей НСАП: *а* – 20230613_102844, *б* – 20230612_222330-20230612_212335, *в* – 20230612_194301 + 20230612_204116_2

осадков не превышает 1 м. Концентрация метана в приповерхностном слое осадков на интервале 27–34 см мала и составляет 40 ppm.

На рис. 37 представлен акустический разрез в районе расположения ст. 23ГГ-08-Т, где мощность газонасыщенных голоценовых илов превышает 10 м. Концентрация метана в приповерхностном слое осадков на глубине по разрезу 27–34 см достигает ураганных значений –158 019 ppm.

В вертикальном распределении концентраций метана в приповерхностном разрезе отложений также наблюдается заметная дифференциация. На станциях опробования с высоким содержанием метана, как правило, более глубокие слои осадков характеризуются повышенными его концентрациями (рис. 38, *а*). При более низких содержаниях метана отмечены случаи относительного превышения концентраций метана в приповерхностных слоях (рис. 38, *б*),

при крайне низких содержаниях концентрации метана близко между собой (рис. 38, *в*).

В донных грунтах пункта наблюдения «Кургальский риф – о-в Сескар» определены максимальные концентрации метана из выявленных в восточной части Финского залива в 2023 г. (табл. 6, 7, 8). Наиболее протяженные поля газонасыщенных отложений мощностью до 10 м закартированы вдоль восточного подножия склона банки Хитаматала в пределах контуров погребенной долины, слабо выраженной и в современном рельефе дна (рис. 39).

Газонасыщенные грунты представлены темно-серыми до черного текуче-пластичными алевропелитами, с поверхности (до 2 см) с зеленовато-бурым наилком (рис. 40, *а*). Вниз по разрезу осадок становится пористым. Среднее содержание метана на этом участке составляет 139097 ppm (т.н. 23-СЕС-5, 6, 7). Восточнее среднее содержание метана на порядок

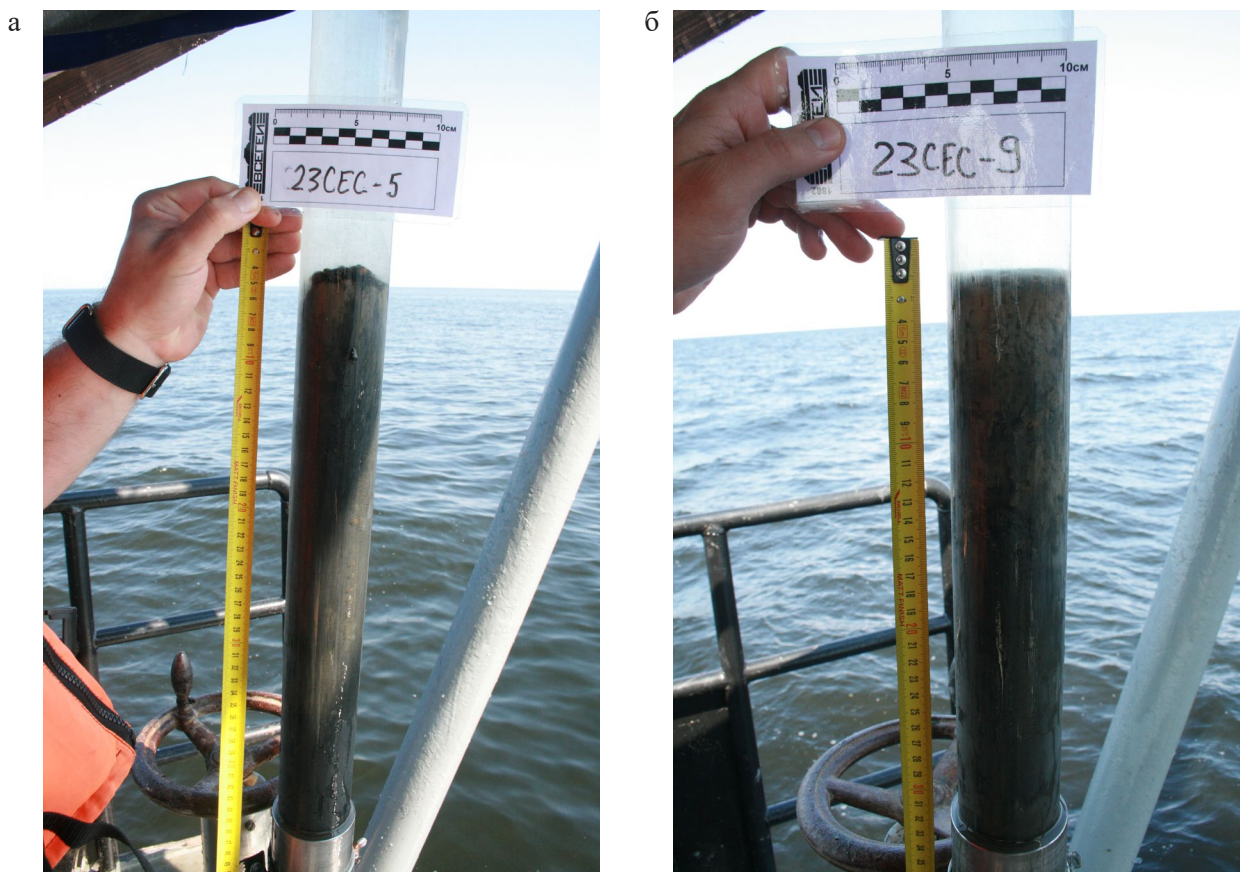


Рис. 40. Алевропелитовые илы

а – газонасыщенные, ст. 23СЕС-5, максимальная концентрация метана (до 19,5%); *б* – содержат мало газов, ст. 23СЕС-9, минимальная концентрация метана (0,3–0,4%)

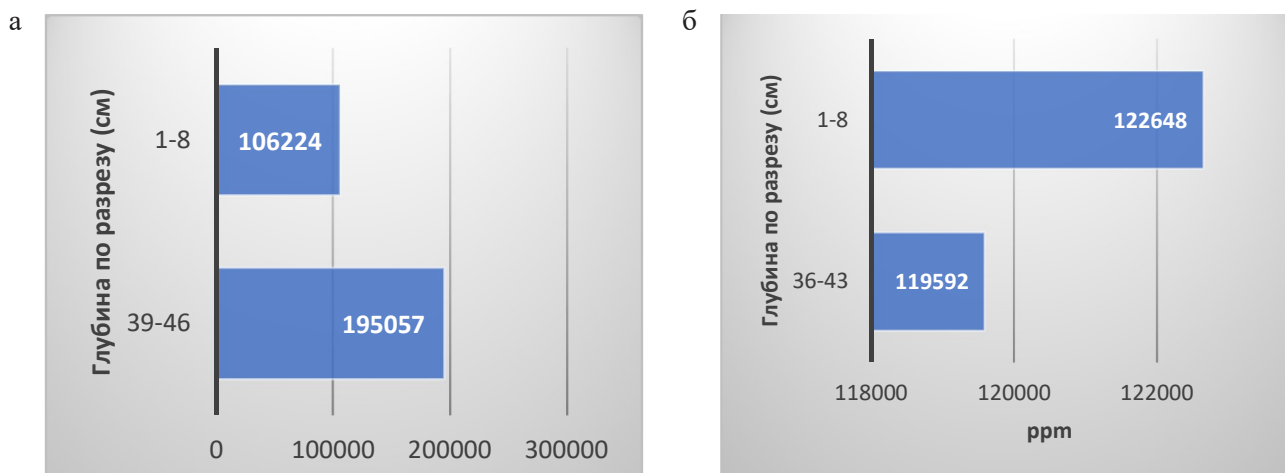


Рис. 41. Примеры распределения метана по вертикальному разрезу газонасыщенных грунтов пункта наблюдений «Кургальский риф – о-в Сескар»

а – ст. 23СЕС-5, *б* – ст. 23СЕС-6

ниже и составляет 10074 ppm (т.н. 23-СЕС-3, 4, 8, 9), хотя визуально осадки мало отличаются от вышеописанных. Обычно они несколько менее пористые и ниже отметки по разрезу – 30 см преобладает не черный, а зеленовато-серый окрас.

Ранее было установлено, что периодически в ложбине у подножия банки Хитаматала в придонной воде фиксируются анаэробная обстановка [Информационный бюллетень..., 2012].

В распределении концентраций метана по вертикальному разрезу грунтов наблюдается

Таблица 9

**Статистические параметры распределения метана и его гомологов
в пункте наблюдений «Выборгский залив»**

Углеводородные газы	Кол-во набл.	Среднее	Медиана	Минимум	Максимум	Ст. откл.
ppm						
Метан	6	37 698	253 67	36	10 268 49	30 090
Этан	6	0,08	0,04	0,02	0,19	0,08
Этилен	6	0,34	0,16	0,07	0,98	0,38
Пропан	6	0,80	0,72	0,22	1	0,35
Пропилен	6	0,18	0,07	0,05	0,57	0,22
i-бутан	6	0,08	0,06	0,03	0,2	0,07
n-бутан	6	1,04	0,86	0,22	1,38	0,51
i-бутилен + бутен-1	6	0,80	0,71	0,48	1,55	0,42
n-пентан	6	0,31	0,29	0,12	0,52	0,16

Таблица 10

**Состав неуглеводородных газов в грунтах и придонной воде в пункте наблюдений
«Выборгский залив» (концентрация газов в воздушном зазоре)**

№ п/п	Номер т.н.	Интервал опробования, см	CO ₂	He	H ₂	O ₂	N ₂
			ppm			%	
			Пробы грунта				
1	23ВЗ-1	1–8	11103,21	11,06	4,33	0,40	96,45
2	23ВЗ-1	30–37	9501,30	14,62	6,20	0,26	88,03
3	23ВЗ-2	1–8	5666,31	108,10	8,23	0,24	95,68
4	23ВЗ-2	35–42	10272,28	16,65	2,14	0,76	91,02
5	23ВЗ-3	1–8	4247,70	7,24	4,43	0,63	98,08
6	23ВЗ-3	15–21	2752,21	18,46	8,79	0,66	98,53
	Номер т.н.		Придонная вода				
7	23ВЗ-1		2588,36	8,80	3,21	19,26	79,92
8	23ВЗ-2		924,13	9,64	4,24	19,82	79,90
9	23ВЗ-3		1083,57	17,69	5,17	19,04	80,36

существенная дифференциация, но незначительно связанная с содержанием метана в колонке (рис. 41).

Станции отбора проб грунтов в пункте наблюдений «Выборгский залив» сосредоточены в прол. Бьёркезунд. Статистические параметры распределения метана и его гомологов приведены в табл. 9, а фактические концентрации газов – в табл. 10, 11.

На этом участке наблюдается значительная неравномерность в распределении метана. При фоновой концентрации метана 25 367 ppm, на станции 23ВЗ-1 на интервале 30–37 см зафик-

сировано содержание метана 102 684 ppm, а минимальная концентрация метана отмечена на ст. 23ВЗ-3, где она составила 36 ppm, хотя в обоих случаях поверхностный слой грунтов представлен сходными текучими черными алевропелитовыми илами. Различия заключаются в мощностях генерирующих метан осадков. Станции отбора проб грунтов 23ВЗ-1 и 23ВЗ-2 расположены в пределах зон активного накопления илов, где их мощность достигает 10 м (рис. 9, б), а ст. 23ВЗ-3 на склоне моренной гряды, где мощность илов не превышает 1–2 м (рис. 9, а).

Таблица 11

Состав углеводородных газов в грунтах и придонной воде в пункте наблюдений «Выборгский залив»

№ п/п	Номер т.н.	Интервал опробования, см	Метан	Этан	Этилен	Пропан	Пропилен	i-бутан	n-бутан	i-бутилен + бутен-1	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	n-C ₅ H ₁₂
Пробы грунта, исходная концентрация в воздушном зазоре, ppm											
1	23В3-1	1–8	18186,66	0,03	0,13	0,56	0,05	0,03	0,22	0,57	0,19
2	23В3-1	30–37	102684,79	0,04	0,16	1,85	0,04	0,02	2,65	0,46	0,32
3	23В3-2	1–8	32546,84	0,02	0,07	0,88	0,06	0,20	1,38	0,48	0,52
4	23В3-2	35–42	72679,97	0,05	0,16	1,00	0,09	0,06	1,11	0,85	0,26
5	23В3-3	1–8	54,98	0,17	0,52	0,22	0,26	0,10	0,60	0,89	0,41
6	23В3-3	15–21	36,29	0,19	0,98	0,27	0,57	0,05	0,28	1,55	0,12
Придонная вода, исходная концентрация в воздушном зазоре, ppm											
7	23В3-1		11,02	0,01	0,05	0,00	0,01	0,01	0,16	0,37	0,04
8	23В3-2		11,97	0,02	0,04	0,03	0,02	0,01	0,06	0,28	0,19
9	23В3-3		8,74	0,01	0,15	0,05	0,07	0,12	0,78	0,42	0,34

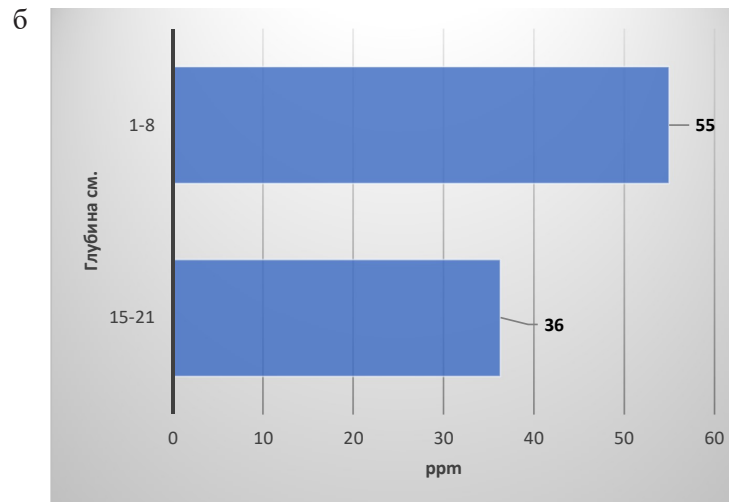
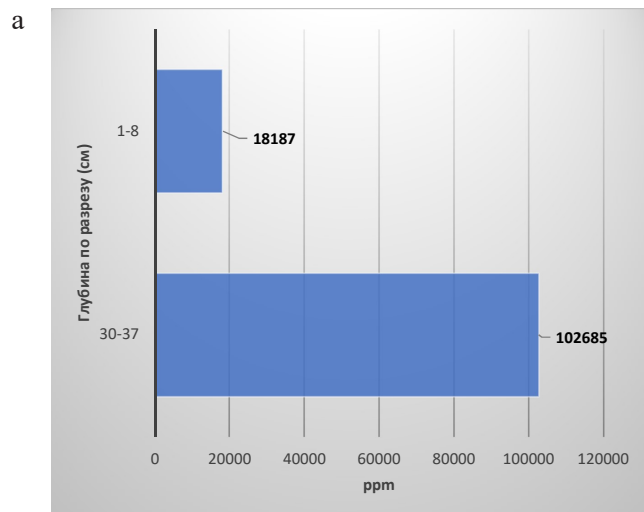


Рис. 42. Примеры распределения метана по вертикальному разрезу грунтов в пункте наблюдений «Выборгский залив»

а – аст. 23В3-1, б – сст. 23В3-3

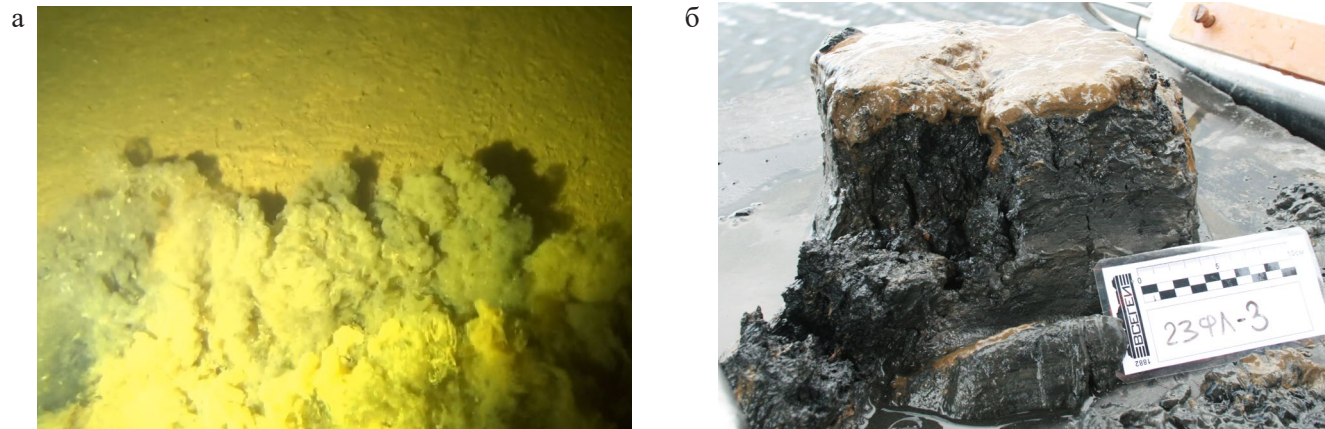


Рис. 43. Алевропелиты газонасыщенные. Ст. 23ФЛ-3

а – подводная фотография дна; *б* – проба, отобранная с помощью бокс-корера

Таблица 12

Состав углеводородных газов в грунтах и придонной воде в пункте наблюдений «Мыс Флотский – мыс Песчаный»

№ п/п	Номер т.н.	Интервал опробования, см	Метан	Этан	Этилен	Пропан	Пропилен	i-бутан	n-бутан	i-бутилен + бутен-1	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	n-C ₅ H ₁₂
Пробы грунта, исходная концентрация в воздушном зазоре, ppm											
1	23ФЛ-1	1–8	3623,42	0,03	0,17	0,60	0,06	0,04	0,50	0,99	0,62
2	23ФЛ-1	37–44	44903,80	0,04	0,19	1,63	0,06	0,07	1,31	0,46	0,96
3	23ФЛ-2	1–7	1818,34	0,05	0,17	0,51	0,06	0,04	0,22	0,64	0,01
4	23ФЛ-2	45–52	103077,18	0,06	0,19	1,61	0,13	0,06	1,85	0,78	0,15
5	23ФЛ-3	1–8	1594,04	0,22	0,33	0,42	0,12	0,04	0,47	0,62	0,35
6	23ФЛ-3	35–43	102970,94	0,23	0,40	1,40	0,18	0,08	1,23	0,87	0,29
Придонная вода, исходная концентрация в воздушном зазоре, ppm											
	Номер т.н.										
7	23ФЛ-1		10,61	0,02	0,08	0,01	0,05	0,03	0,10	0,39	0,33
8	23ФЛ-2		15,93	0,01	0,08	0,02	0,05	0,02	0,10	0,41	0,05
9	23ФЛ-3		10,16	0,02	0,05	0,01	0,02	0,01	0,06	0,28	0,15

Таблица 13

Состав неуглеводородных газов в грунтах и придонной воде в пункте наблюдений «мыс Флотский – мыс Песчаный» (концентрация газов в воздушном зазоре)

№ п/п	№ т.н.	Интервал опробования, см	CO ₂	He	H ₂	O ₂	N ₂
			ppm			%	
			Пробы грунта				
1	23ФЛ-1	1-8	5223,35	7,97	4,58	0,51	98,52
2	23ФЛ-1	37-44	5788,09	10,33	3,32	0,46	93,90
3	23ФЛ-2	1-7	3110,80	8,29	3,24	0,56	98,84
4	23ФЛ-2	45-52	3222,98	13,10	4,46	0,42	88,42
5	23ФЛ-3	1-8	8322,88	8,69	5,51	0,88	98,03
6	23ФЛ-3	35-43	3193,04	11,29	4,61	1,54	87,30
№ т.н.			Придонная вода				
7	23ФЛ-1		2536,28	6,37	2,54	19,68	80,27
8	23ФЛ-2		1210,40	6,31	2,73	20,25	79,41
9	23ФЛ-3		1611,29	7,35	3,40	20,64	78,77

Таблица 14

Статистические параметры распределения метана и его гомологов на участке наблюдения «Мыс Флотский – мыс Песчаный»

Углеводородные газы	Кол-во набл.	Среднее	Медиана	Минимум	Максимум	Ст. откл.
ppm						
Метан	6	429 975	24 263	1594,04	103077,2	49336,2
Этан	6	0,1	0,06	0,03	0,23	0,09
Этилен	6	0,24	0,19	0,17	0,4	0,1
Пропан	6	1,03	1	0,42	1,63	0,58
Пропилен	6	0,1	0,09	0,06	0,18	0,05
i-бутан	6	0,05	0,05	0,04	0,08	0,02
n-бутан	6	0,93	0,86	0,22	1,85	0,63
i-бутилен + бутен-1	6	0,73	0,71	0,46	0,99	0,19

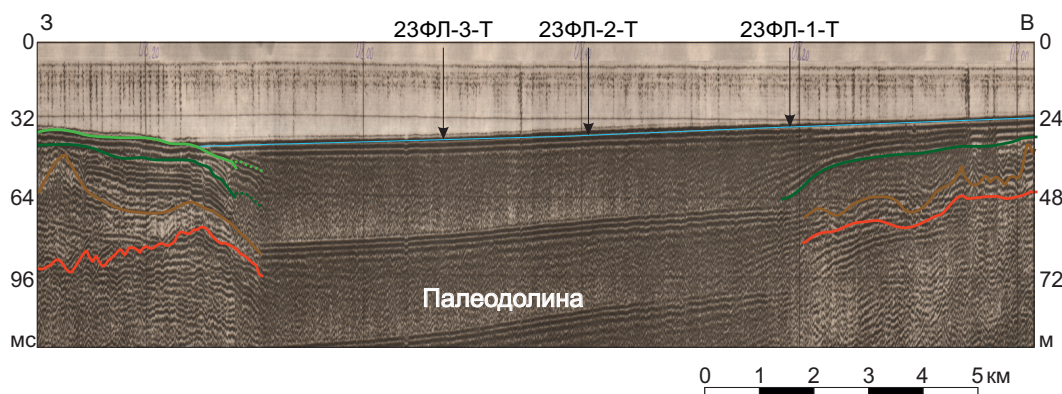


Рис. 44. Фрагмент архивного профиля НСАП NSP_1989_FG_PR9Ш, пересекающего по диагонали палеодолину, заполненную газонасыщенными грунтами

По вертикальному разрезу также отмечается дифференциация концентраций метана. Более глубокие по разрезу горизонты характеризуются повышенными содержаниями метана (рис. 42, *a*), но при низких концентрациях эта закономерность не соблюдается (рис. 42, *b*).

В пункте наблюдений мыс Флотский – мыс Песчаный выявлены поля газонасыщенных грунтов, накапливающихся у подножия вдоль береговой террасы на глубинах моря более 22 м. Эти отложения представлены текучими алевропелитами зеленовато-серыми и черными, часто пористыми уже в приповерхностных слоях и с сильным запахом сероводорода (рис. 43).

Как и на описанных предыдущих участках дна концентрации метана распределены крайне неоднородно, как по латерали, так и по глубине опробования (табл. 12, 13).

Статистические параметры распределения метана и его гомологов приведены в табл. 14.

Максимальные концентрации метана, превышающие 10%, фиксируются на станциях 23ФЛ-2 и 23ФЛ-3 на интервале опробования от 30 до 50 см. На станции 23ФЛ-1 на этом же интервале концентрация метана в 2 раза меньше и составляет 4,5%. По данным НСАП, станции опробования расположены в пределах погребенной палеодолины, в которой суммарная мощность

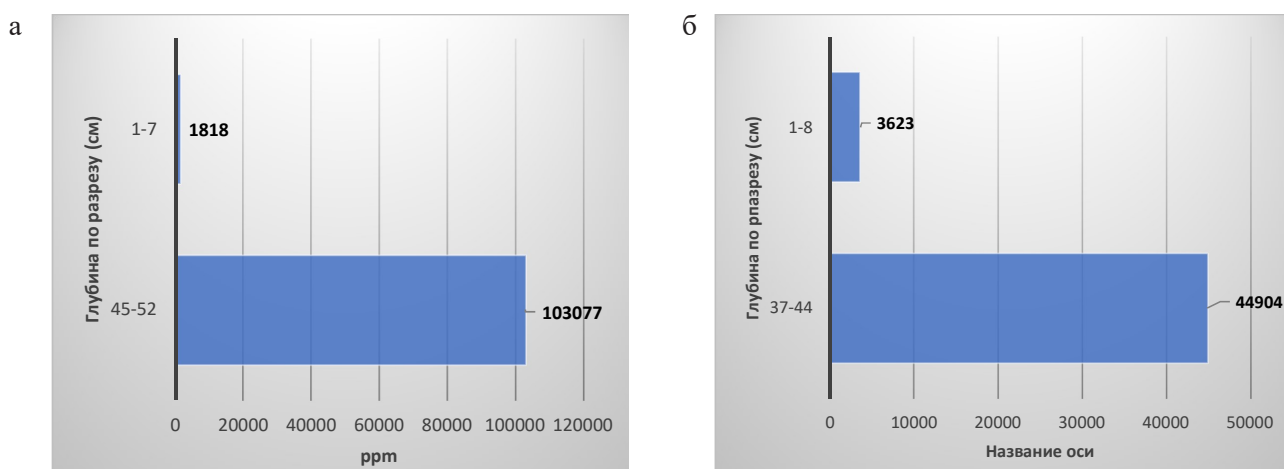


Рис. 45. Примеры распределения метана по вертикальному разрезу газонасыщенных грунтов пункта наблюдений «Мыс Флотский – мыс Песчаный»

a – ст. 23ФЛ-2, *b* – 23ФЛ-1

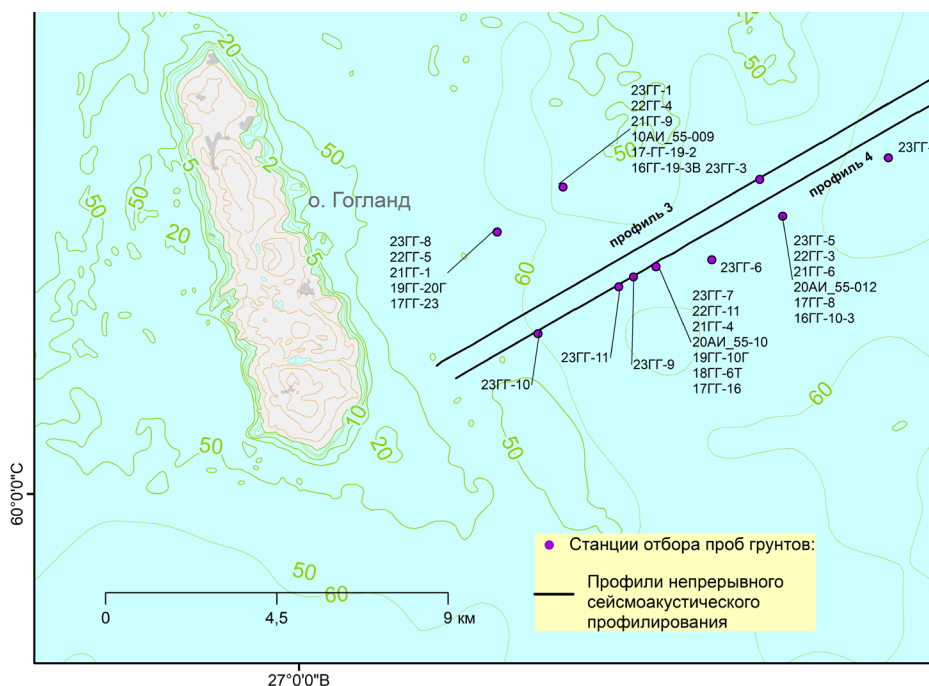


Рис. 46. Положение станций мониторинга за 2016–2023 гг. в пункте наблюдений «Район о. Гогланд»

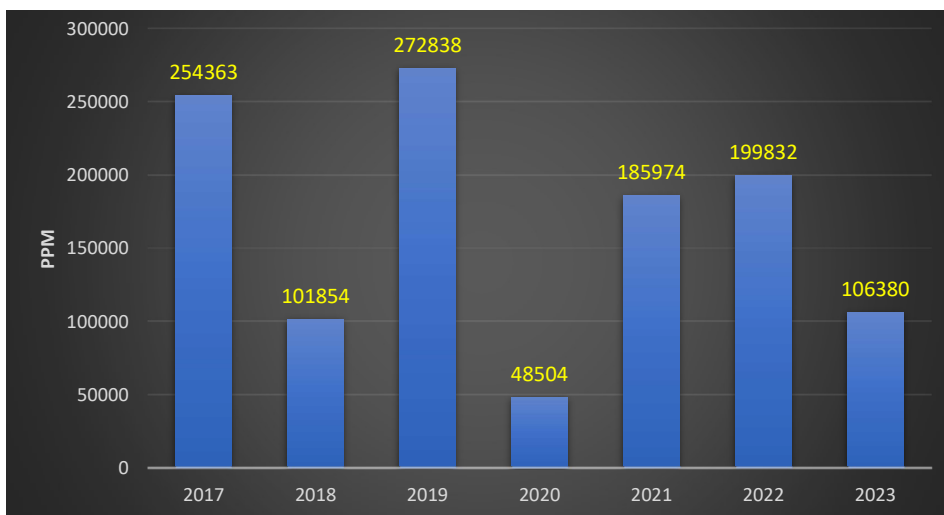


Рис. 47. Изменение концентрации метана в приповерхностной части разреза в 2017–2023 гг. Точка мониторинга I (станции 17-ГГ-16, 18-гг-6т-2, 19-ГГ-10Г, 2020АИ_55-010, 21-ГГ-4, 22ГГ-11, 23ГГ-7)

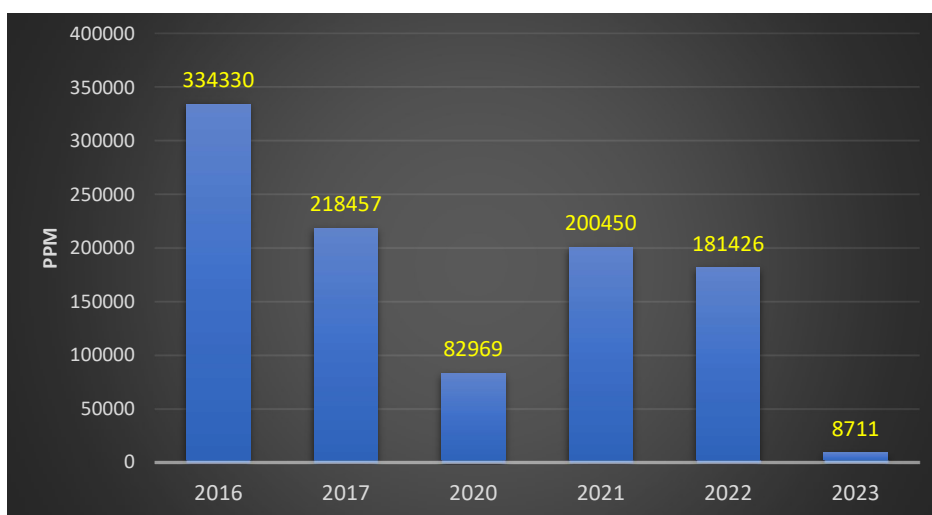


Рис. 48. Изменение концентрации метана в приповерхностной части разреза в 2016–2023 гг. Точка мониторинга II (станции 16-Г-10-3, 17-ГГ-8, 20АИ_55-012, 21-ГГ-6, 22ГГ-3, 23ГГ-5)

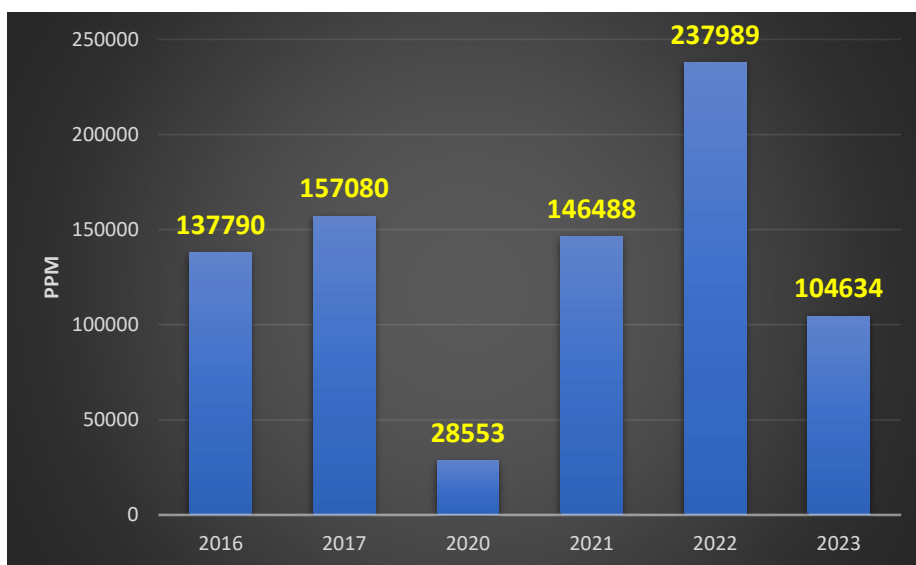


Рис. 49. Изменение концентрации метана в приповерхностной части разреза в 2016–2023 гг. Точка мониторинга III (Станции 16-Г-19-3В, 17-ГГ-19-2, 2020-АИ_55-009, 21-ГГ-9, 22ГГ-4, 23ГГ-1)

четвертичных отложений, возможно, превышает 50–60 м (рис. 44). Станции 23ФЛ-2,3-Т расположены по центру палеодолины с максимальной мощностью отложений, ст. 23ФЛ-1-Т – на ее склоне, где их мощность существенно меньше. Вероятно, это и обуславливает столь заметное расхождение между этими станциями в содержании метана в приповерхностном слое осадков.

В вертикальном разрезе грунтов также наблюдается заметная дифференциация концентраций метана. Более глубокие вскрытые горизонты характеризуются повышенными содержаниями метана (рис. 45).

Разгрузка газов из грунтов в водную среду имеет, вероятно, пульсирующий характер, т. е. в течение года процессы накопления метана в толще грунтов могут сменяться дегазацией осадков с выходом метана в воду. Наиболее интенсивный характер изменения концентрации метана в донных осадках во времени установлен для мощной толщи газонасыщенных илов в районе о. Гогланд. Положение станций мониторинга приведено на рис. 46.

Типичные примеры пульсирующего характера процессов накопления и дегазации осадков представлены на рисунках 47–49.

В приповерхностном горизонте осадков в точке мониторинга III (рис. 49) за 1 год (2016–2017 гг.) концентрация метана увеличилась на 14%: с 137 790 до 157 080 ppm. Аналогичная ситуация наблюдается в точке мониторинга I (рис. 47), где за один год (2021–2022 гг.) концентрация метана увеличилась на 7%: с 185 974 до 199 832 ppm. В приведенных эпизодах положительный градиент изменения концентрации невелик, т. е. процесс протекает достаточно плавно. В других случаях наблюдается скачкообразное увеличение концентрации метана в приповерхностном горизонте осадков. Так, в точке мониторинга I (рис. 47) за 1 год (2018–2019 гг.) концентрация метана увеличилась в 2,6 раза: с 101 854 до 272 838 ppm, а в 2020–2021 гг. – в 3,8 раза: с 48 504 ppm до 185 974 ppm. Сходная ситуация выявлена в точке мониторинга III, где зафиксировано повышение концентрации метана за 1 год (2020–2021 гг.) в 5,1 раза (рис. 49) и в точке мониторинга II, где в устье скважины за 1 год (2020–2021 гг.) концентрация метана повысилась в 2,4 раза (рис. 48).

По временному интервалу накопления также наблюдается заметное различие. Как правило, этап накопления метана достаточно кратковременен и протекает в течение не более 1 года. Но иногда этот этап занимает и больший период. Так, на ст. мониторинга III достаточно интенсивное накопление метана проходило в те-

чение 3 лет: с 28 533 ppm в 2020 г., 146 488 ppm в 2021 г. и до 237 989 ppm в 2022 г. (рис. 49).

В целом в пределах бассейна седиментации в районе о. Гогланд увеличение содержания метана в приповерхностном слое донных осадков на накопительном временном интервале характеризуется высокой интенсивностью, со значительным положительным градиентом.

Дегазация осадков за счет выхода метана в водную толщу так же, как и накопление, значительно различается по интенсивности. В одних случаях процесс протекает активно. В точке мониторинга I (рис. 47) за 1 год (2019–2020 гг.) концентрация метана уменьшилась в 5,6 раза с 272 838 до 48 504 ppm, а в 2017–2018 гг. в 2,4 раза с 254 363 до 101 854 ppm. В точке мониторинга II (рис. 48) за год (2022–2023 гг.) концентрация метана упала более, чем в 21 раз: с 181 426 до 8711 ppm. Аналогичная ситуация наблюдается и на ряде других станций. Вероятно, в подобных случаях процесс дегазации имеет лавинообразный характер, реализуясь практически как одномоментный прорыв в придонную воду. В других случаях процесс дегазации протекает медленно, вероятно, за счет плавной диффузии газов из грунтов в морскую среду. Так, в точке мониторинга II (рис. 48) концентрация метана в приповерхностной части разреза за 2021–2022 гг. уменьшилась в 1,1 раза: с 200 450 до 181 426 ppm, а в 2016–2017 гг. – в 1,5 раза с 334 330 до 218 457 ppm.

На одной точке мониторинга в разные периоды времени может значительно меняться интенсивность накопления метана и дегазации (рис. 47–49), хотя отмечены случаи, когда содержание метана в приповерхностном слое осадков на протяжении значительного периода остается достаточно стабильным. Так, в точке мониторинга IV (рис. 50) в течение 2019–2023 гг. при среднем значении 154 299 ppm отклонение концентрации метана от среднего не превышало 14 % или 23 104 ppm.

В пункте наблюдения «Кургальский риф – о-в Сескар» мониторинг распределения метана в осадках начался в 2021 г. Результаты мониторинга в точке VI представлены на рис. 51, а. В данном случае фиксируется пульсирующий характер изменения содержания метана в приповерхностном слое донных осадков. В 2021–2022 гг. выявлено лавинообразное уменьшение концентрации метана в 8,8 раза с 149 636 до 16 885 ppm и столь же лавинообразное увеличение концентрации метана в 2022–2023 гг. в 11,5 раза с 16 885 до 195 058 ppm. В точке VII фиксируется рост концентрации метана в приповерхностном слое донных осадков в 2022–2023 гг. в 3,5 раза: с 52 531 до 184 772 ppm (рис. 51, б).

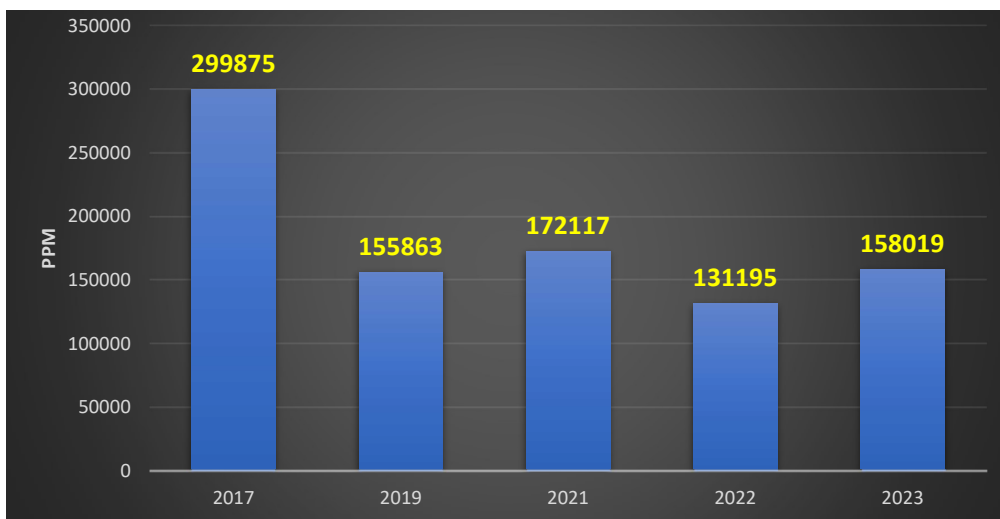


Рис. 50. Изменение концентрации метана в приповерхностной части разреза в 2017–2023 гг. Точка мониторинга IV (станции 17-ГГ-23, 19-ГГ-20Г, 21-ГГ-1, 22ГГ-5, 23ГГ-8)

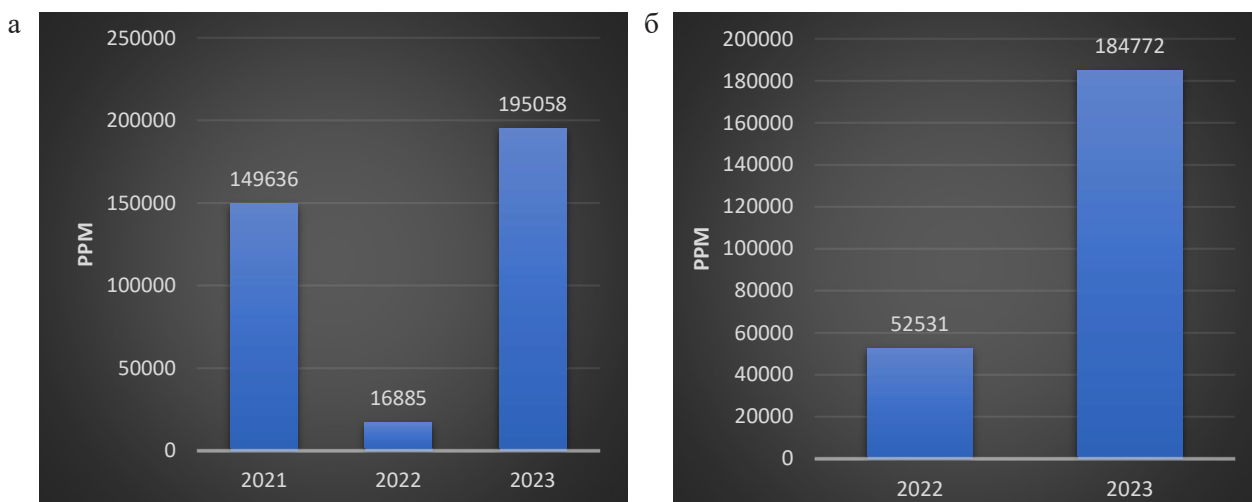


Рис. 51. Изменение концентрации метана в приповерхностной части разреза за 2021–2023 гг.

а – точка мониторинга VI (станции 21-СЕС-2, 22СЕС-1, 23СЕС-5); б – точка мониторинга VII (станции 22СЕС-2, 23СЕС-7)

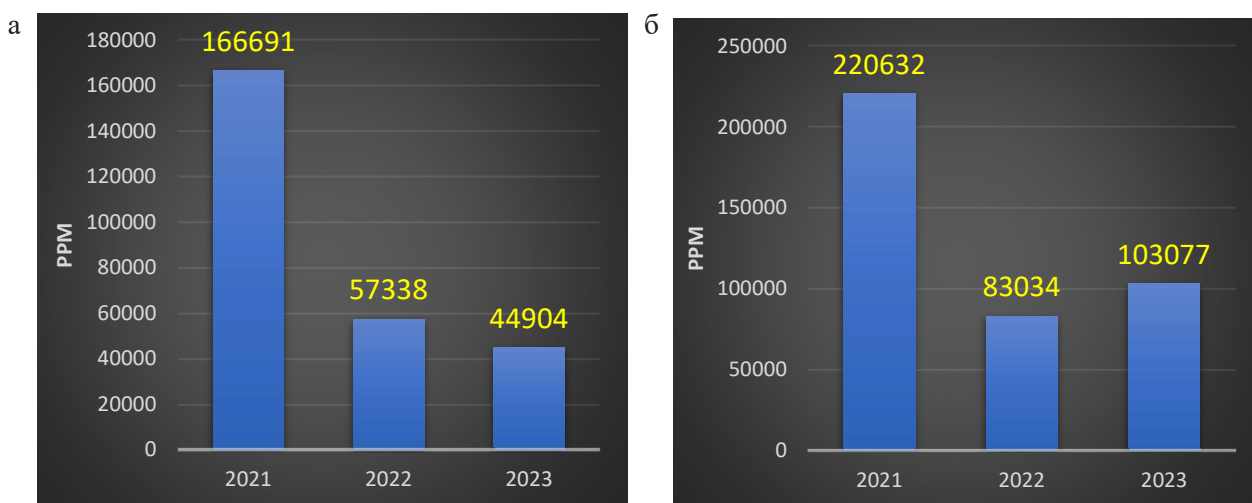


Рис. 52. Изменение концентрации метана в приповерхностной части разреза грунтов в 2021–2023 гг.

а – точка мониторинга VIII (станции 21-ФЛ-3, 22-ФЛ-1, 23-ФЛ-1); б – точка мониторинга IX (станции 21-ФЛ-4, 22-ФЛ-2, 23-ФЛ-2)

В пункте наблюдений «Мыс Флотский – мыс Песчаный» мониторинг распределения метана в грунтах начался в 2021 г. В точках мониторинга VIII и IX в приповерхностном слое донных осадков наблюдается лавинообразное уменьшение концентрации метана за 1 год (2021–2022 гг.) в 2,9 и 2,7 раза соответственно (рис. 52 а, 52, б). В 2023 г. на точке мониторинга VIII продолжался слабовыраженный процесс дегазации осадков, а в точке мониторинга IX в 2023 г. процесс дегазации осадков поменялся на незначительное накопление метана (в 1,2 раза).

В пяти колонках газонасыщенных грунтов (длинной 2–3 м), отобранных в 2022–2023 гг. в районе о. Гогланд, в Выборгском заливе и к юго-востоку от о. Сескар сотрудниками ВНИИ-Океангеологии изучено послойное распределение концентраций метана, углекислого газа (CO_2), сульфата и растворенного органического вещества (РОВ) [Киль и др., 2023; Семенов и др., 2023]. На глубине по разрезу примерно 20–30 м выделена транзитная зона сульфат–метан. Резкое уменьшение содержания концентраций лабильного РОВ, метана и углекислого газа выше этой зоны обусловлено процессами микробного окисления метана и органического вещества. Глубже, в предполагаемой зоне метаногенеза, наблюдаются признаки утилизации гуминовых РОВ, вероятно, поставляющих в результате длительного процессинга субстраты, подходящие для метаногенеза [Семенов и др., 2023]. Концентрации углекислого газа также увеличиваются вниз по разрезу опробованных колонок газонасыщенных отложений при прогрессирующей минерализации ОВ [Киль и др., 2023]. Образование CO_2 может происходить в результате ацетокластического метаногенеза ($\text{CH}_3\text{COO}^- + \text{H}^+ \rightarrow \text{CH}_4 + \text{CO}_2$), а над зоной метаногенеза в результате анаэробного окисления метана с участием SO_4 , NO_3 или Fe_2O_3 [Киль и др., 2023]. По данным [Reebourgh, 2007], около 80% метана, образующегося в морских осадках, окисляется анаэробно. На основании совокупности данных о мощностях газонасыщенных донных отложений в Финском заливе, содержания в них $\text{C}_{\text{орг}}$ и скоростях его разложения рассчитано среднее значение поступления CO_2 в атмосферу, которое составляет $0,18 \text{ м}^3$ на 1 м^3 осадка в год. Суммарно объем ежегодной поставки CO_2 в атмосферу из голоценовых илов российской части Финского залива при стандартных условиях составляет 11 млн $\text{м}^3/\text{год}$ [Иванова и др., 2023]. В то же время существенная часть метана минует геохимический барьер анаэробного окисления метана, мигрируя в составе пузырьков свободного газа [Семенов

и др., 2023]. Особенно явно этот процесс проявился на станциях 23СЕС-5, -6, -7, отобранных в пределах долины, протягивающейся вдоль южного склона банки Хитаматала, где зафиксированы очень высокие концентрации метана не только в толще отложений, но и в их поверхностном слое, а также в придонной воде (табл. 6; рис. 41). На площади, где отобраны эти пробы, неоднократно ранее фиксировалась бескислородная зона по характерному отсутствию бурого окисленного наилка и распространению белесоватых бактериальных «матов» на поверхности дна, а также по величине Eh в интервале –200 до –220 [Информационный..., 2014]. В то же время выявлены нисходящие диффузионные потоки сульфата из придонной воды в осадки и в зону анаэробного окисления метана (АОМ), где происходит истощение растворенного сульфата в поровой воде в связи с его восстановлением до H_2S [Киль и др., 2023].

В 2023 г. было проведено определение изотопного состава углерода метана (табл. 15). Величина $\delta^{13}\text{C}$ находится в интервале от –70,8 до –50,8 ‰, что практически совпадает с данными, полученными в 2022 г. Согласно выводам различных исследователей, изменение 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 $\delta^{13}\text{C}$ в современных поверхностных осадках, по данным различных авторов [в т.ч. Прасолов, 1990; Иванов и др., 1992; Канапацкий, 2013], варьирует в диапазоне от –97,5 до –58,2‰. В то же время, по мнению ряда исследователей, величина $\delta^{13}\text{C}$ в метане контролируется не только его генезисом, но и глубиной залегания анализируемых отложений. В частности, в сходном диапазоне: от –84,4 до –50,9‰ значение $\delta^{13}\text{C}$ в метане было установлено и для ледниковых образований [Wasserburg et al., 1963], и для дочетвертичных пород неглубокого (первые сотни метров) залегания (–72,1 до –63,6‰) [Галимов, 1973]. Дополнительным признаком того, что газ производится за счет деятельности микробов в современных осадках, является резкое преобладание содержания метана над его гомологами ($\text{C}_1/\text{C}_{2+3} > 1000$) [Bernard, 1978; Калмычков и др., 2006; Ульянова, 2014; Токарев и др., 2019].

В пробах грунтов, отобранных в пунктах наблюдения «Выборгский залив», «Копорский залив» и «Мыс Флотский – мыс Песчаный» значение $\delta^{13}\text{C}$ в метане колеблется от –57,8 до –70,8‰

Таблица 15

Изотопный состав углерода и соотношение концентрации метана и его гомологов в пробах донных грунтов, отобранных в Финском заливе в 2023 г.

№ п/п	Номер т.н.	Интервал опробования, см	$\delta^{13}C, \text{‰}$, PDB	Соотношение метана к сумме его гомологов (C_1/C_{2+3})	Концентрация метана в воздушном заторе, ppm
1	23ВЗ-1	30–37	-57,8	18524,5	102 685
2	23ВЗ-2	35–42	-67,7	20298,1	72 680
3	23ФЛ-1	37–44	-58,4	9519,4	44 904
4	23ФЛ-2	45–52	-66,6	21352,8	103 077
5	23ФЛ-3	35–43	-70,8	21999,1	102 971
6	23КОП-3	15–20	-61,5	25515,6	226 012
7	23СЕС-5	39–46	-59,7	29784,4	195 058
8	23СЕС-6	36–43	-55,7	20198,0	119 592
9	23СЕС-7	15–20	-50,8	30914,4	184 772
10	23СЕС-8	18–25	-71,3	9660,5	43 012

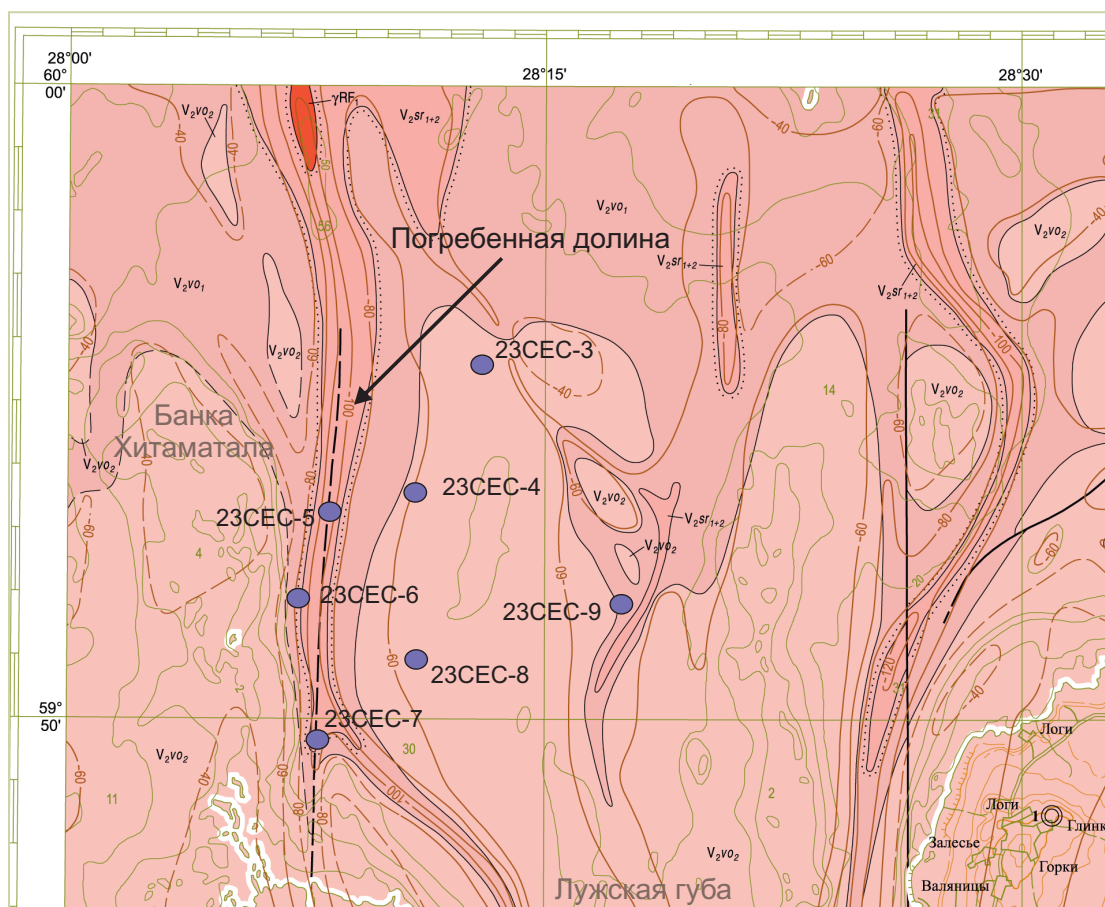


Рис. 53. Фрагмент геологической карты дочетвертичных образований листа О-35-V с положением точек опробования [Государственная..., 2021]. Осадочные породы Валдайского комплекса верхнего венда

V_2vO_2 – верхняя подсвита василеостровской свиты; V_2vO_1 – нижняя подсвита василеостровской свиты; V_2sr_{1+2} – старорусская свита

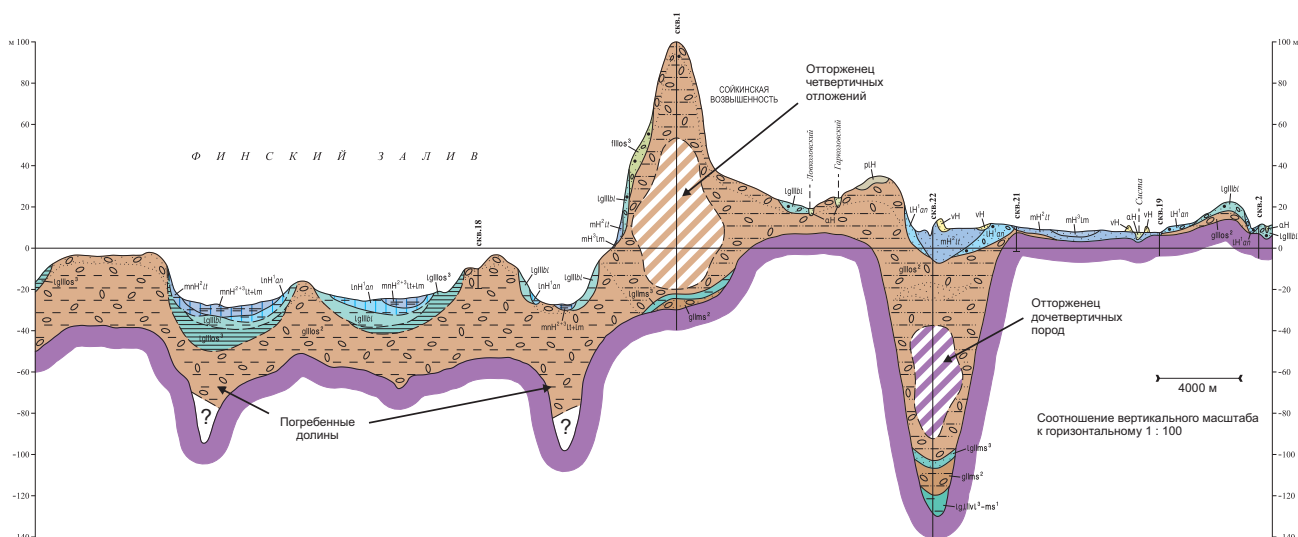


Рис. 54. Разрез с геологической карты четвертичных образований листа O-35-V, пересекающий погребенную долину, где были отобраны грунтовые колонки 23СЕС-5,6,7: средний неоплейстоцен: lg,III¹-ms¹ – вологодский, горкинский и московский горизонты, нерасчлененный межморенный комплекс гляциолимния и лимния; московский горизонт: gIIms² – морена, lgIIms³ – гляциолимний; верхний неоплейстоцен: ошашковский горизонт: gIIos² – морена, fIIos³ – флювиогляциал, lgIIos³ – гляциолимний, lgIIbl – Балтийский гляциолимний; голоцен: lnH¹an – анциловый озерный нефелоид, IH¹an – анциловый лимний; литориновая пачка: mnH²lt – морской нефелоид, mvH²lt – морской ундальювий; mnH²⁺³lt+lm – литориновая и лимниевая пачки нерасчлененные, морской нефелоид; mH³lm – лимниевая пачка, мариний; vH – эолий; aH – аллювий [Государственная..., 2021]

(табл. 15), что свидетельствует о его преимущественно низкотемпературном, малоглубинном «микробном» генезисе, хотя некоторые значения $\delta^{13}\text{C}$ в этих грунтах могут считаться пограничными. На происхождение метана за счет деятельности микроорганизмов указывает и соотношение $\text{C}_1/\text{C}_{2+3}$, изменяющееся в интервале от 9519,4 до 25515,6 (табл. 15).

Изотопный состав углерода метана ($\delta^{13}\text{C}$) в донных отложениях пункта наблюдений «Кургальский риф – о-в Сескар» не столь однозначно указывает на его генезис. На станциях 23СЕС-5, -6, -7, расположенных вдоль восточного подножья банки Хитаматала (рис. 53), изотопный состав углерода метана варьирует в интервале от $-59,7$ до $-50,8\text{‰}$, т. е. несколько выходит за пределы значений, характерных для «микробного» происхождения. При этом, на станции 23СЕС-8, расположенной восточнее банки Хитаматала $\delta^{13}\text{C}$ достигает $-71,3\text{‰}$. Осадки на всех четырех станциях представлены черными текуче-пластичными пористыми алевропелитовыми илами, но станции 23СЕС-5, -6, -7 расположены вдоль погребенной палеодолины, глубоко врезанной в осадочные породы верхнего венда (рис. 53). По оси палеодолины, предположительно, прослеживается разрывное нарушение северного простирания. Сама долина заполнена четвертичными отложениями мощностью более

70 м (рис. 54). По данным бурения на суше в толще ледниковых отложений ошашковского горизонта встречены отторженцы, как четвертичных, так и дочетвертичных образований, а под ошашковской мореной выделяются более древние межморенные и ледниковые отложения [Государственная ..., 2021]. По результатам анализа архивных записей НСАП также можно предположить, что и в погребенной долине под мореной ошашковского оледенения захоронены более древние четвертичные образования. В частности, по данным [Малаховский, Саммет, 1981], микулинская (мгинская) морская межледниковая толща была вскрыта скважиной в погребенной долине на Кургальском полуострове и в виде отторженца в морене на Сойкинской возвышенности. Мощность микулинских отложений, представленных битуминозными глинами, варьирует на суше от 4 до 19 м, а в акватории Лужской губы, предположительно, еще больше [Скибина и др., 2021]. Вполне вероятно, что и в погребенной долине, где расположены станции 23СЕС-5, -6, -7, под ошашковской мореной сохранились останцы или отторженцы микулинской толщи (рис. 53, 54).

О том, что межморенная толща микулинских (мгинских) отложений является газогенерирующей, указано еще в работе И. И. Краснова [1935], который приводит многочисленные

случаи активного газовыделения из скважин, вскрывших эти отложения. В отдельных случаях при бурении скважин фиксировались даже газогрязевые выбросы с самовозгоранием [Дашко и др., 2011; Руденко, 2000]. По составу горючие газы, опробованные в окрестностях Санкт-Петербурга, подразделяются на углеродные, в которых содержание метана доходит до 93%, и углеродно-азотные (43–53% метана, 45–55% азота) [Краснов, 1935; Руденко, 2000]. В современных илах, опробованных в 2023 г., минимальное отношение N_2/CH_4 составляет 3,7, а в 50% случаев превышает 100.

Таким образом по совокупности данных можно допустить, что в отдельных случаях, в частности в пределах погребенной долины вдоль восточных склонов Кургальского рифа и банки Хитамала дополнительным источником метана являются микулинские межморенные битуминозные морские отложения. Здесь же в пробах донных осадков, отобранных на ст. 23СЕС-5, 7, 8, установлены максимальные концентрации гелия (He) – до 0,43%. По мнению И. И. Краснова [1935], если в газовой фазе в четвертичных отложениях содержание не существенно превышает его концентрации в воздухе (0,0025% газовой фазы), то можно предположить его дополнительное поступление по системе тектонических трещин из пород фундамента. В Стокгольмском архипелаге, расположенном в Балтийском море, по данным [Soderberg, Floden, 1993], часть газопроявлений в четвертичных отложениях обусловлена притоком термогенного метана из кристаллических пород по тектоническим разломам. Хотя следует отметить, что доказательства термогенной природы этих газов были признаны не вполне убедительными [Hovland et al., 1993].

В придонных водах концентрация метана по пунктам наблюдения достаточно дискретна. Статистические параметры распределения приведены в табл. 16. Максимальные фоновые медианные значения характерны для пункта наблюдений «Р-н о-ва Гогланд». В пунктах наблюдений «Выборгский залив», «мыс Флотский – мыс Песчаный» и «Кургальский риф – о-в Сескар» фоновые медианные значения содержания метана в придонной воде близки между собой и приблизительно в 1,5 раза ниже, чем в районе о-ва Гогланд. В пунктах наблюдений «Выборгский залив» и «мыс Флотский – мыс Песчаный» максимальный разброс значений не превышает 5 ppm. Максимальная дисперсия в распределении концентрации метана наблюдается в пункте наблюдений «Кургальский риф – о-в Сескар». Минимальное значение составляет 3,96 ppm, а максимальное – 212,59 ppm. Наиболее высо-

кие концентрации сосредоточены в западной части площади и приурочены к ложбине, протягивающейся вдоль восточного подножья банки Хитаматала. Содержание метана на этом участке колеблется от 22,9 до 212,5 ppm. Восточнее содержание метана значительно ниже и варьирует в интервале 3,9–9,9 ppm. Причем по мере удаления станции опробования от ложбины закономерно уменьшается концентрация метана.

Для выявления обобщенных закономерностей в распределении метана, а также ряда химических элементов в донных отложениях и придонной воде использован факторный анализ. На рис. 55 представлена диаграмма факторных нагрузок распределения ряда химических элементов и метана в донных грунтах. На диаграмме уверенно фиксируется наличие двух четко выраженных ассоциаций. Первая представлена тесно связанной группой рудных элементов, вторая – группой пороодообразующих, редкоземельных и, частично, рудных элементов. Метан не связан ни с одной из выделенных ассоциаций. Однако наблюдается его определенная связь с фосфором (P_2O_5) и марганцем (MnO). На рис. 56 представлена диаграмма факторных нагрузок распределения ряда химических элементов и метана в придонной воде. Здесь метан также ведет себя индифферентно по отношению ко всем определяемым элементам.

Как правило, глубинные газовые флюиды обогащены широким кругом химических элементов, в том числе рядом металлов. Общий источник поступления метана и металлов в донные осадки должен приводить к образованию ассоциативных связей, которые в свою очередь зафиксировались бы факторным анализом. В данном случае результаты факторного анализа показывают отсутствие связи между метаном и основными определяемыми химическими элементами, что косвенно подтверждает мнение о том, что углеводороды группы метана в основной своей массе преимущественно являются продуктом малоглубинного «биогенного» генезиса. Связь метана с P_2O_5 (современное поступление «питательных веществ») и MnO (современное конкрециеобразование с каталитическим вкладом бактерий) в приповерхностных осадках также косвенно свидетельствует о его малоглубинном «биогенном» генезисе.

В пункте наблюдений «Копорский залив» с использованием площадных съемок методами ГЛБО и многолучевого эхолотирования (технология бэкскатер) установлены концентрические структуры, слабо проявленные в рельефе [Информационный..., 2013, 2023]. Проведенный повторный анализ записей ГЛБО с 2012 г. с коррекцией навигационной привязки на

Таблица 16

Статистические параметры распределения метана и его гомологов в придонных водах по пунктам наблюдения (ppm)

Гомологи метана	«Выборгский залив»						«Район о-ва Гогланд»					
	Количество набл.	Среднее	Медиана	Минимум	Максимум	Ст. откл.	Количество набл.	Среднее	Медиана	Минимум	Максимум	Ст. откл.
CH ₄	3	10,58	11,02	8,74	11,97	1,66	10	23,18	15,67	4,27	72,73	22,25
C ₂ H ₆	3	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	10	0,01	0,01	0,01	0,02	0,00
C ₂ H ₄	3	0,08	0,05	0,04	0,15	0,06	10	0,05	0,05	0,02	0,10	0,03
C ₃ H ₈	3	0,03	0,03	0,00	0,05	0,02	10	0,02	0,02	0,02	0,04	0,01
C ₃ H ₆	3	0,03	0,02	0,01	0,07	0,03	10	0,03	0,03	0,02	0,05	0,01
i-C ₄ H ₁₀	3	0,05	0,01	0,01	0,12	0,06	10	0,02	0,02	0,01	0,04	0,01
n-C ₄ H ₁₀	3	0,33	0,16	0,06	0,78	0,39	10	0,08	0,08	0,03	0,13	0,03
i-C ₄ H ₈ +C ₄ H ₈	3	0,36	0,37	0,28	0,42	0,07	10	0,45	0,43	0,34	0,68	0,11
n-C ₅ H ₁₂	3	0,19	0,19	0,04	0,34	0,15	10	0,25	0,24	0,16	0,44	0,08
	«Мыс Флотский – мыс Песчаный»						«Кургальский риф – о-в Сескар»					
	Количество набл.	Среднее	Медиана	Минимум	Максимум	Ст. откл.	Количество набл.	Среднее	Медиана	Минимум	Максимум	Ст. откл.
CH ₄	3	12,23	10,61	10,16	15,93	3,21	7	47,91	9,92	3,96	212,59	76,93
C ₂ H ₆	3	0,02	0,02	0,01	0,02	0,01	7	0,02	0,01	0,01	0,04	0,01
C ₂ H ₄	3	0,07	0,08	0,05	0,08	0,02	7	0,09	0,03	0,02	0,26	0,09
C ₃ H ₈	3	0,02	0,01	0,01	0,02	0,01	7	0,03	0,02	0,02	0,05	0,01
C ₃ H ₆	3	0,04	0,05	0,02	0,05	0,02	7	0,04	0,03	0,02	0,08	0,02
i-C ₄ H ₁₀	3	0,02	0,02	0,01	0,03	0,01	7	0,06	0,01	0,01	0,33	0,12
n-C ₄ H ₁₀	3	0,09	0,1	0,06	0,1	0,02	7	0,45	0,11	0,02	2,64	0,97
i-C ₄ H ₈ +C ₄ H ₈	3	0,36	0,39	0,28	0,41	0,07	7	0,46	0,39	0,33	0,92	0,20
n-C ₅ H ₁₂	3	0,18	0,15	0,05	0,33	0,15	7	0,35	0,25	0,04	1,15	0,36

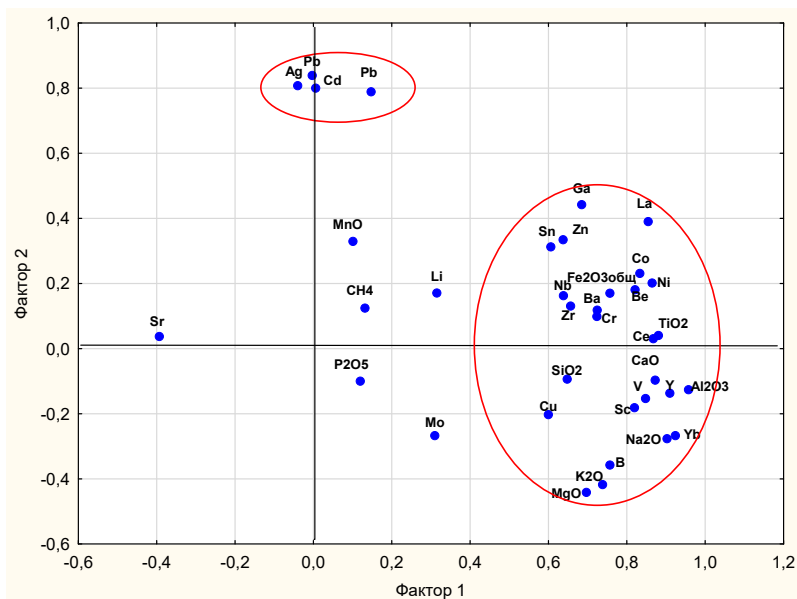


Рис. 55. Диаграмма факторных нагрузок распределения химических элементов и метана в донных грунтах

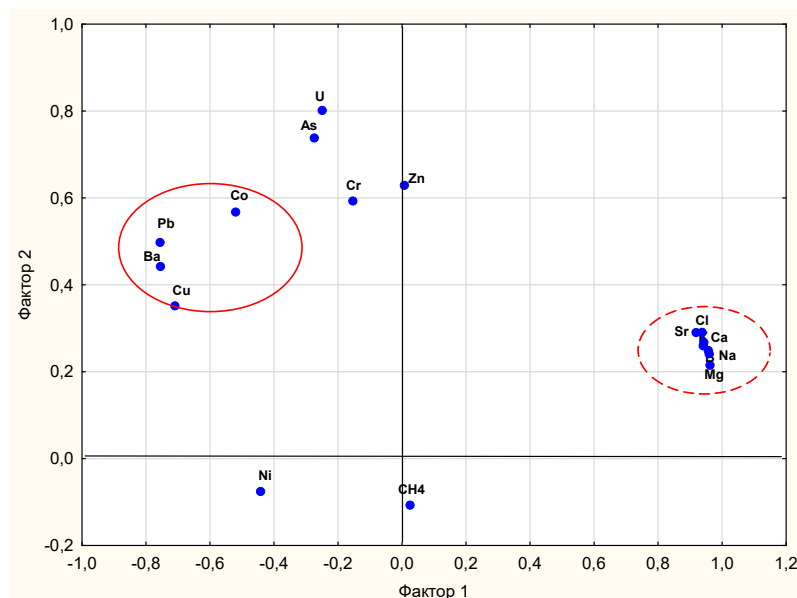


Рис. 56. Диаграмма факторных нагрузок распределения химических элементов в придонной воде

мозаичных схемах съемки позволили провести полную каталогизацию этих структур, которые могут быть отнесены к покмаркам. Общее количество выявленных за 11 лет покмарков в Копорском заливе достигает 716. Сеть профилей ГЛБО в 2023 г., заложенная на участке наибольшего скопления покмарков, выявленных ранее (в 2012–2022 гг.), позволяет оценить газово-флюидные проявления в различных фациальных зонах участка (рис. 57).

В 2023 г. на обследованной площади выявлено 268 покмарков, из них 144 (более 53,7%) активных (контрастных на записях ГЛБО) и 124 (46,2%) неактивных (захораниваемых). Диаметр структур, закартированных в 2023 г., варьирует от 5,1 до 20,3 м, средний диаметр состав-

ляет 9,6 м. Минимальная площадь отдельного покмарка составляет 20,3 м², максимальная – 324,3 м², средняя – 83 м². Кроме того, у некоторых покмарков на записях ГЛБО дополнительно прослеживается внешний округлый контур (ореол) диаметром от 36,0 до 60,5 м. Природа этих ореолов не выяснена, т. к. визуально на подводной видеосъемке ни в рельефе дна, ни по изменению состава поверхностных осадков они не выделяются.

Анализ изменчивости покмарков за годы наблюдений (2012–2023 гг.) позволил дифференцировать их на стабильные – устойчиво выявляемые каждый год, и пульсирующие – эпизодически проявляющиеся и исчезающие (заносимые(?)) (рис. 58). Конкретно в пределах

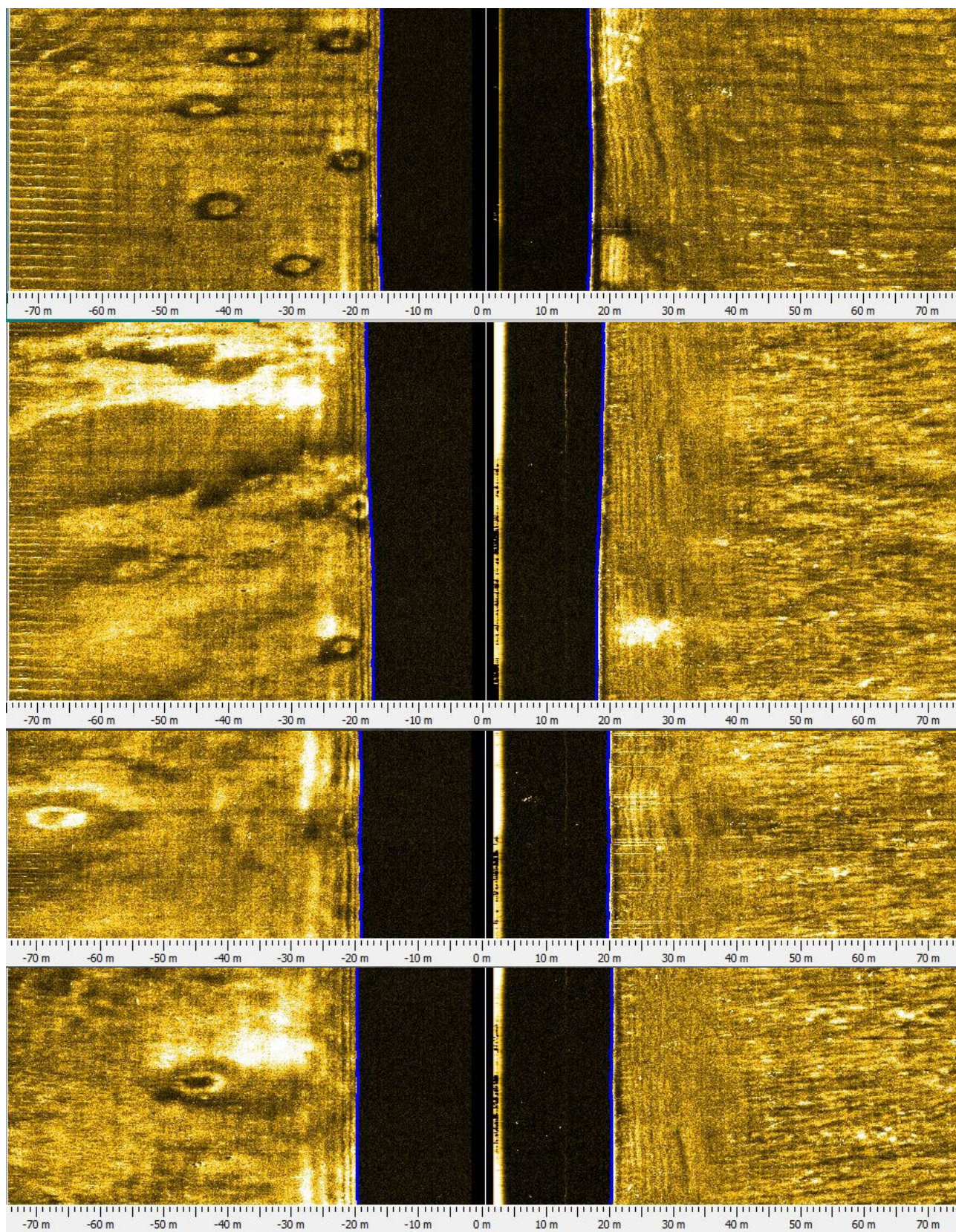


Рис. 57. Примеры ГЛБО изображения покмарков (размером от 5 до 15 м) в пределах пункта наблюдений «Копорский залив» (2023 г.)

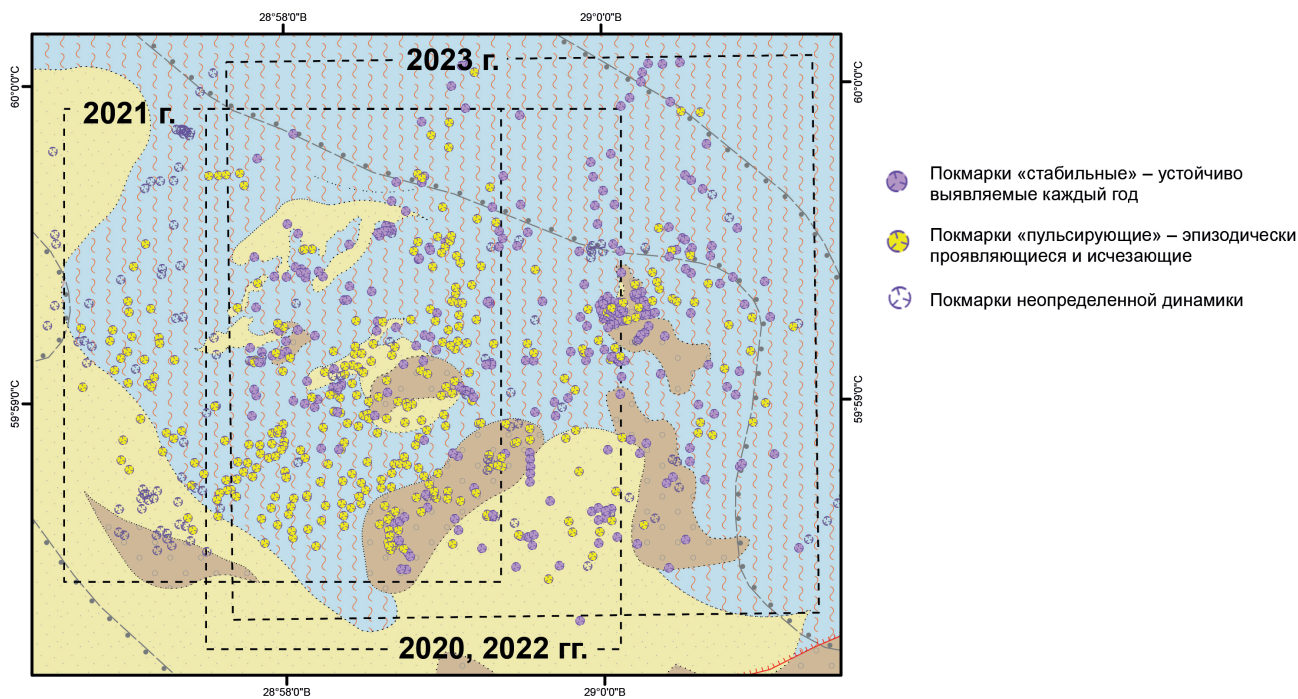


Рис. 58. Схема распределения покмарков в пункте наблюдений «Копорский залив»

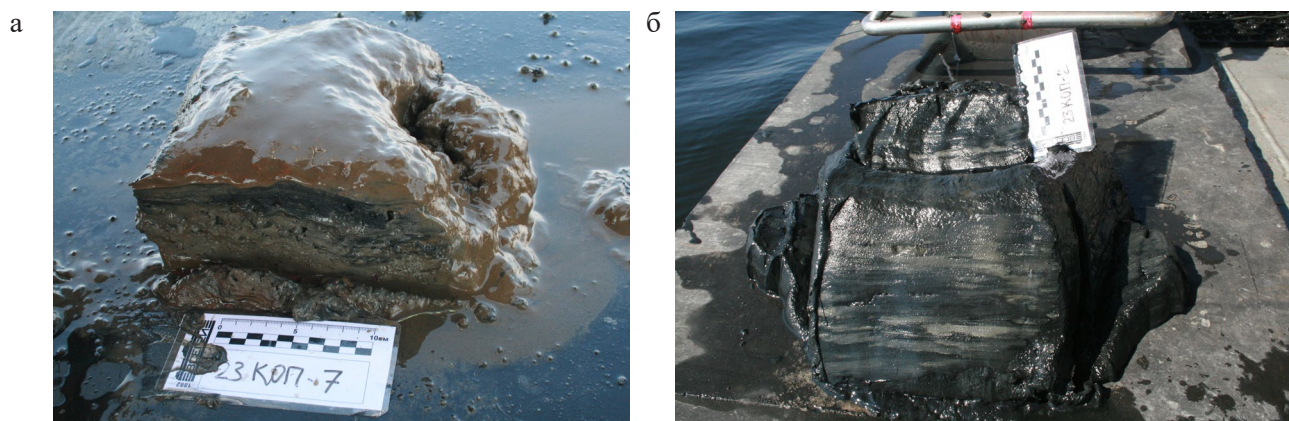


Рис. 59. Фотографии проб донных грунтов на борту судна

а – проба 23КОП-7; *б* – проба 23КОП-3 (на этикетке ошибочно указан номер предыдущей станции 23КОП-2)

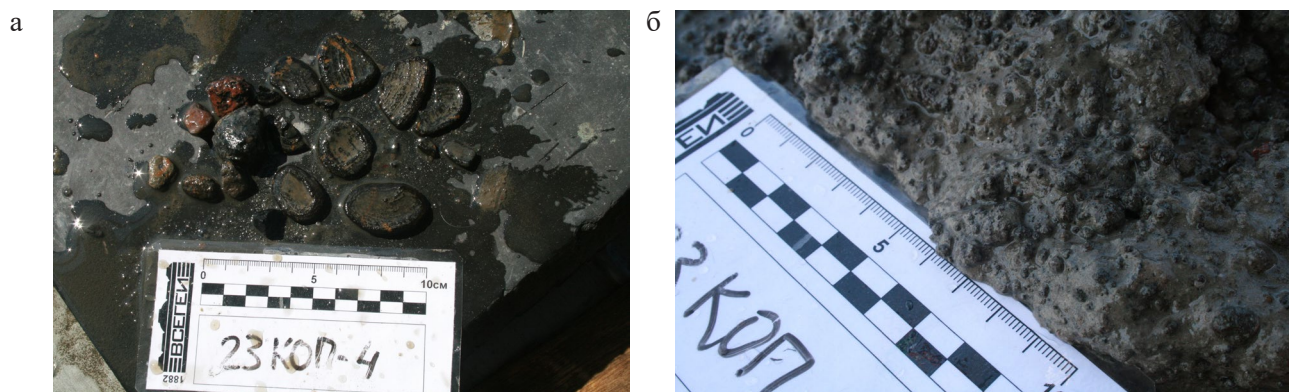


Рис. 60. Фотографии железомарганцевых конкреций

а – дисковидные, отмытые из пробы грунта 23КОП-4; *б* – сферические (дробовидные) в слое осадка (проба 23КОП-7)

Таблица 17

Различия параметров седиментации на станциях опробования

Номер станции	Наличие бурого окисленного наилка	Глубина моря, м	Температура грунта	pH
23КОП-2, 3	Нет	26,5–30,1	2,6–3,3 °С	6,94–9,54
23КОП-4,5,6,7	Есть	27,8–31,4	2,8–6,4 °С	10,07–11,45

площади съемки ГЛБО в 2023 г. выявлено 206 стабильных и 62 пульсирующих. Кроме того, на этой же площади в предыдущие годы, помимо вышеуказанных, был зафиксирован еще 151 покмарк, не обнаруженный в 2023 г., и поэтому условно они могут быть отнесены к пульсирующим. Таким образом, доля стабильных покмарков составляет примерно 49,3%.

На станциях пробоотбора 23КОП-4, 5, 6, 7, расположенных в пределах поля развития покмарков, донные осадки представлены с поверхности бурым текучим наилком мощностью до 1–2 см (рис. 59, а). Ниже выделяется тонкий (2–4 см) слой алевропелитов от серых до черных, по нижнему контакту которых встречаются железомарганцевые конкреции, чаще дисковидные (рис. 60, а), но иногда и мелкие сферические (дробовидные) (рис. 60, б). В илах отмечается многочисленный бентос, в основном черви-илоеды и *Saduria*. Ниже илов залегают глины бежево-серые (очевидно, отложения Балтийского ледникового озера) или глинистые покровные пески.

На двух станциях (23КОП-2 и 23КОП-3) донные осадки представлены темно-серыми до черного текучепластичными алевропелитами с запахом сероводорода (рис. 59, б). Любопытно, что по глубине моря станции, где в отобранных отложениях присутствует или отсутствует бурый окисленный слой, в целом отличаются мало, а по измеренным в поверхностных осадках температуре и pH – существенно (табл. 17). Проба, отобранная на станции 23КОП-3 (рис. 59, б), характеризуется в определенной степени уникальным газовым составом (табл. 18, 19). Это выражается не только в максимальной концентрации метана, выявленной в грунтах Финского залива в 2023 г. – 22,6%, но и его гомологов – пропана – 2,02 ppm и n-бутана – 5,06 ppm, а также практически в отсутствии в газовой фазе кислорода. Впрочем, сомневаться в современном «бактериальном» генезисе метана в грунтах на станции 23КОП-3 нет основания.

Принципиально отличается от других станция опробования 23КОП-1, расположенная на гряде, вероятно, моренной (рис. 61). Пробу грунта на ней с помощью бокс-корера отобрать не удалось, он пришел пустым. Но на подводном видео выявлены многочисленные валуны и галька с железомарганцевыми корками-оторочками (рис. 62, а), а местами довольно мощные терригенно-рудные корки (рис. 62, б). Появление таких корок, цементирующих терригенные отложения на поверхности дна, может быть обусловлено выходом на поверхность дна грунтовых вод и процессами рудообразования на своеобразном геохимическом барьере.

По результатам гидрохимического опробования, поровые воды, отобранные в пункте наблюдения «Копорский залив» на отдельных станциях, расположенных в пределах контура покмарка или в непосредственной близости от него, характеризуются относительно высокими концентрациями В, достигающими до 726 мкг/дм³ при фоновых значениях 643 мкг/дм³. Также фиксируются повышенные концентрации Ва, достигающие 283 мкг/дм³ при фоновых значениях 147 мкг/дм³, и Sr 2690 мкг/дм³ при фоне 2160 мкг/дм³. Кроме основных элементов-индикаторов, на ряде станций повышенные концентрации характерны для Ni, Cu, Zn, U.

Максимальная концентрация U составила 0,29 мкг/дм³, при фоновых значениях 0,03 мкг/дм³. По литературным данным, воды Вендского водоносного комплекса обогащены ураном (Вивенцова, Ляцкова, 2015; Грейсер, Иванова, 2005; Ерзова и др., 2021). Вероятным источником поступления урана в вендский комплекс являются подстилающие его кристаллические породы фундамента с повышенными концентрациями урана и тория. Полученные результаты гидрохимических работ с определенной долей вероятности позволяют предположить, что образование современных кратеров покмарков связано с разгрузкой вод Вендского водоносного комплекса по системе малоамплитудных разломов и зон трещиноватости.

Таблица 18

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

№ п/п	Номер т.н.	Интервал опробования, см	Метан	Этан	Этилен	Пропан	Пропилен	i-бутан	n-бутан	i-бутилен + бутен-1	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	n-C ₅ H ₁₂
			исходная концентрация в воздушном зазоре, ppm								
1	23КОП-2	5–10	737,82	0,12	0,37	0,17	0,20	0,06	0,34	0,93	0,03
2	23КОП-3	15–20	226012,32	0,03	0,19	2,02	0,09	0,03	5,06	0,98	0,46
3	23КОП-4	0–5	1641,06	0,15	0,63	0,24	0,18	0,28	1,93	1,14	0,50
4	23КОП-5	0–5	6155,77	0,09	0,36	0,19	0,20	0,04	0,36	1,36	0,29
5	23КОП-6	0–5	4528,33	0,11	0,48	0,18	0,20	0,04	0,32	1,26	0,23
6	23КОП-7	0–5	406,53	0,12	0,55	0,14	0,31	0,14	0,79	0,89	0,26

Таблица 19

Состав неуглеводородных газов в грунтах, отобранных в пункте наблюдений «Копорский залив»

№ п/п	Номер т.н.	Интервал опробования, см	CO ₂	He	H ₂	O ₂	N ₂
			ppm			%	
1	23КОП-2	5–10	2324,45	23,31	3,31	0,67	98,56
2	23КОП-3	15–20	4011,21	32,92	9,98	0,33	77,65
3	23КОП-4	0–5	3404,16	16,36	5,88	0,74	97,99
4	23КОП-5	0–5	11735,79	13,41	3,25	0,48	97,66
5	23КОП-6	0–5	3752,98	8,28	4,97	0,66	97,69
6	23КОП-7	0–5	2922,21	15,81	7,88	0,50	97,91

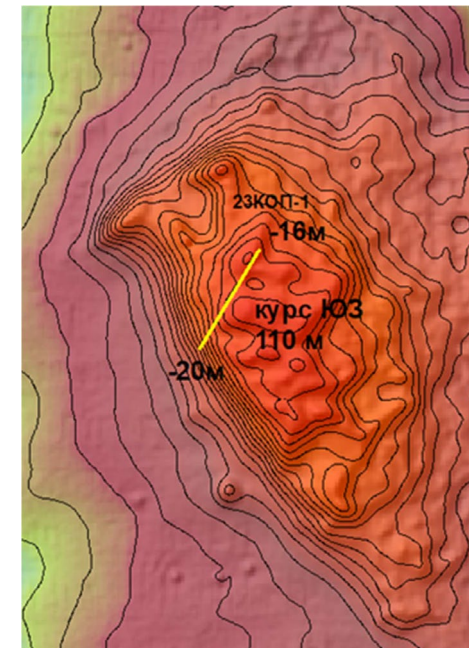


Рис. 61. Рельеф морского дна и трасса фототелепрофилирования на станции 23КОП-1

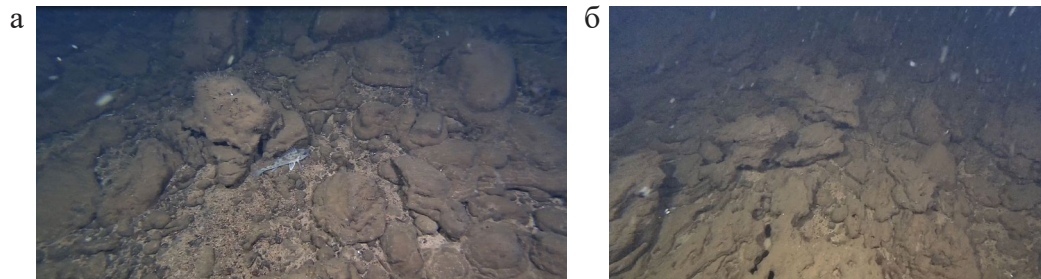


Рис. 62. Поверхность морского дна станции фототелепрофилирования 23КОП-1

а – валуны и галька с железомарганцевыми корками-оторочками; *б* – терригенно-рудные корки, цементирующие терригенный материал

Т а б л и ц а 20

Химический состав придонных и поровых вод, отобранных в восточной части Финского залива

№ п/п	Номер т.н.	Вода	B	Na	Mg	K	Ca	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	As	Sr	Ba	Pb	U	Cl
			мкг/дм ³															ppm
1	23СЕС-3	Придонная	393	1 816 500	226 000	77 100	73 700	0,86	0,045	1,34	1,2	91,8	0,75	1440	23	0,064	0,19	3120
2	23СЕС-4	Придонная	397	1 862 700	232 500	85 000	76 500	0,88	0,064	0,86	0,73	130	0,86	1510	22,2	0,074	0,2	3140
3	23СЕС-5	Придонная	405	1 898 600	235 800	81 900	77 400	2,57	0,059	1,17	0,86	682	0,93	1550	26	0,23	0,36	3170
4	23СЕС-6	Придонная	387	1 800 800	224 200	78 100	75 500	1,04	0,043	1,35	1,06	147	0,79	1490	24,6	0,093	0,29	3030
5	23СЕС-7	Придонная	382	1 787 900	221 700	77 300	75 700	0,63	0,041	0,74	0,78	124	0,78	1490	23	0,12	0,22	2910
6	23СЕС-8	Придонная	383	1 810 800	224 800	78 500	77 100	2,68	0,066	1,29	0,59	284	0,78	1510	23,2	0,4	0,31	3030
7	23СЕС-9	Придонная	368	1 734 700	215 200	75 500	75 500	0,94	0,071	1	0,89	221	0,76	1450	24,1	0,21	0,25	2880
8	23ВЗ-1	Придонная	318	1 450 300	181 900	62 700	67 000	1	0,076	5,21	0,98	178	0,79	1240	25,9	0,63	0,25	2460
9	23ВЗ-2	Придонная	311	1 408 200	176 100	60 700	66 000	1,53	0,055	0,9	1,16	194	0,73	1200	25,2	0,32	0,23	2440
10	23ВЗ-3	Придонная	310	1 373 700	172 200	58 500	66 300	1,66	0,084	1,1	1,2	368	0,9	1180	25,6	0,45	0,28	2360
11	23Фл-1	Придонная	327	1 500 100	187 100	67 800	69 800	2,95	0,077	2,98	1,4	302	0,72	1280	26,7	0,42	0,36	2530
12	23Фл-2	Придонная	321	1 526 000	189 100	66 700	69 000	1,28	0,43	1,29	1,99	153	1,11	1310	29,4	1,18	0,31	2700
13	23Фл-3	Придонная	345	1 650 700	204 500	71 900	73 000	0,4	0,044	0,78	0,77	75,8	0,7	1400	26,2	0,043	0,19	2810
14	23КОП-3 10-20 см	Поровая	643	1 356 800	264 200	107 500	147 200	0,76	28	57	5,11	206	4,88	2690	147	0,95	0,033	2410
15	23КОП-4 0-5 см	Поровая	726	1 537 000	218 400	113 200	110 900	0,31	23,7	13,4	11,3	85,3	5,32	2160	144	0,25	0,024	2720
16	23КОП-7 0-5 см	Поровая	624	1 539 200	213 800	99 800	93 800	1,22	17,7	19,7	3,59	86,2	1,84	1970	283	0,99	0,29	2770
17	23ВЗ-5 0-11 см	Поровая	642	1 360 900	257 700	94 900	116 600	0,39	15,9	16	0,51	119	3,44	2700	292	0,37	0,31	2320
18	23ВЗ-7 2-10 см	Поровая	974	1 394 300	267 800	109 600	137 000	0,15	7,23	12,9	0,3	19,9	16,3	2700	281	0,068	0,042	2360
19	23ВЗ-8 2-7 см	Поровая	677	1 402 400	222 200	93 800	120 200	0,2	11,2	11,9	9,16	33,7	1,54	2320	251	0,26	0,05	2410
20	23Фл-10 0-10 см	Поровая	561	1 262 000	201 000	84 500	117 700	0,23	6,14	10,7	17,9	68,4	1,06	2120	164	0,61	0,015	2320

Таблица 21

**Статистические параметры распределения химических элементов
в придонных водах по 13 пробам (мкг/дм³; СI – ppm)**

Элемент	Среднее	Медиана	Минимум	Максимум	Ст. откл.
B	357,46	368,00	310,00	405,00	36,18
Na	1663154	1734700	1373700	1898600	187047
Mg	207007	215200	172200	235800	22831
K	72438	75500	58500	85000	8429
Ca	72500	73700	66000	77400	4297
Cr	1,42	1,04	0,40	2,95	0,82
Co	0,09	0,06	0,04	0,43	0,10
Ni	1,54	1,17	0,74	5,21	1,24
Cu	1,05	0,98	0,59	1,99	0,36
Zn	226,97	178,00	75,80	682,00	161,33
As	0,82	0,78	0,70	1,11	0,11
Sr	1388,46	1440,00	1180,00	1550,00	129,67
Ba	25,01	25,20	22,20	29,40	1,96
Pb	0,33	0,23	0,04	1,18	0,31
U	0,26	0,25	0,19	0,36	0,06
Cl	2813,85	2880,00	2360,00	3170,00	288,46

По данным литохимических работ, повышенные аномальные концентрации в пределах всего поля распространения покмарков и на конкретных станциях, расположенных в пределах контуров покмарка или в непосредственной близости от него, в 2023 г. не установлены.

Гидрохимические пробы придонных и поровых вод отобраны на 20 станциях опробования в пределах всех основных площадных пунктов наблюдения (табл. 20, 21).

Наиболее высокие фоновые концентрации ряда химических макроэлементов в придонных водах установлены в пункте наблюдений «Кургальский риф – о-в Сескар» (B, Na, Mg, K) и, в меньшей степени, в пункте наблюдений «Выборгский залив» (K, Ca). Повышенные фоновые концентрации микроэлементов (Co, Ni, Zn, As, Sr, Ba) отмечаются в Выборгском заливе, что, вероятно, связано с процессами железомарганцевого конкрециеобразования. Максимальные фоновые концентрации Cu и Pb характерны для пункта наблюдений «мыс Флотский – мыс Песчаный», что, возможно, обусловлено техногенной составляющей.

Результаты факторного анализа (рис. 56) показали наличие в придонных водах двух антагонистических ассоциаций химических элементов. В первую входят тесно связанные между собой породообразующие элементы B, Na, Mg, K, Ca, Sr, во вторую достаточно тесно связанные между собой Co, Pb, Cu, Ba, что может говорить о различных источниках поступления этих элементов в придонную воду.

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

Методика оценки активности ЭГП в субаквальных условиях и, соответственно, потенциальной опасности для хозяйственных объектов принципиально отличается от используемой на суше. Это обусловлено, в первую очередь, невозможностью оперативного и многократного доступа к обследуемым площадям

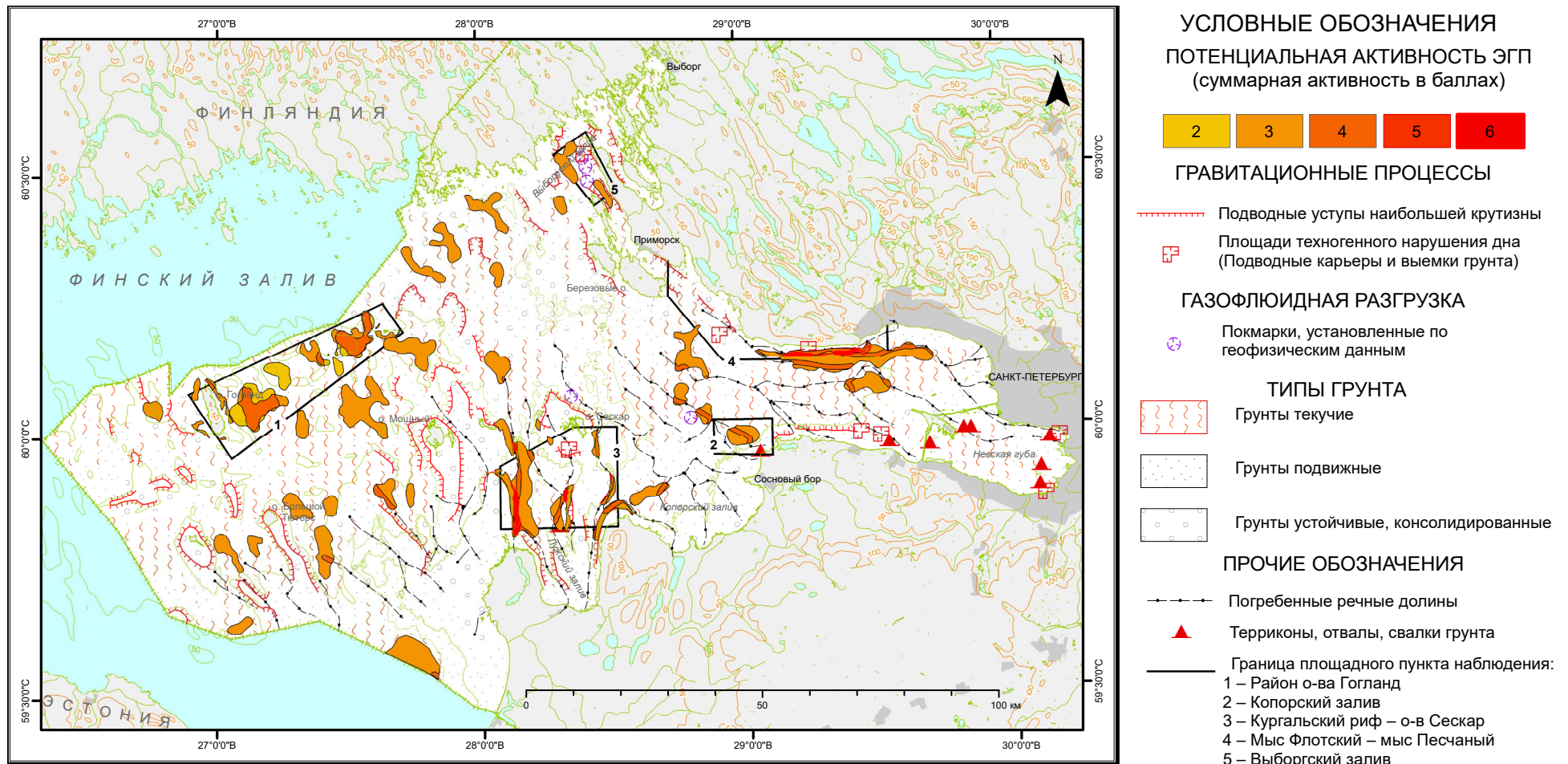


Рис. 63. Карта активности ЭГП в прибрежно-шельфовой зоне Балтийского моря (восточная часть Финского залива)

Таблица 22

Площадь проявлений ЭГП (км²), дифференцированная по величине условных баллов их интегральной активности в пунктах наблюдений в восточной части Финского залива

Пункт наблюдений	Интегральная активность ЭГП (баллы)					
	2	3	4	5	6	7
Выборгский залив	2 км ²	39 км ²	0,9 км ²	0,2 км ²	–	–
Район о-ва Гогланд	–	82 км ²	–	–	–	–
Копорский залив	–	8 км ²	2 км ²	–	0,02 км ²	–
Кургальский риф – о-в Сескар	–	98 км ²	59 км ²	33 км ²	–	–
Мыс Флотский – мыс Песчаный	5 км ²	46 км ²	51 км ²	2 км ²	1 км ²	0,06 км ²

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 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. 63, табл. 22).

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 тра-

лами, 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, а также гидрологических и литодинамических опасностей на стадии проектирования этих объектов с учетом данных о геологическом строении приповерхностного разреза и проведении последующего объектно-го 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; 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 и материальный ущерб береговой

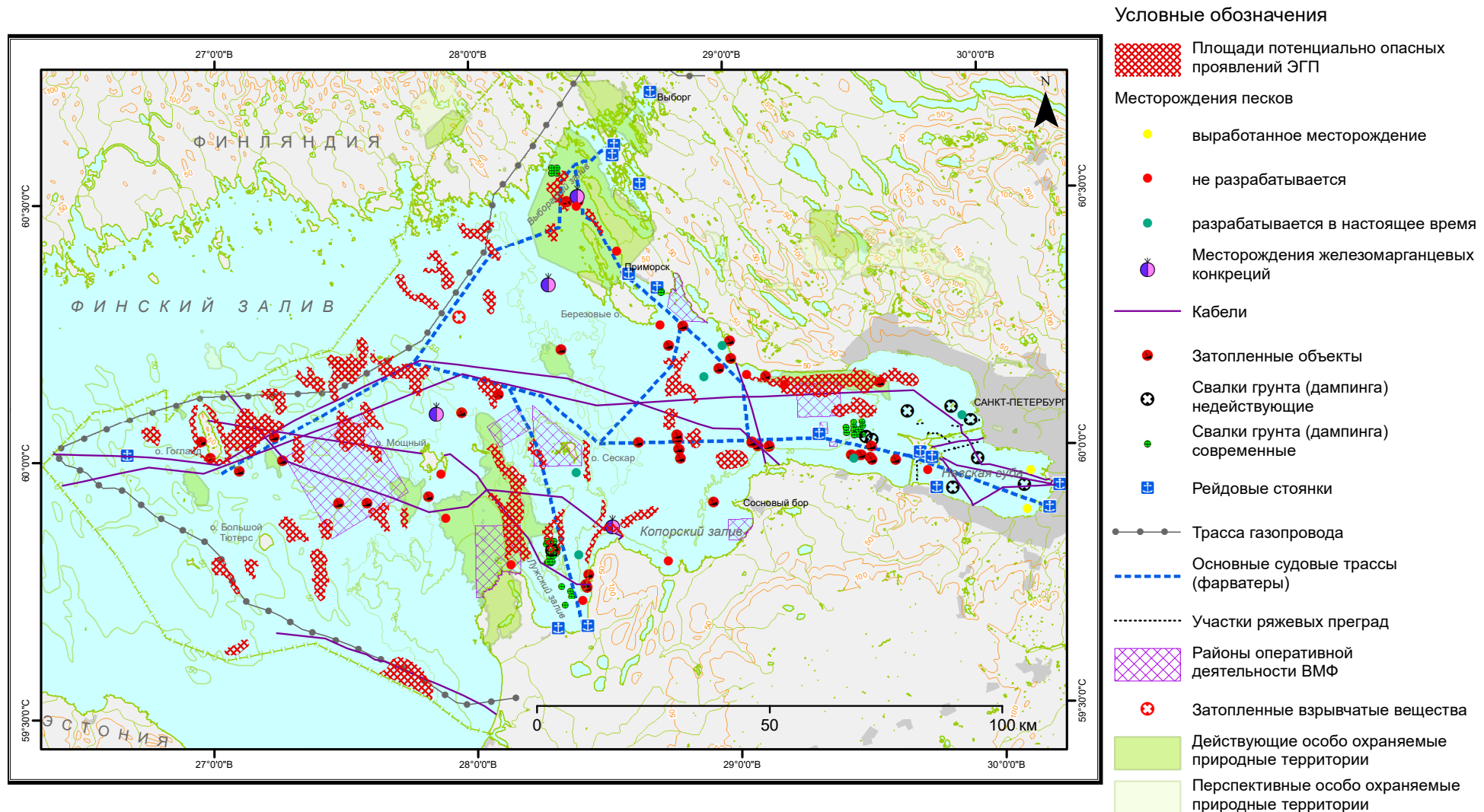


Рис. 64. Карта геологических опасностей, связанных с ЭГП в прибрежно-шельфовой зоне восточной части Финского залива

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

Процессы газообразования 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 протекает медленно в результате восходящего потока метана в форме конвекции пузырьков свободного газа и их диффузии в придонную воду, б) дегазация имеет лавинообразный характер, реализуясь почти как одномоментный прорыв на поверхность дна. 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, как, например, это неоднократно происходило при проходке шахтных стволов, строительстве подземных сооружений и бурении четвертичных отложений в Ленинградской области и Санкт-Петербурге [Горюнов, 1935; Краснов, 1935; Руденко, 2000]. Сходные события во время любого техногенного воздействия на геологическую среду могут происходить и в акватории Финского залива. По мнению Е. С. Руденко [2000], наибольшую опасность в качестве природного источника биохимического газообразования представляют обогащенные органическим веществом миктулинские слои морских отложений, которые вскрыты на отдельных участках суши в погребенных долинах. В восточной части Финского залива также выявлена сеть подобных долин (рис. 63), где могут быть захоронены эти битуминозные газогенерирующие толщи. Вероятно, еще более опасными могут считаться приповерхностные газонасыщенные грунты, т. к. наличие естественного избыточного порового давления определяет их неустойчивость по отношению ко внешним динамическим воздействиям. В частности, на участках морского дна, сложенных с поверхности газонасыщенными

грунтами, повышается сейсмическая балльность [Миронюк, Отто, 2014].

По мнению [Дашко и др., 2011; Миронюк, Отто, 2014], влияние газонасыщенных грунтов на инженерно-геологические условия заключается в снижении прочности и возрастании тиксотропности песчано-глинистых грунтов, разуплотнению глинистых пород, снижению 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 т. д.) 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 проявлений ЭГП приведена на рис. 64.

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 – Польши, с северо-запада – Швеции. Площадь акватории Российского сектора, включая заливы, составляет более 8500 км² (рис. 65).

Рельеф дна в пределах Российского сектора относительно выровнен. Максимальные глубины моря около 110 м установлены в Гданьской

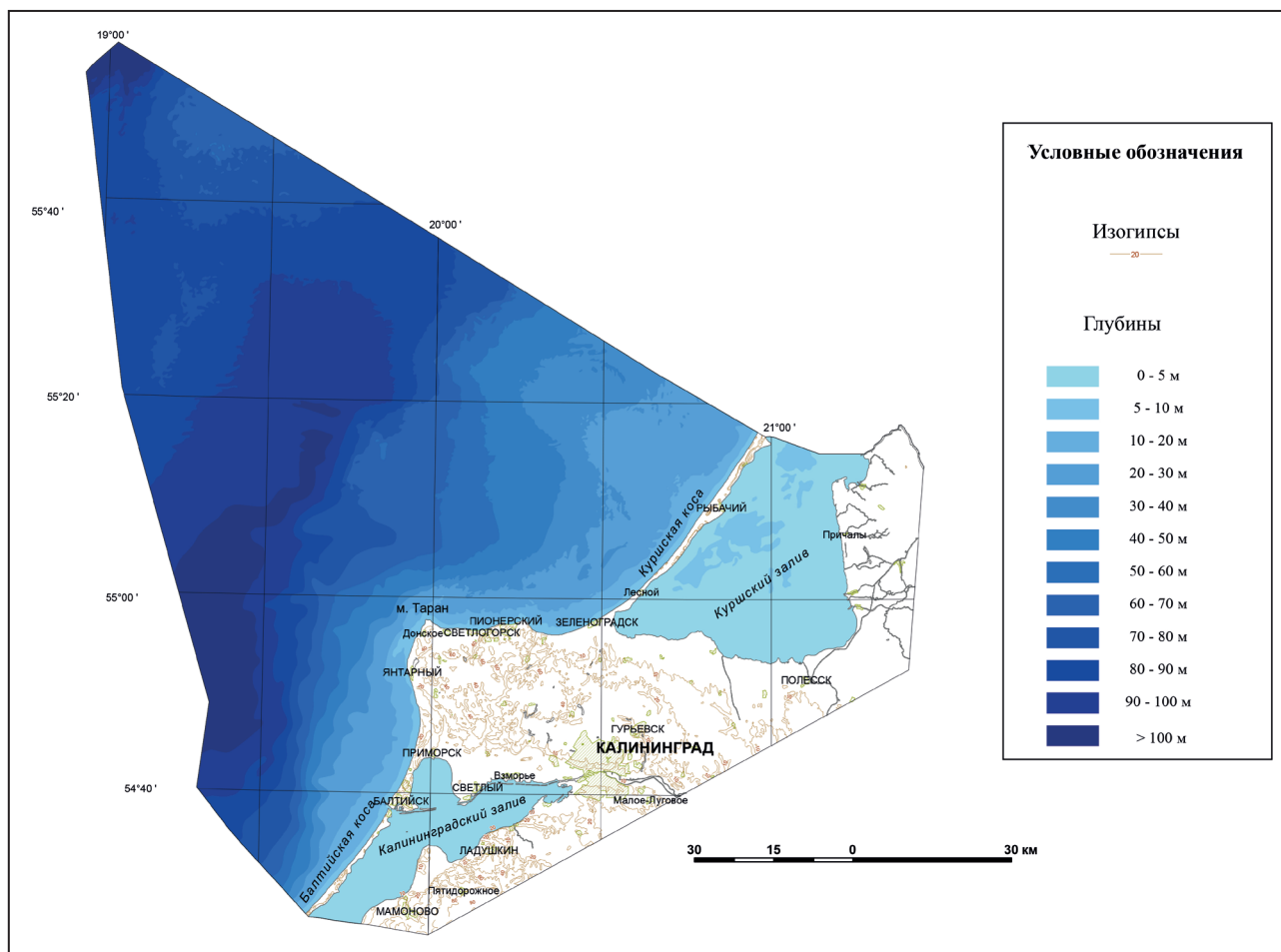


Рис. 65. Схема района работ – Российский сектор юго-восточной части Балтийского моря [Атлас..., 2010]

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 мелкохолмистой 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. Про-

тяженность 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 варьирует от 2 до 11 км, площадь – 838 км², из которых 56,2% принадлежат России. Средняя глубина составляет 2,7 м, максимальная (за исключением искусственного фарватера) – 5,2 м.

Куршский залив, отделенный от моря одноименной косой, представляет собой мелководную лагуну, соединенную с морем в районе порта Клайпеда. Длина Куршской косы составляет 98 км, из которых 49 км находятся в Калининградской области, ширина варьирует от 0,35 до 3,8 км. Это – самая длинная на Балтике песчаная пересыпь. Длина залива – около 90 км, ширина в южной части – 47 км. Большая часть акватории залива – 1300 км² из 1600 км² принадлежат 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.

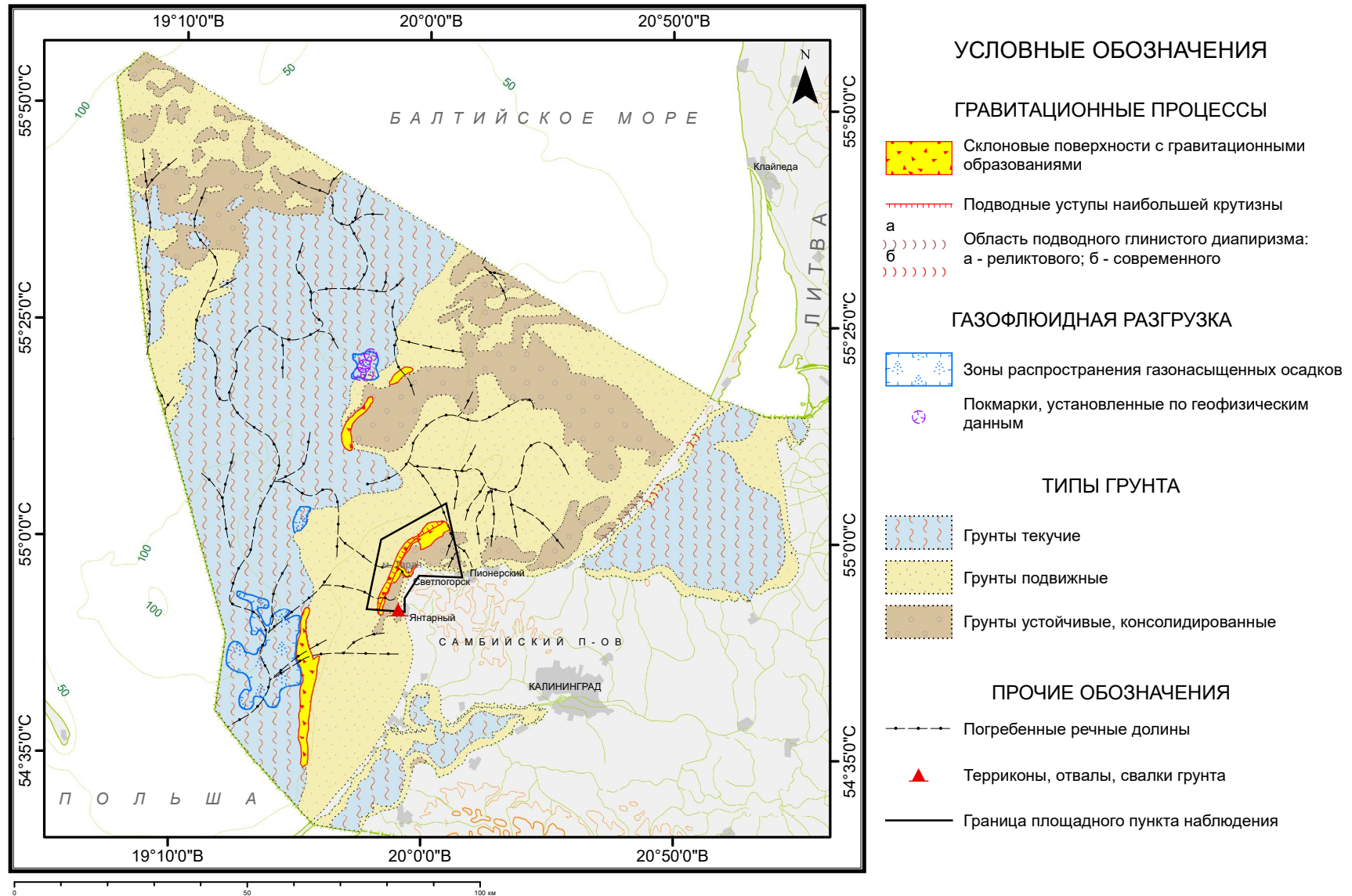


Рис. 66. Карта проявлений ЭГП в прибрежно-шельфовой зоне Российского сектора юго-восточной части Балтийского моря

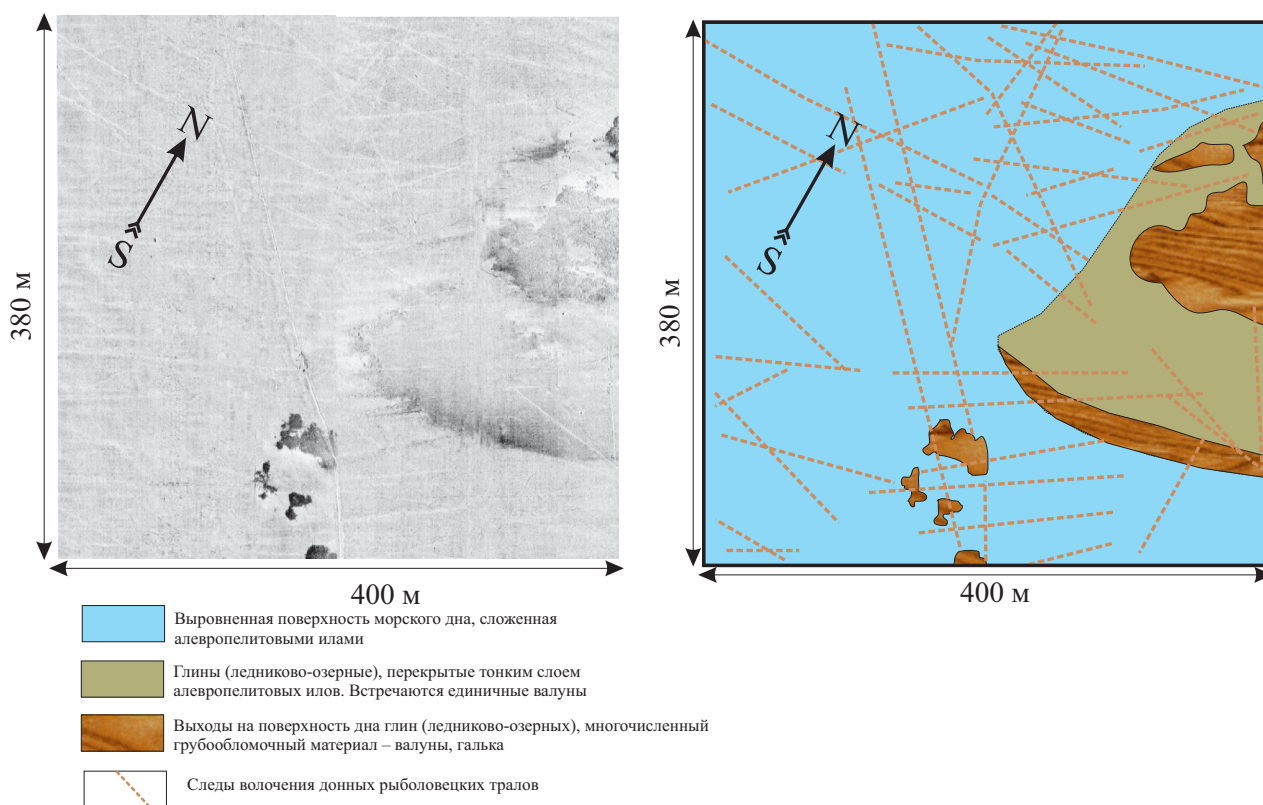


Рис. 67. Обнажение ледниково-озерных глин на поверхности склона Гданьской впадины в результате оползания морских илов. Фрагмент записи ГЛБО (2006 г.)

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 [Люция..., 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 протяженные зоны потенциально возможного проявления гравитационных процессов выявлены на южных склонах Гданьской впадины (рис. 66, 67).

В пределах пункта наблюдений «Прибрежный район Самбийского полуострова», где гравитационные ЭГП наиболее активны, они 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. Площадь зон потенциального развития подводных обрушений и осыпей в районе, при-

мыкающем к Самбийскому полуострову, пересчитана в 2023 г. по уточненным данным съемок ГЛБО, многолучевого эхолота и сейсмоакустического профилирования, и составляет 155 км² или 1,3% от общей площади Калининградского шельфа. Проявление и характер гравитационных ЭГП во многом зависит от свойств поверхностных донных отложений. Доля площади распространения текучих грунтов в российском секторе составляет 43,3% (5042 км²), подвижных – 40,4% (4704 км²) и устойчивых (консолидированных) – 16,2%.

На прибрежном мелководье в корневой части Куршской косы, в районе, примыкающем к пос. Лесное, на глубинах 4–15 м ранее в результате работ ВСЕГЕИ [Информационный бюллетень..., 2012; 2014] выявлены процессы 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 достаточно детально описаны в работах 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. Длина покмарков варьирует от 200 до 900 м, ширина составляет около 150–200 м [Ульянова, 2014; Ulyanova et al., 2010]. Глубина понижения центральной части покмарка относительно поверхности дна составляет 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 составляет 5% от площади илов или текучих грунтов.

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» (рис. 68). В задачи мониторинга в этом пункте наблюдений входит в основном выявление площадей проявления гравитационных процессов и оценка динамики их развития. В 2023 г. выполнено 60 км НСАП, 60 км ГЛБО профилирования, подводное фототелепрофилирование и донный отбор грунтов (рис. 69).

ГЛБО выполнялся с помощью аппаратуры СМ-2 (С-МАХ, Великобритания) (рабочая частота 325 КГц). НСАП производилось сейсмоакустическим комплексом, который включал сейсмостанцию DAQ-Link 4 (International Seismic Co., США), акваторный электродинамический излучатель типа «бумер», накопитель JASK-500HP, коса 8-канальная сейсмоакустическая (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 (Innomar, Германия). Фототелепрофилирование выполнялось подводным дроном Chasing M2 PRO MAX, пробоотбор – бокс-корером.

1.2.3. Региональная активность опасных экзогенных геологических процессов в 2023 г.

Наиболее активно гравитационные процессы развиты на участке дна по периферии Самбийского полуострова в полосе шириной до

15–20 км, где на поверхности дна фиксируются многочисленные подводные уступы, маркирующие древние береговые линии различных стадий развития Балтийского моря, а иногда, возможно, совпадающие и с тектоническими нарушениями. Высота уступов может достигать 8–10 м (рис. 70–74). Уступы сложены осадочными породами верхнего мела – палеогена. В пределах всей площади пункта наблюдений «Прибрежный район Самбийского п-ова» широко развиты декливиальные отложения.

По данным многолучевого эхолотирования [Dorokhov et al., 2022] и геофизических работ Института Карпинского в 2023 г. уточнены контуры изобат в интервале глубин от 15 до 35 м, охарактеризованы геоморфологические элементы подводных террас Самбийского полуострова и закартированы ранее не выделенные уступы (рис. 74).

В северной части участка выделены конусы выноса и связанные с ними подводные ложбины (овраги), прорезающие подводный уступ и выработанные в кайнозойских консолидированных образованиях (рис. 75). Формирование конусов выноса происходит в результате гравитационного перемещения отложений вниз по склону. Установленные денудационные формы рельефа и связанные с ними конусы выноса обследованы в ходе полевых работ Института Карпинского в 2023 г.: борта ложбин образованы эродированными выходами осадочных пород, обросшими мидиями и, отчасти, перекрытыми песком (рис. 76, б), а конусы выноса – песком, преимущественно мелкозернистым (рис. 76, а).

Также обследованы области денудации дочетвертичных пород на подводной террасе (рис. 77). Установлено, что поверхность террасы сложена коренными осадочными породами, покрытыми тонким слоем песчаных наносов (рис. 78, а, б), в то время как денудационные котловины и впадины заполнены песком с характерными знаками ряби на дне (рис. 78, з). Поднятые со дна обломки пород частично имеют карбонатный состав, что не исключает возможность образования впадин подводного рельефа за счет карстовых процессов (рис. 78, в).

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

Карта интегральной активности ЭГП в пределах пункта наблюдений «Прибрежный район Самбийского п-ова» показана на рис. 79. Следует отметить, что на всех показанных на

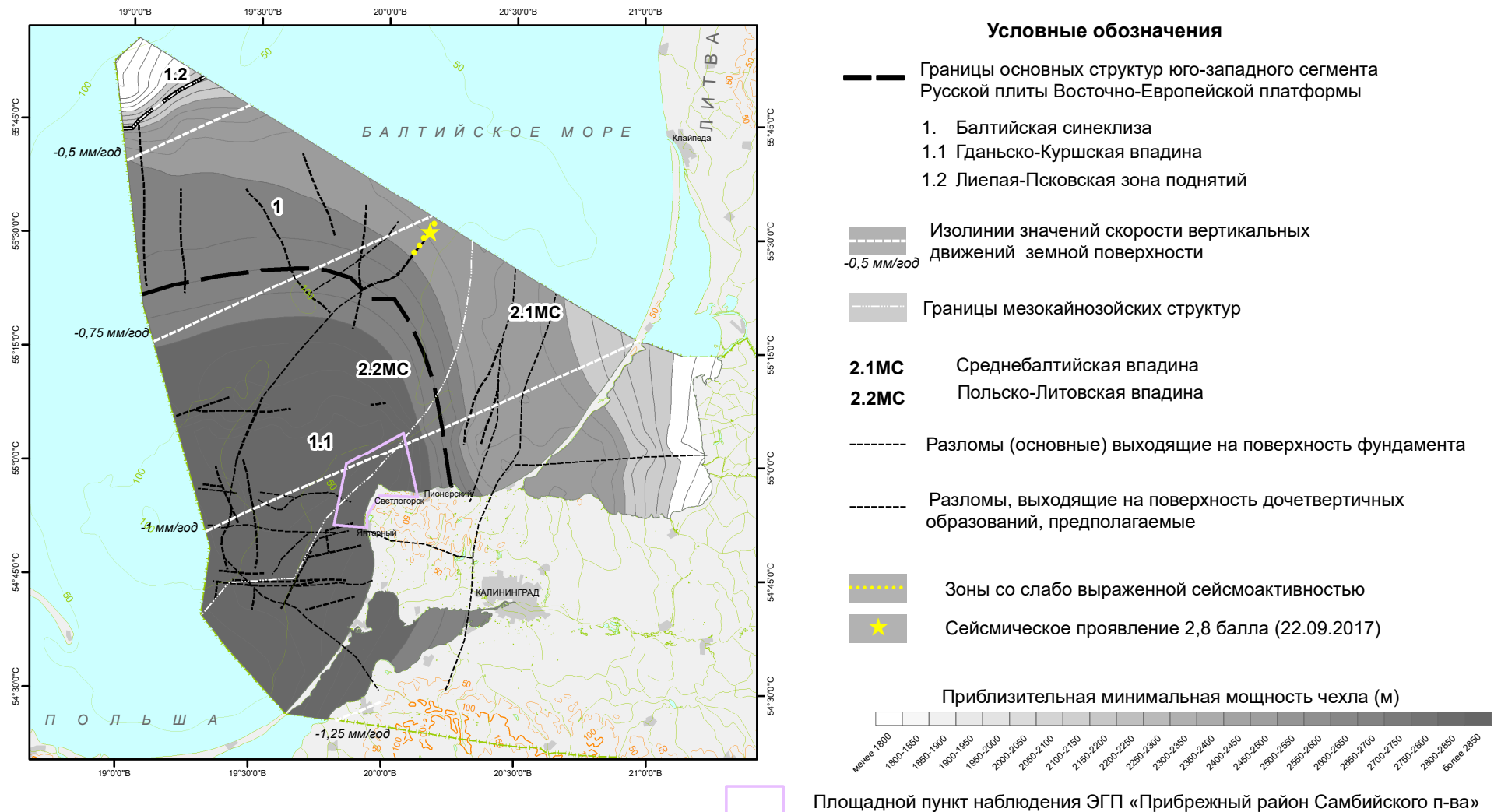


Рис. 68. Карта наблюдательной сети прибрежно-шельфовой зоны Российского сектора юго-восточной части Балтийского моря на тектонической основе

карте уступах возможно проявление гравитационных ЭГП. Степень их активности, объемов возможных обрушений и потенциальной опасности определяется рядом факторов: высота, геотехнические свойства слагающих их пород, деструктивная деятельность бентоса, техногенная активность (добыча янтаря) и т. д.

Техногенная нагрузка на геологическую среду в пределах Российского сектора Юго-Восточной Балтики довольно многообразна. Соответственно велика опасность воздействия ЭГП на хозяйственные объекты (рис. 80).

Добыча нефти на месторождениях Д6 (Кравцовское) и Д41, а также добыча сланцевого газа на приграничной территории Польши могут рассматриваться, как потенциальные причины техногенно-инициированных 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 (МЛСП). Глубина моря в районе месторождения составляет 25–35 м. Нефть транспортируется

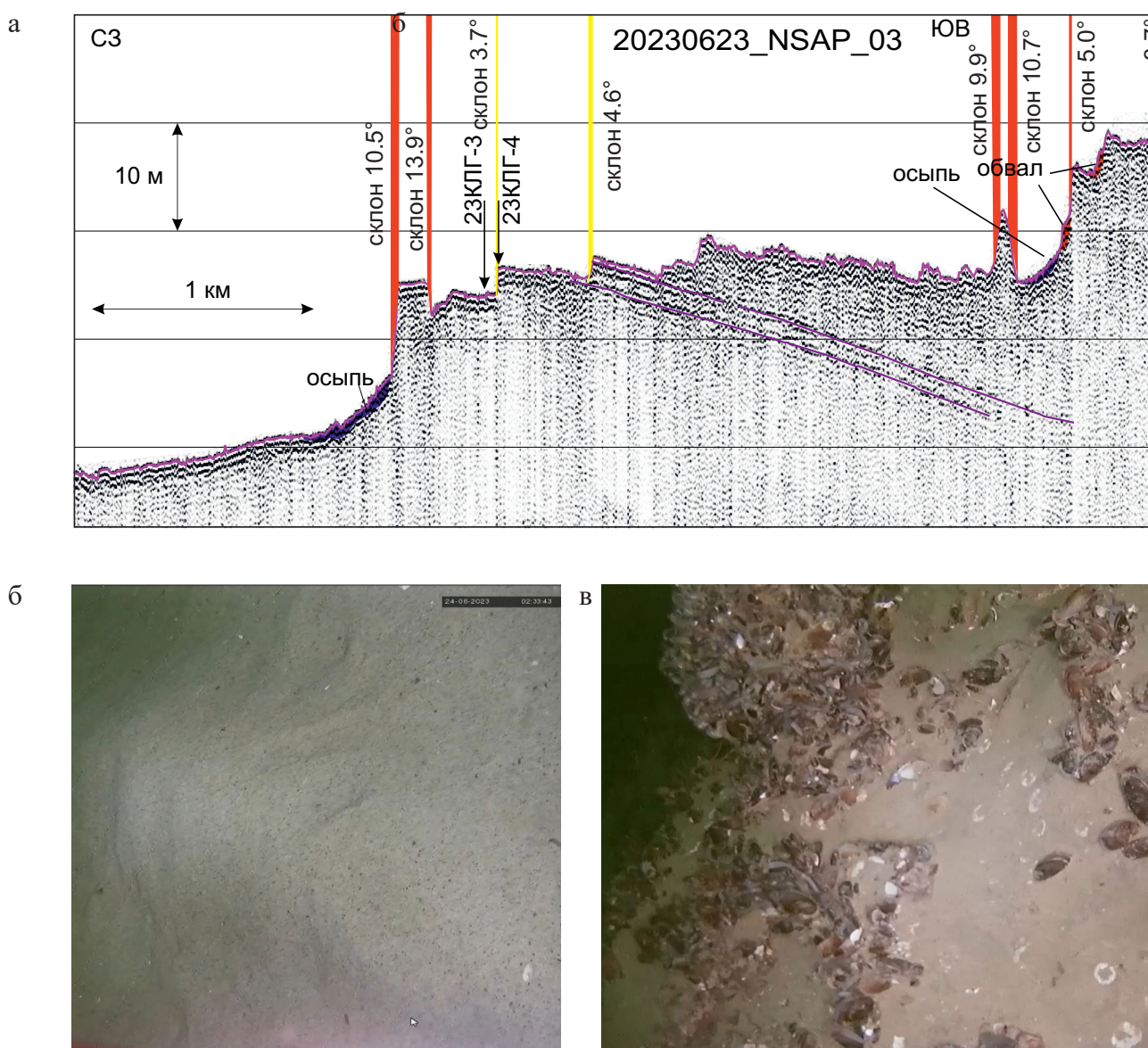


Рис. 70. Профиль НСАП 20230623_NSAP_03, пересекающий на периферии Самбийского полуострова подводные обрывы (а), где наблюдаются активные современные гравитационные процессы; подводные фотографии: б – станция 23КЛГ-3; в – станция 23КЛГ-4

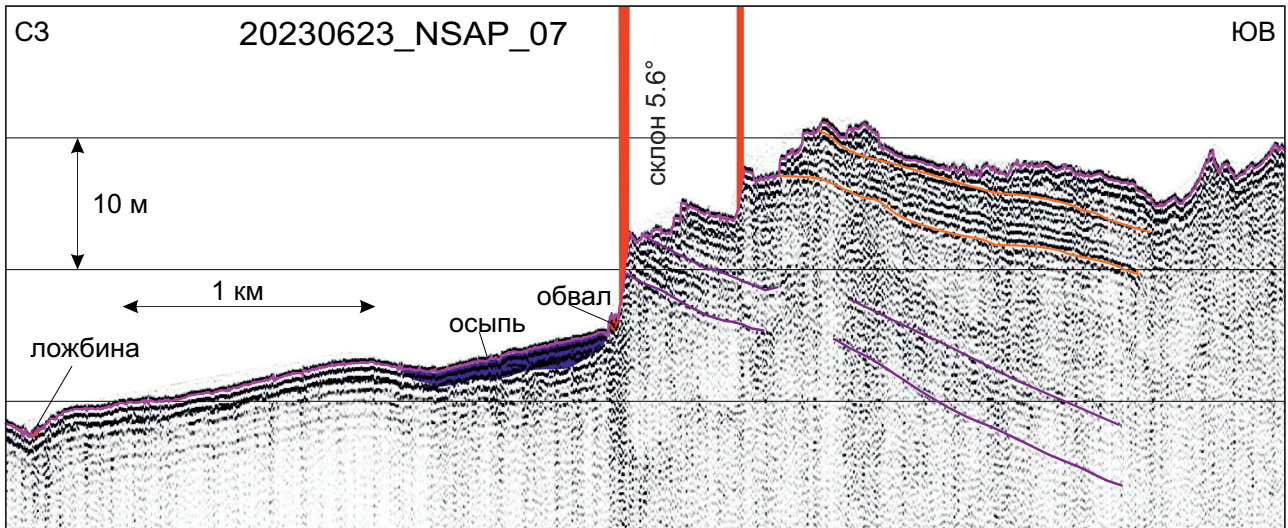


Рис. 71. Профиль НСАП 20230623_NSAP_07, пересекающий на периферии Самбийского полуострова подводные обрывы, где наблюдаются активные современные гравитационные процессы

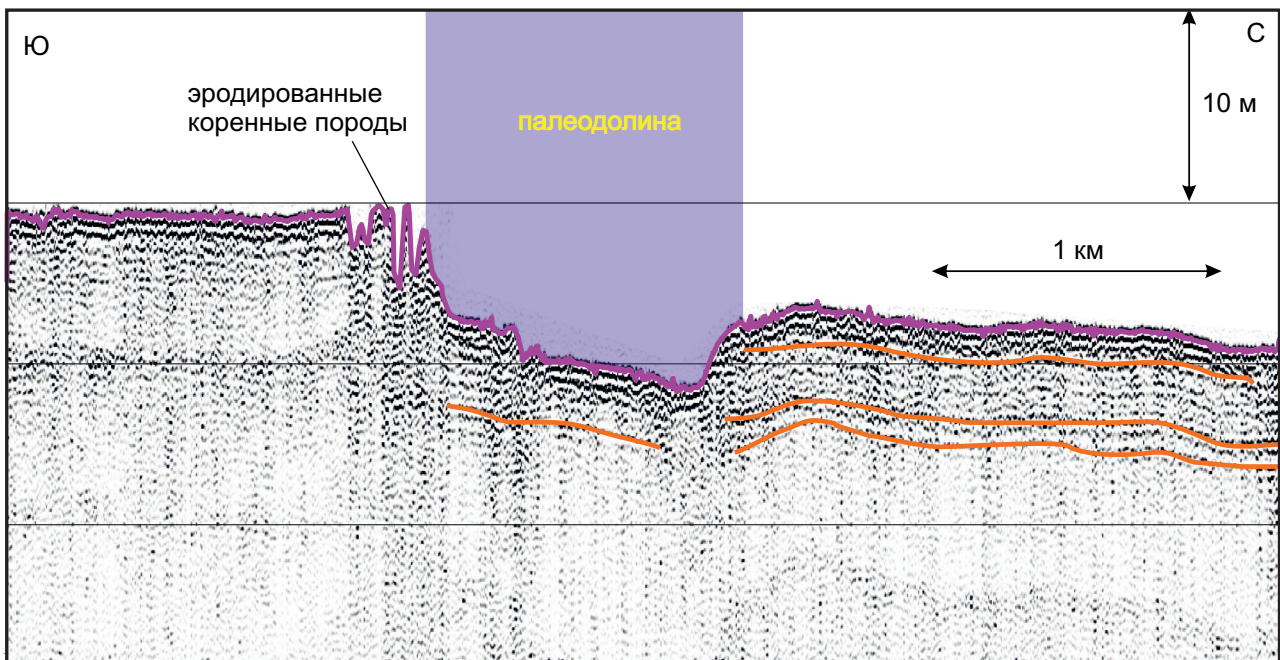


Рис. 72. Фрагмент профиля НСАП 20230623_NSAP_09, пересекающего на периферии Самбийского полуострова подводные обрывы, где наблюдаются активные современные гравитационные процессы

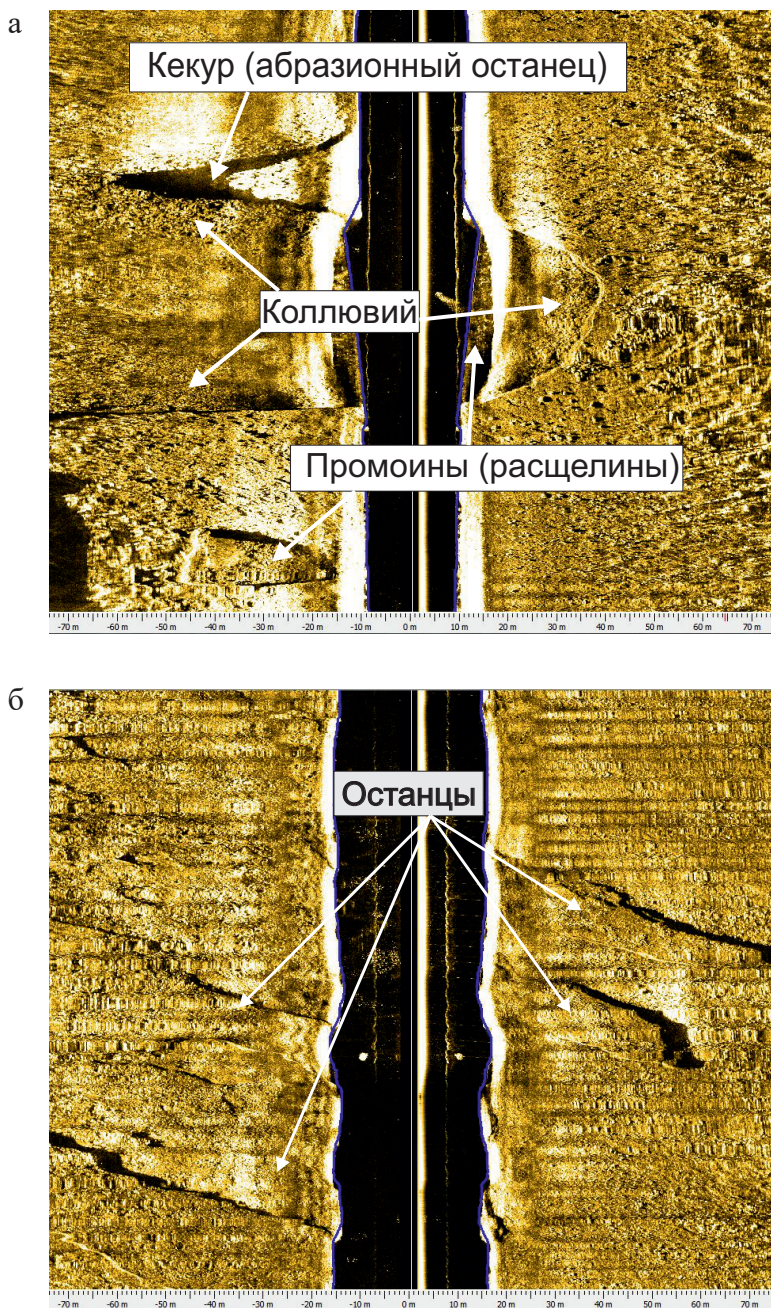


Рис. 73. Фрагменты профилей ГЛБО (2023)

а – 001_0012, *б* – 001_0001, пересекающих сложенные коренными породами палеогена и верхнего мела подводные уступы, где наблюдаются активные проявления гравитационных ЭГП

от МЛСП по трубопроводу, проходящему до 10-метровой изобаты по поверхности дна, а на меньшей глубине он погружен в траншею, засыпанную грунтом (рис. 81). В настоящее время на поверхности дна трубопровод наблюдается на участках «жесткого» дна – это в основном там, 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). Таким образом, подводному нефтепроводу от месторождения «Кравцовское» (Д6), гравитационные ЭГП не угрожают. Определенные проблемы с трубопроводом могут возникнуть только в случае вымывания грунта из-под него и, как следствие, его провисания, но это уже не экзогенные геологические процессы, а литодинамические.

Эксплуатация месторождения Д41, находящегося в 3,2 км от Куршской косы, осуществляется с береговой площадки двумя горизонтальными

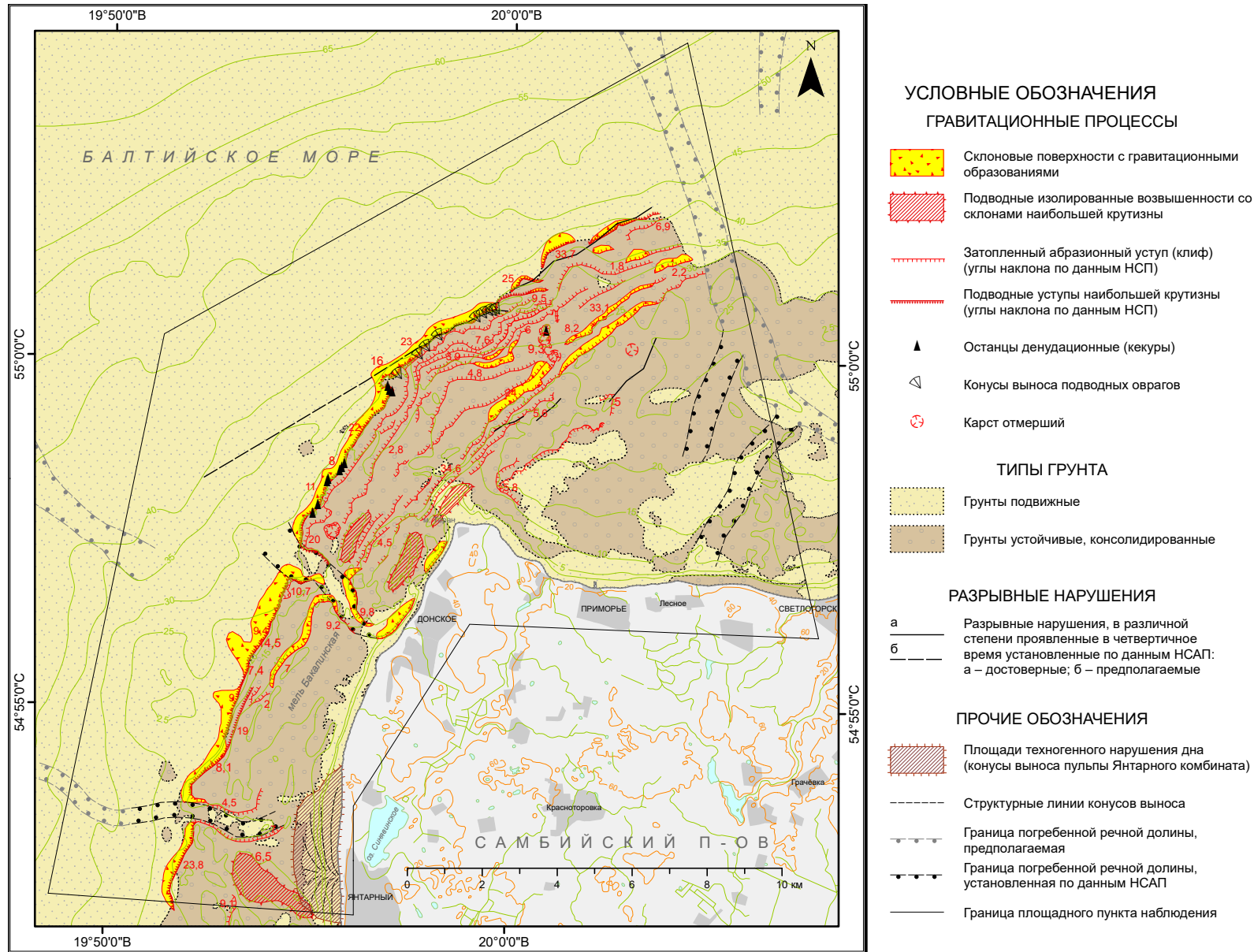


Рис. 74. Карта проявлений опасных ЭГП в пункте наблюдений «Прибрежный район Самбийского п-ова»

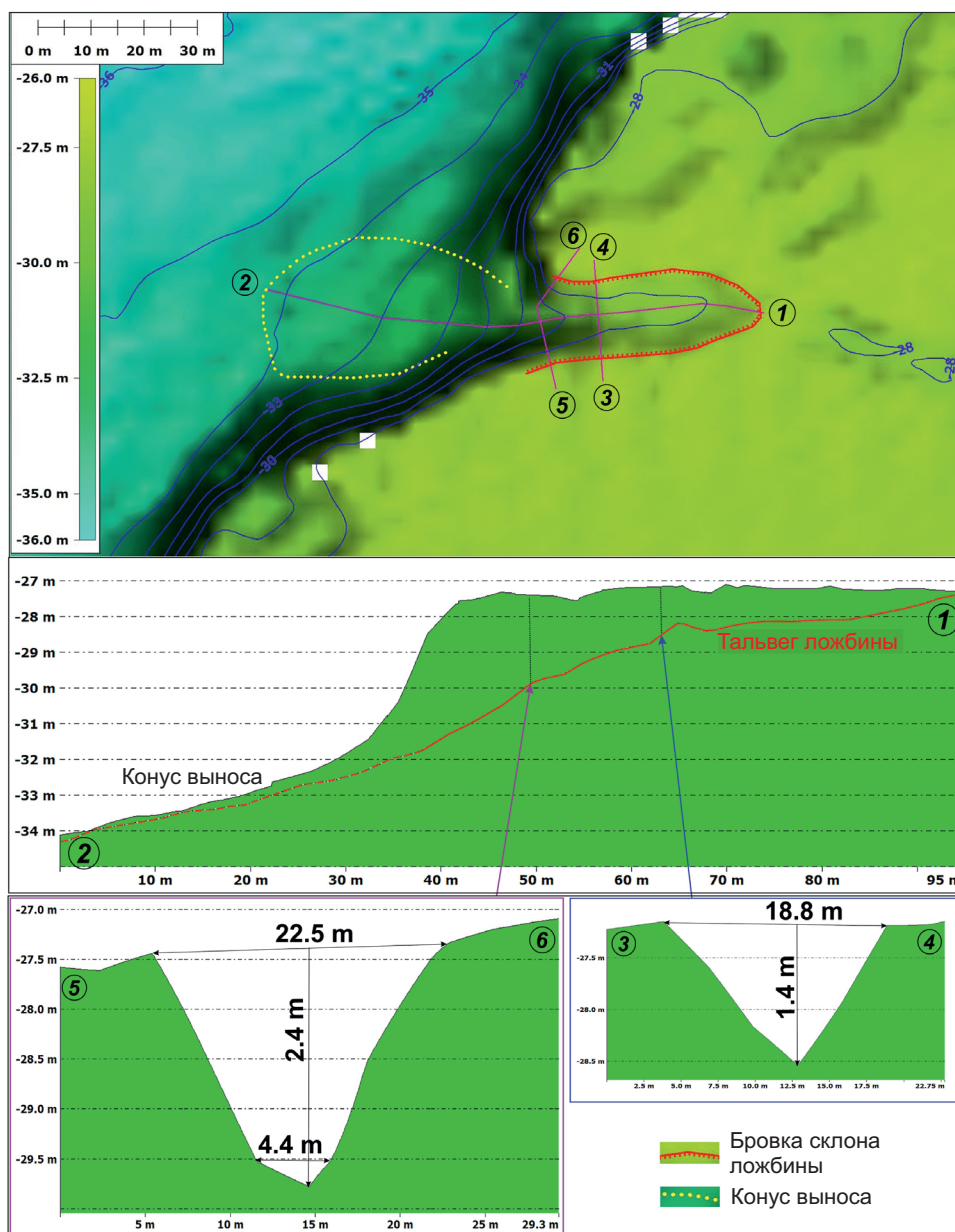


Рис. 75. Пример формы ложбины (промоины) и конуса выноса на береговом склоне Самбийского полуострова по данным многолучевого эхолотирования, проведенного АО ИО РАН [Dorokhov et al., 2022]

а



б



Рис. 76. Поверхность конуса выноса на подводном фото (а) и выходы коренных пород по периферии устья подводной ложбины (б) (т.н. 23-КЛГ-1)

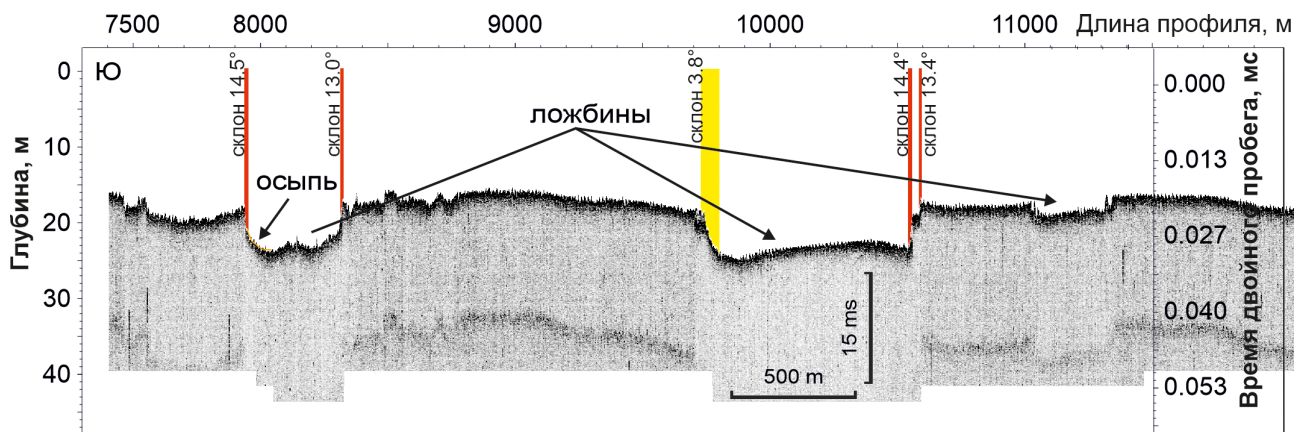


Рис. 77. Профиль НСАП (параметрический профилограф) 20230622_NSAP_01 через подводную террасу к северо-западу от мыса Таран, где выявлены формы денудационного рельефа

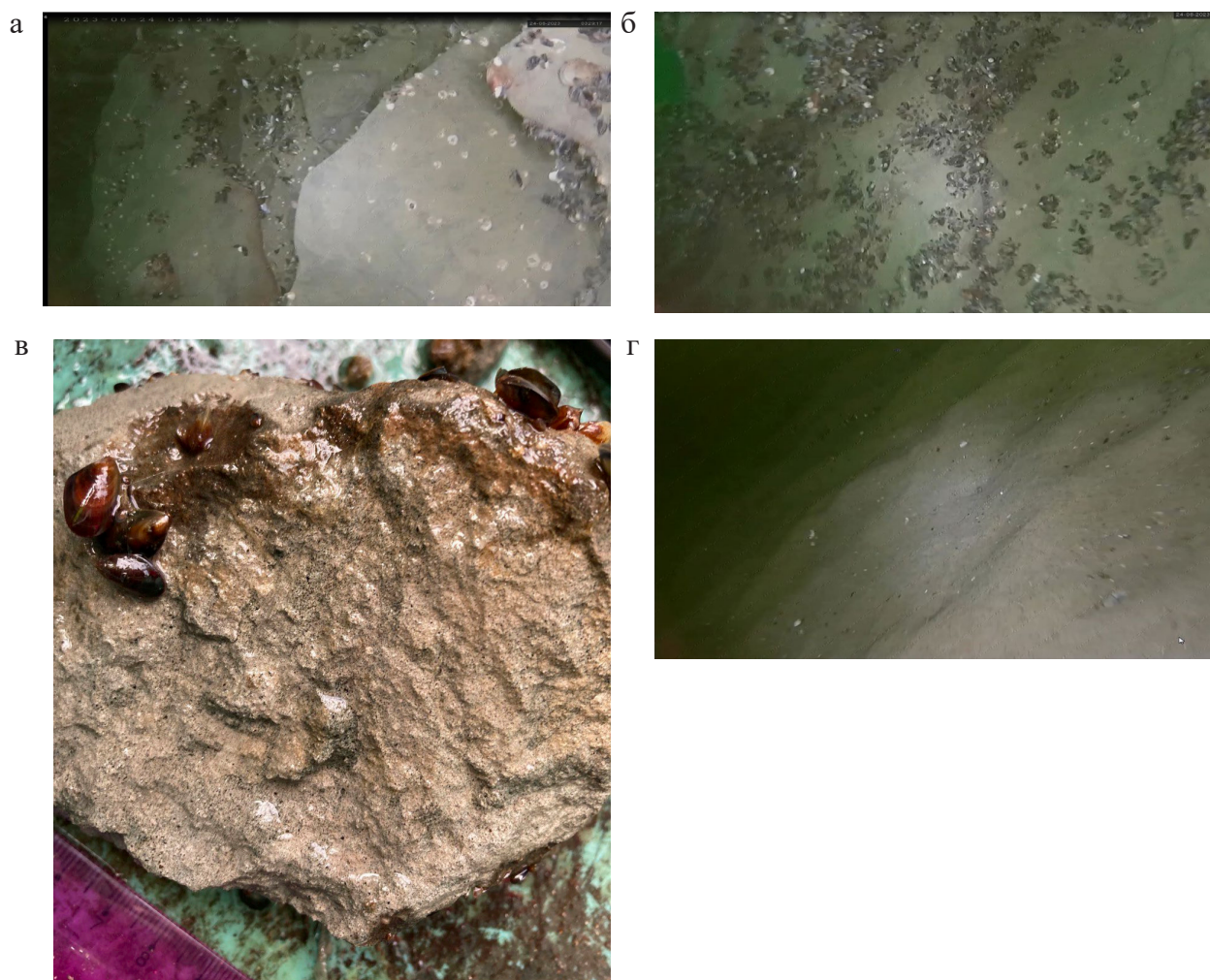


Рис. 78. Фотографии морского дна в пределах области денудации дочетвертичных пород на подводной террасе к северо-западу от мыса Таран

а – ступенчатый склон подводного обрыва, сложенного коренными породами (ст. 23КЛГ-6); *б* – выходы слоистых коренных пород, маркируемых по линейно распространенным скоплениям раковин мидий (ст. 23КЛГ-7); *в* – кавернозный обломок песчаника, поднятый на ст. 23КЛГ-7); *г* – знаки ряби на поверхности песчаных отложений на дне денудационной котловины (ст. 23КЛГ-5)

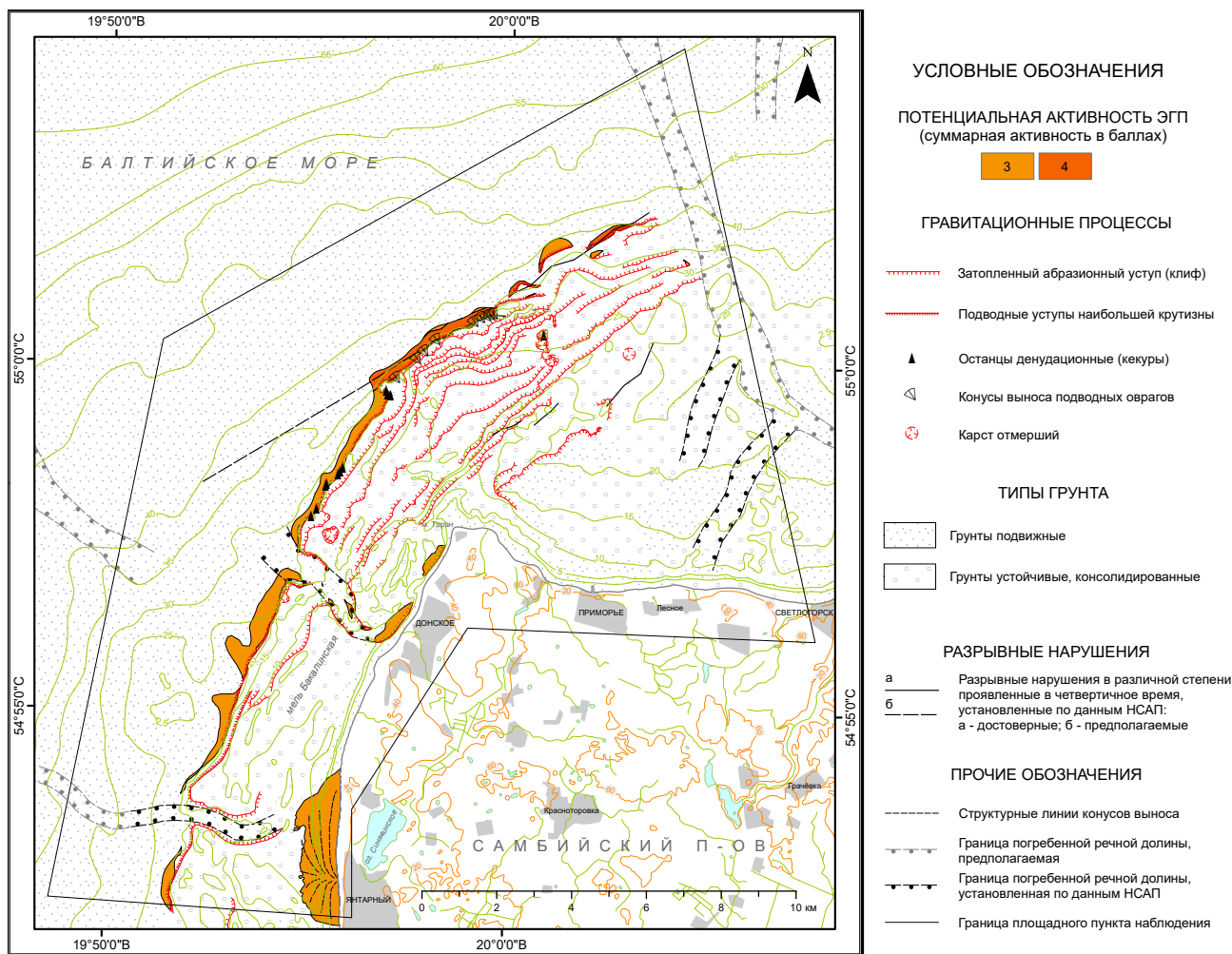


Рис. 79. Карта активности ЭГП в пункте наблюдений «Прибрежный район Самбийского п-ова»

скважинами длиной 7947 м и 7517 м [<https://www.interfax.ru/business/661375>], т. е. тем более можно не опасаться гравитационных ЭГП.

В планах ЛУКОЙЛ обустройство относительно крупного в условиях 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 будет производиться с морской стационарной платформы на глубине около 74 м, т. е. на юго-восточном борту Гданьской впадины. Задержка начала эксплуатации обусловлена тем, что приходится переоснащать добычную платформу 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 два силовых кабеля [<https://neftegaz.ru/news/>].

Учитывая планируемое расположение добычной платформы, запроектированный нефтепровод и два параллельных ему кабеля будут проходить вверх по склону Гданьской впадины, покрытому текучими грунтами, т. е. 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. «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 районам развития подводных уступов в прибрежных районах Самбийского полуострова.

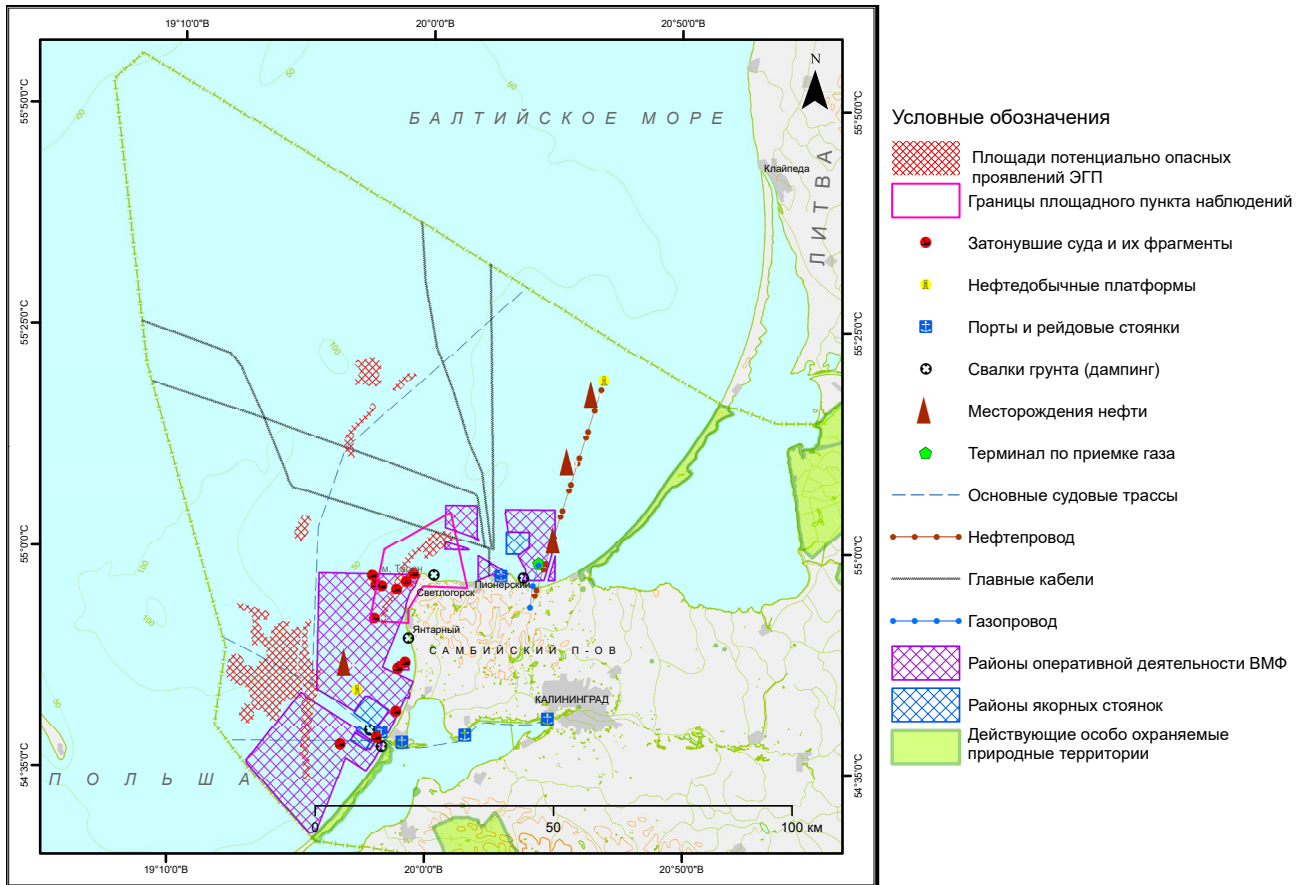


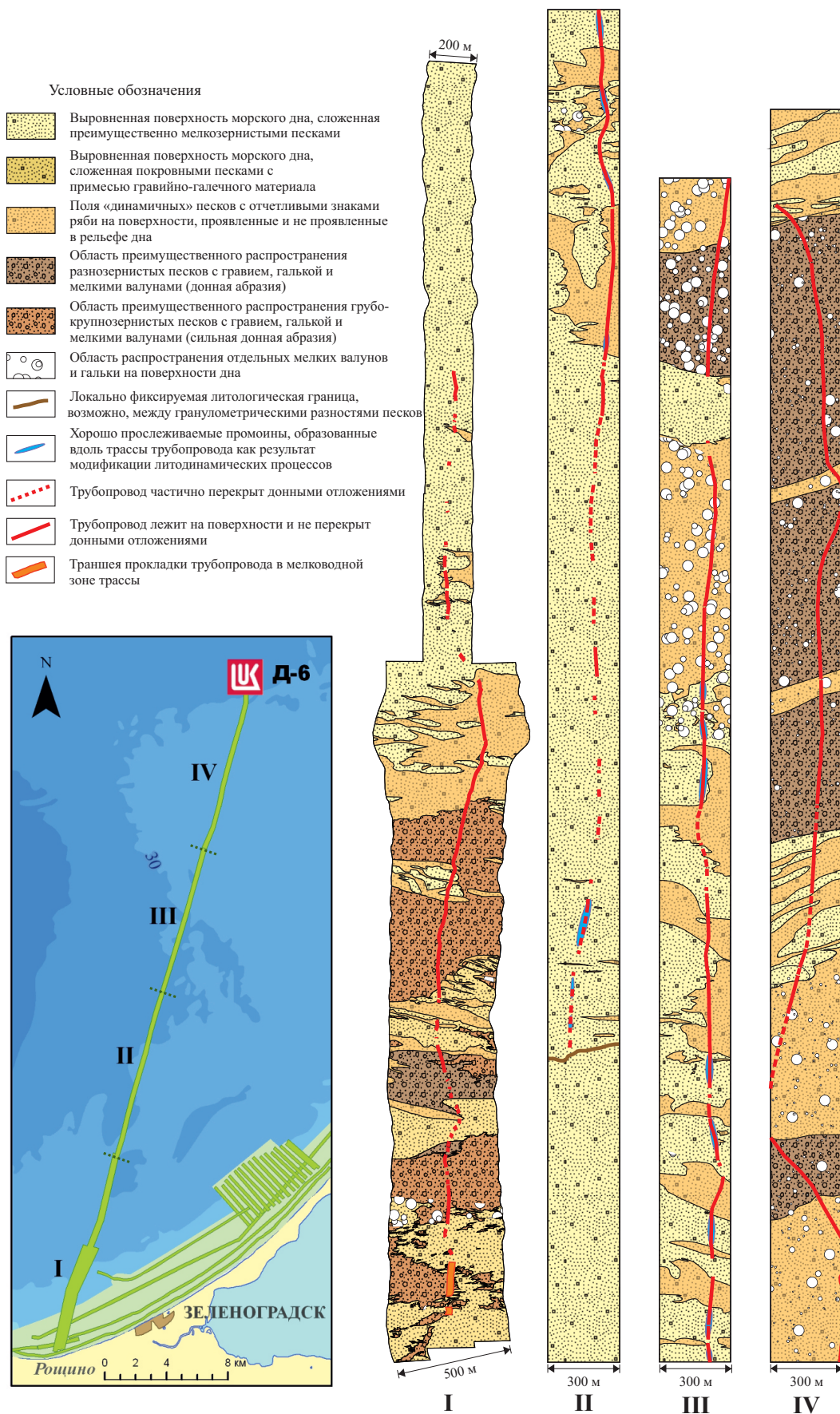
Рис. 80. Карта геологических опасностей, связанных с ЭГП в прибрежно-шельфовой зоне Российского сектора юго-восточной части Балтийского моря

В береговой зоне Калининградского сектора Балтийского моря реализуются проекты «Газпром». На мелководье Балтийского моря вблизи от поселков Куликово и Прибой построен остров-причал и терминал по приему СПГ, 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 производились дноуглубление по подходным фарватерам, сопровождаемое подводной добычей песка, и дампинг грунтов. 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 из карьеров Янтарного комбината. 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. До 2019 г. сброс пульпы, ежегодные объемы которого достигали миллионов кубометров (рис. 82), осуществлялся непосредственно в море, что приводило, с одной стороны, к резкому возрастанию мутности воды, с другой стороны, способствовало не только сохранению пляжей западного побережья Калининградской области, но даже их росту. В последнее 10-летие осадочный материал вскрывши складывается на берегу, для чего возведены грунтовые дамбы. Ширина пляжей стала уменьшаться, но не критически, т. к. в результате размыва этих дамб при штормовых нагонах осадочный материал



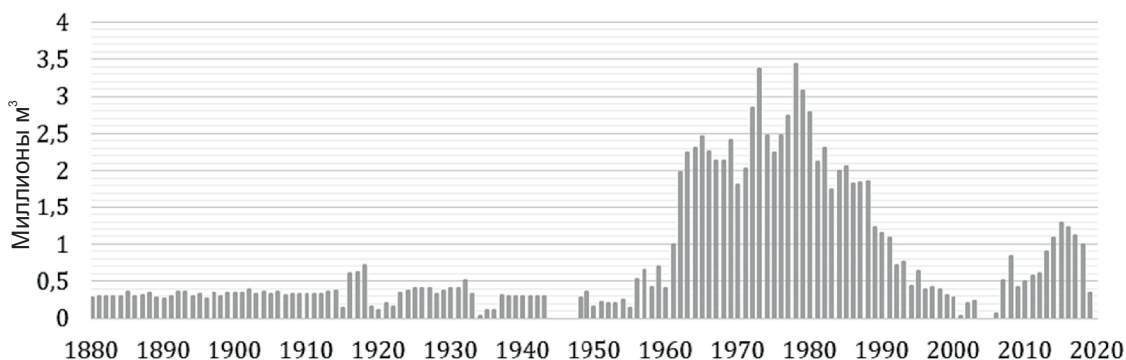


Рис. 82. Объемы годового сброса осадочного материала пульпы в море из основного карьера Янтарного комбината [Krek et al., 2024]

по-прежнему поступает в морскую среду, хотя и в меньших масштабах. В частности 7 октября 2023 г. в результате шторма «Патрик» произошел прорыв дамбы пляжевого участка Пальменикенского карьера Янтарного комбината.

В ходе незаконной подводной добычи янтаря в районе, примыкающем к западному побережью Самбийского полуострова, техногенное разрушение подводных уступов, сложенных породами палеогена, локально активизирует гравитационные процессы (обрушение), что угро-

жает 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 и проведение последующего объектного мониторинга.

2. Прибрежно-шельфовая зона Белого моря

2.1 Общие сведения

Белое море – единственное из арктических морей, которое почти целиком лежит к югу от полярного круга, за его пределы выходят лишь самые северные районы (рис. 83). От Баренцева моря его отделяет условная граница – линия мыс Святой Нос – мыс 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. Пограничное положение моря определило резкие различия строения берегов в его западной и восточной частях. Характер и распространение вдоль периметра моря берегов различных морфогенетических типов непосредственно отражают различия в геологическом строении западного и восточного побережий [Сафьянов, Соловьева, 2005], развитие берегов взаимосвязано с лито- и морфодинамикой прибрежных мелководий.

Наиболее резко отличается от других районов Белого моря кутовая часть Кандалакшского

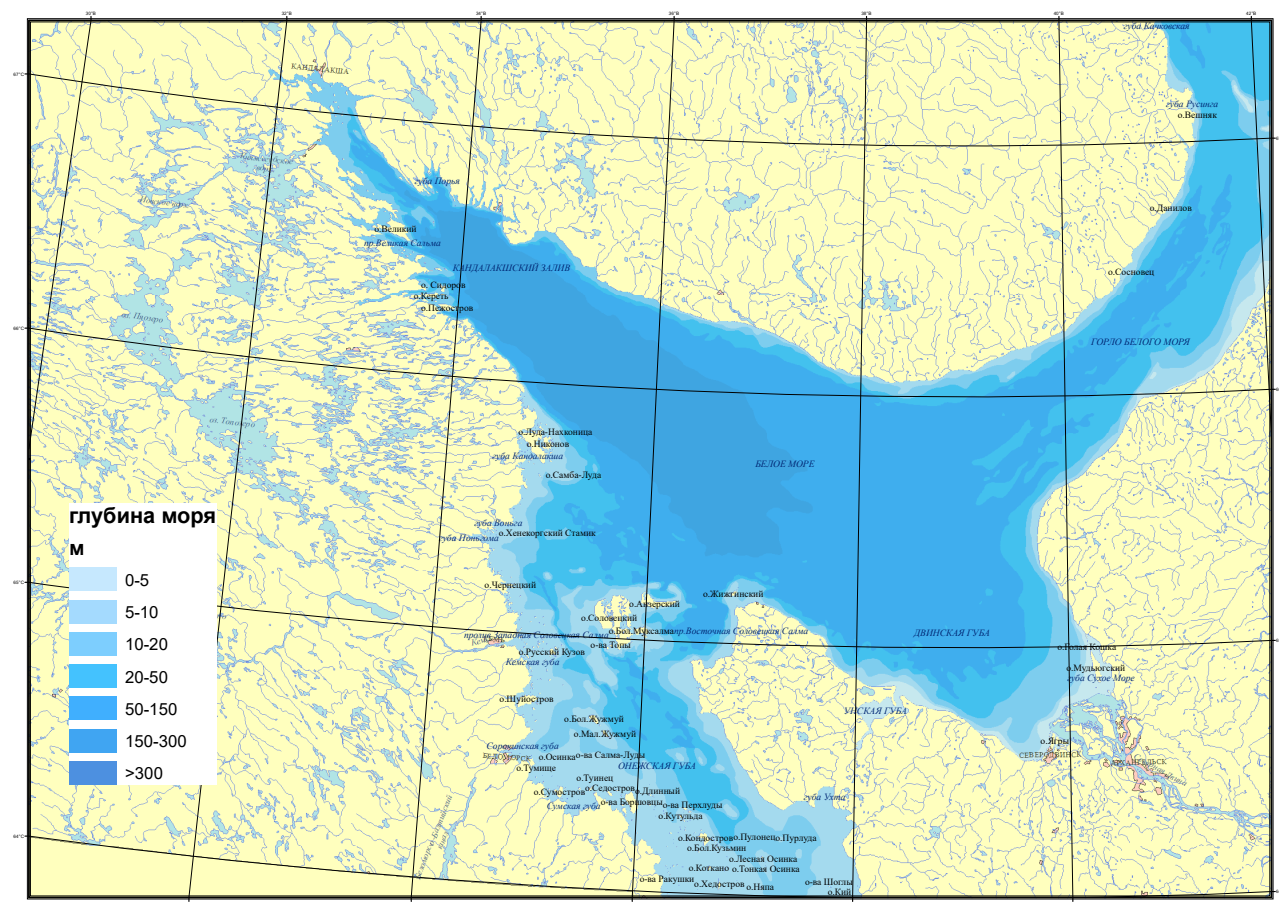


Рис. 83. Схема района работ – Белое море

залива. Его крутые скалистые берега возвышаются на 50–70 м. Узкие длинные заливы (шириной 2–3 км) проникают в глубь суши до 30 км (как, например, губа Чупа) [Медведев, 1957]. 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. Лед в Белом море наблюдается обычно с ноября по май, однако бывают годы, когда он появляется в начале октября и исчезает в первой половине 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 губах [Каплин и др., 1991]. С приливами в Белом море связано широкое распространение песчаных, валунных и илистых осушек, скалистых и глинистых обсыхающих 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 распределения наносов на подводном склоне.

На побережьях и в акватории моря находятся многочисленные особо охраняемые природные территории федерального и регионального значения: Кандалакшский государственный 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, 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 на значительной части подводных склонов с углами падения более 5° фиксируется гравитационное перемещение донных грунтов, что обусловлено их высокой водонасыщенностью и, соответственно, текучестью (рис. 84). На крутых склонах с углами падения более 15°, выполненных зачастую выходами коренных пород, возможно образование осыпей и обвалов. Текучие грунты занимают 33% (26 888 км²) площади дна Белого моря, подвижные – 50,8% (41 460 км²), устойчивые (консолидированные) – 16,1% (13 144 км²). В Кандалакшском заливе доля площади текучих грунтов существенно выше – 75,8% (5600 км²), а доля подвижных грунтов составляет 10,3% (764 км²) и устойчивых – 13,9% (1024 км²).

Суммарная площадь зон потенциально возможного развития гравитационных процессов, приуроченных к наиболее крутым склонам, составляет 328 км² или всего 0,4% площади дна Белого моря. В Кандалакшском заливе доля площадей возможного проявления гравитационных ЭПП достигает 1,2% (9,4 км²). Площадь дна, где потенциально возможно развитие гравитационных процессов измеряется 328 км², что составляет 1,2% общей картируемой площади.

Наиболее детально формы рельефа морского дна, обусловленные воздействием гравитационных процессов (медленное сползание грунта, оползни, гравитационные потоки), изучены в прол. Великая Салма (Кандалакшский залив) [Репкина и др., 2022; Старовойтов и др., 2018]. Оползневые тела, сложенные смятыми ледниково-морскими и морскими отложениями, имеют протяженность до 100 м при относительной высоте до 5 м. Протяженность наиболее крупного оползня, выявленного в прол. Великая Салма – 850 м, ширина – 450 м, относительная высота – 30 м [Репкина и др., 2022]. Предположительно, некоторые из крупных оползней формировались в несколько этапов во время высокой сейсмической активности в позднем неоплейстоцене – раннем голоцене [Старовойтов и др., 2018], что, очевидно, связано с начальной фазой изостатического

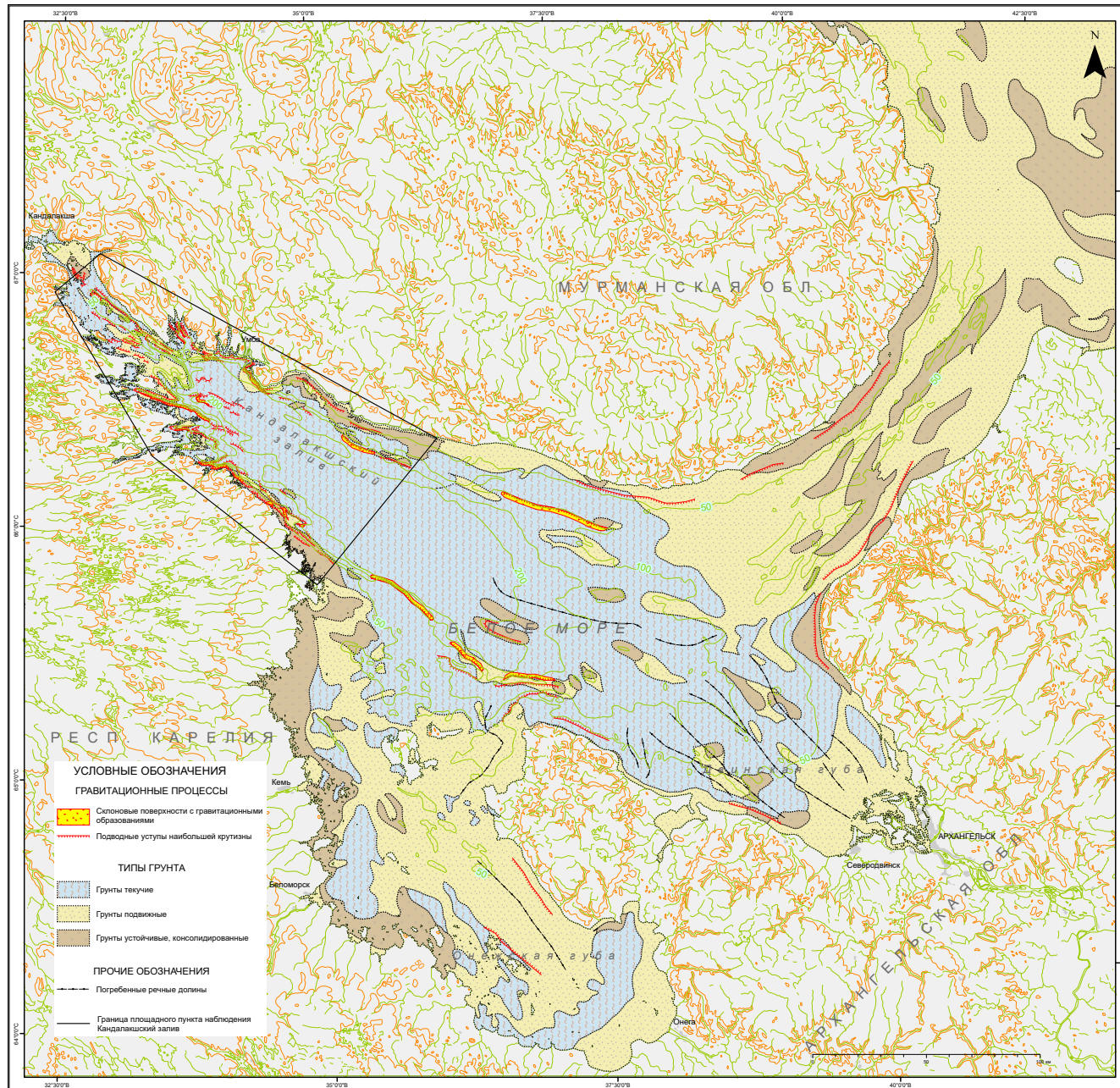


Рис. 84. Карта проявлений опасных ЭГП прибрежно-шельфовой зоны Белого моря

подъема территории. Ложбины глубиной врезки 1,5–2,0 м, выработанные гравитационными потоками в морских голоценовых осадках, имеют U- или V-образные поперечные профили 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 – промежуточный коллектор наносов, поступающих с берега [Репкина и др., 2022].

Газонасыщенные отложения выявлены только в прол. Великая Салма. В газовой фазе преобладает метан (до 15 000 мкл/л), хотя в небольших количествах присутствуют и его «тяжелые» гомологи [Токарев и др., 2018]. Всего обнаружено более 30 аномальных участков, идентифицируемых на профилях НСАП, как газонасыщенные отложения. Скопления «газовых шапок» приурочены к понижениям кровли фундамента, где в условиях спокойной гидродинамической обстановки образовались послеледниковые осадки большой мощности [Старовойтов и др., 2018; Токарев и др., 2018]. Для газовой фазы определено преимущественно биогенное происхождение, хотя отмечается, что большинство «газовых шапок» расположено над зонами микрограбенов, ограниченных глубинными разрывными нарушениями, что позволяет предположить глубинное происхождение части газа [Иванова и др., 2016; Токарев и др., 2018]. В других районах Белого моря акустические аномалии, связанные с газонасыщенными отложениями, на записях НСАП не обнаружены, хотя обогащенные органическими остатками, т. е. газогенерирующие, осадки встречаются довольно часто, например, в Онежском заливе [Мануйлов и др., 1981; Рыбалко и др., 1987]. 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 (Черная 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].

Рассчитанная среднесуточная величина водной субмаринной разгрузки в Белое море составляет 1,31 км³/год, субмаринный ионный сток составляет 294,4 × 10³ т/год [Дзюба, Зекцер, 2013]. Предположительно, формирование поля железомарганцевых конкреций (ЖМК) площадью около 80 км² в Онежском заливе в районе, примыкающем к пос. Лямцы, может быть обусловлено разгрузкой в данном районе

подземных вод. Поле расположено на поверхности и склонах подводной террасы, а роль водоупорного горизонта выполняет кровля вендских аргиллитов. 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].

2.2. Наблюдательная сеть и применяемые методы

Морские мониторинговые геолого-геофизические работы в Белом море в 2023 г. выполнялись в пункте наблюдений «Кандалакшский залив» с целью уточнения характеристики проявлений опасных гравитационных ЭГП в пределах прибрежной зоны (рис. 85).

Работы проводились в июле 2023 г. и включали комплекс геофизических методов, состоящий из непрерывного сейсмоакустического профилирования (НСАП) и гидролокации бокового обзора (ГЛБО). Схема фактического материала работ представлена на рис. 86. Всего выполнено 104 км НСАП (по профилям, секущим геологические структуры) и 100 км ГЛБО субпараллельно береговой линии для геолого-геоморфологического анализа территории и выделения опасных участков.

ГЛБО выполнялся с сонаром СМ-2 (С-МАХ, Великобритания) (рабочая частота 325 КГц); НСАП – сейсмоакустическим комплексом в составе сеймостанции DAQ-Link 4, электродинамического излучателя типа «бумер», накопителя JASK-500HP и 8-канальной сейсмокоды. Для промера глубин при проведении ГЛБО применялся профилограф SES-2000 compact (Innomar, Германия).

Основой для проведения геофизических работ в пункте наблюдений «Кандалакшский залив» являлись результаты предварительного геолого-геоморфологического анализа рельефа дна, позволившего выявить площади, характеризующиеся крутизной склонов, провоцирующих потенциально опасные процессы подводного оползнеобразования и обрушения (рис. 87).

Основными задачами, решаемыми при проведении исследований, являлось выявление площадей, на которых возможно проявление опасных экзогенных геологических процессов (ЭГП), что, в первую очередь, включало в себя: выявление и картирование площадей дна, характеризующихся крутизной склонов,

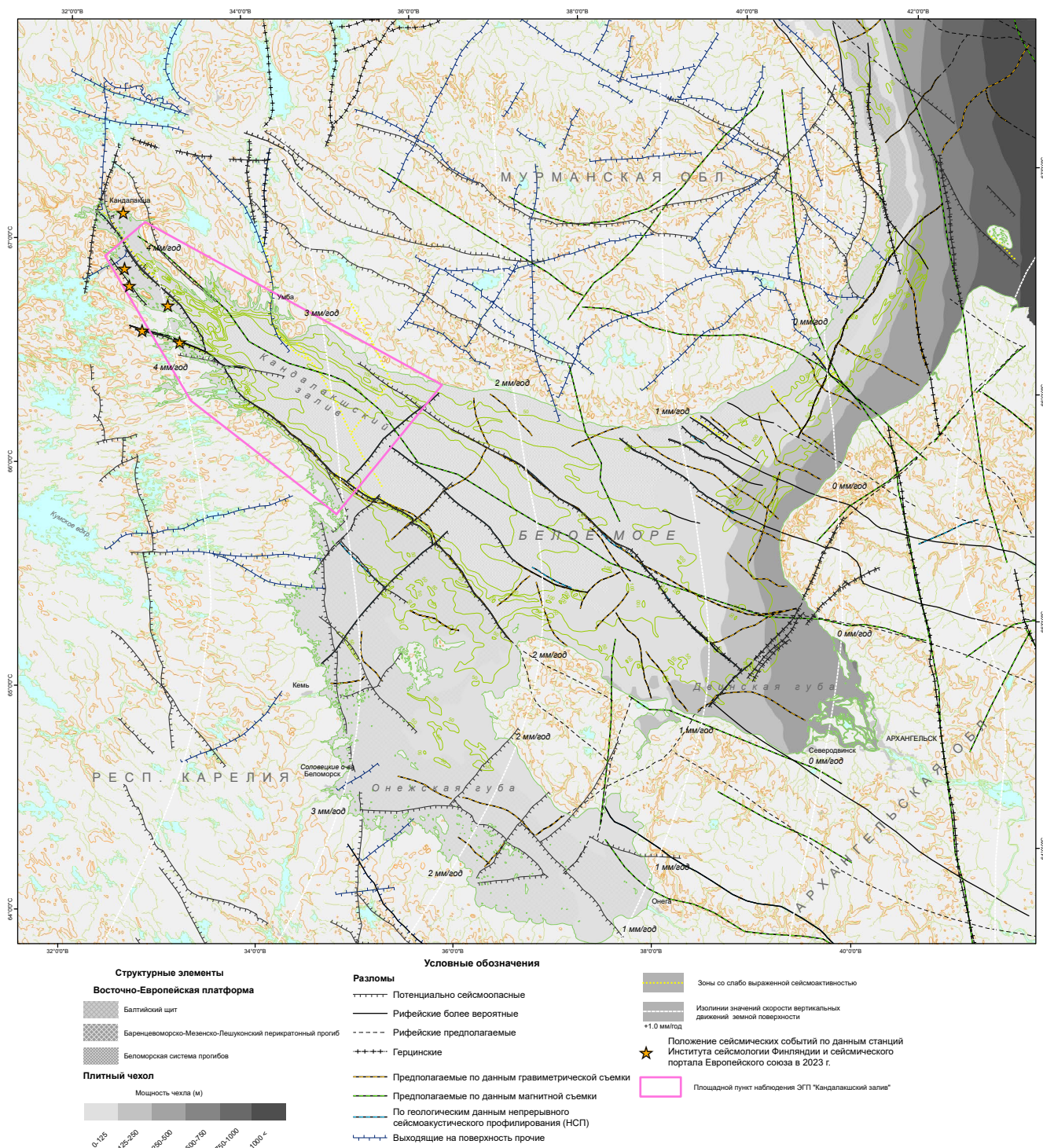


Рис. 85. Карта наблюдательной сети прибрежно-шельфовой зоны Белого моря на тектонической основе

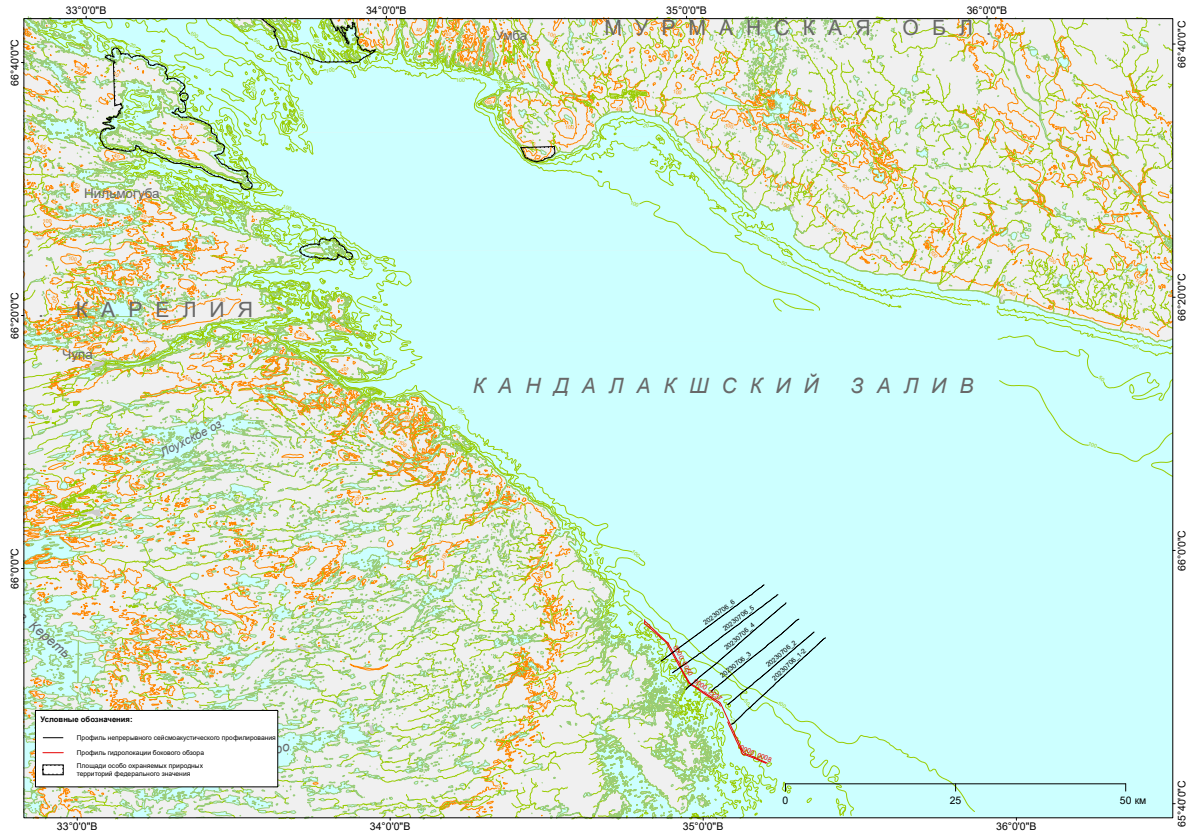


Рис. 86. Карта фактического материала полевых геолого-геофизических работ в пункте наблюдений «Кандалакшский залив» в 2023 г.

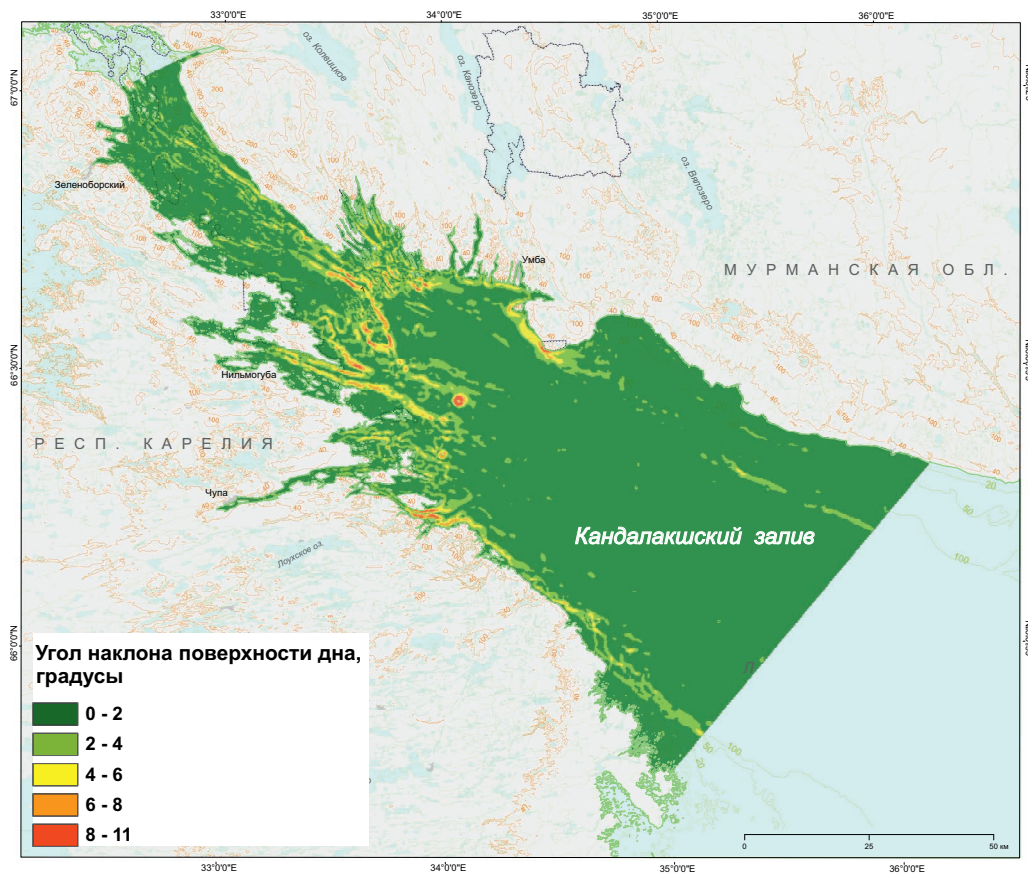


Рис. 87. Обобщенная схема распределения углов склонов в пределах площади работ

провоцирующих потенциально опасные процессы подводного оползне- и осыпеобразования; картирование распределения мощностей рыхлых послеледниковых отложений; сеймо-стратиграфическое расчленение с идентификацией осадочных толщ.

2.3. Региональная активность опасных экзогенных геологических процессов в 2023 г.

Дно Кандалакшского залива в пределах пункта наблюдения характеризуется расчлененным рельефом дна, что обусловлено особенностями геологического строения этого района.

Геологический разрез в пределах пункта наблюдений «Кандалакшский залив» представлен четырьмя основными сейсмокомплексами (СК), соотносимыми с разновозрастными геологическими образованиями. Нижний комплекс, представляющий собой акустический фундамент для используемой аппаратуры НСАП, образован метаморфическими породами позднего архея и терригенными породами среднего–позднего рифея. Проявления ЭГП связаны в основном с четвертичными образованиями, которые формируют четыре верхних комплекса. Первый (нижний) – ледниковые отложения верхнего неоплейстоцена – gIIIos (конечно-моренные гряды и основная морена, а также продукты их перемыва) представлены глинистыми песками, плотными песчанистыми глинами с галькой и валунами кристаллических пород. Второй – ледниково-морские отложения (mgIII), сложенные полосчатыми и ленточноподобными глинами, реже алевритами и песками. Третий комплекс морских декливиальных отложений голоцена (mdH), представленных валунами, галькой, гравием, песками, глинами, алевроглинами, пелитами. Четвертый комплекс морских, преимущественно нефелоидных отложений голоцена (mnH) сложен глинами, алевроглинами, пелитами и, редко, песками. В прибрежной части развиты морские перлювиальные отложения mpIIIos-H, сложенные песками, галькой, валунами [Мануйлов и др., 1973ф; Девдариани, 1985; Государственная геологическая карта ..., 2012; Рыбалко и др., 2020; Старовойтов и др., 2018].

В пределах площади работ выделяется ряд морфоскульптурных форм рельефа (морфоскульптурных элементов), характеризующихся наибольшей возможностью проявления в их пределах опасных ЭГП. К ним, в первую очередь, относятся крутые подводные береговые склоны.

Подводные береговые склоны выполнены коренными породами рифея, как правило перекрытыми ледниковыми отложениями верхнего неоплейстоцена (основная морена), а на отлогах участках – морскими голоценовыми осадками. На наиболее крутых участках склонов и на гребнях подводных гряд коренные породы выходят непосредственно на поверхность дна, частично перекрытые лишь тонким слоем голоценовых осадков. Максимально крутые скаты расположены на востоке площади работ, где углы склонов достигают 11–13°, а перепад высот составляет 50–120 м. На локальных участках углы склонов могут доходить до 18°.

На склонах, сложенных выходами коренных пород и у их подножья, зачастую наблюдаются осыпи. Так, на профиле UHR_04 (рис. 88) ниже выхода коренных пород уверенно просматривается осыпное тело мощностью от 3 до 5 м, смещенное вниз по склону. Сходная картина наблюдается на профиле UHR_02 (рис. 89), где ниже выходов коренных пород фиксируются два осыпных тела мощностью около 7 и 5 м соответственно. Аналогичная ситуация наблюдается на профиле UHR_06 (рис. 90), где отмечены осыпи мощностью до 12 м, и на профиле UHR_03 (рис. 91), где фиксируется осыпное тело мощностью до 3 м.

На склонах, перекрытых мореной и голоценовыми осадками, повсеместно развиты оползни. Так, на профиле UHR_03 (рис. 91) зафиксирована серия оползневых тел мощностью до 8 м. На пологих склонах на профилях UHR_04 (рис. 88) и UHR_07 (рис. 92) отмечены протяженные оползневые тела мощностью до 6–7 м.

В отдельных случаях наблюдаются и многослойные оползни. Более древние оползни ледниковых отложений перекрываются более молодыми декливиальными образованиями либо оползнями осадков голоценового возраста (рис. 88, 91).

Работы методом ГЛБО, совмещенные с профилями, выполненными параметрическим профилографом, позволили идентифицировать состав донных осадков, установить ряд локальных морфоструктурных элементов, характеризующих рельеф подводного берегового склона, зафиксировать наличие оползневых и осыпных процессов на отдельных его участках. В целом, по данным ГЛБО, поверхностные осадки представлены главным образом отложениями основной морены с выходами на отдельных участках коренных пород.

На профиле ГЛБО 0000_0050 среди отложений основной морены зафиксированы подводные обнажения коренных пород в виде отдельно расположенных скал высотой до 1,5–4,0 м

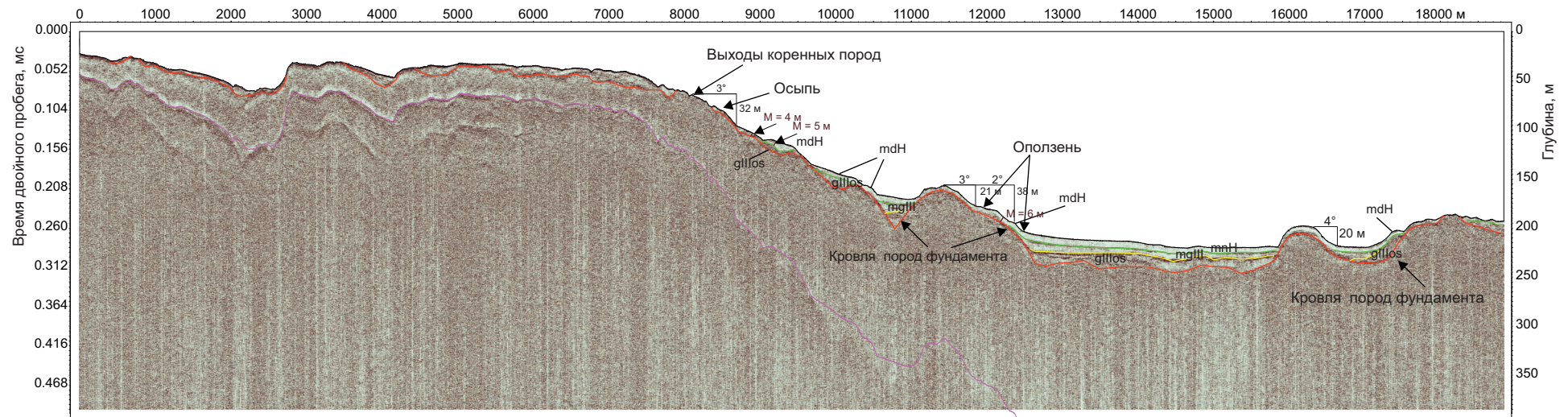


Рис. 88. Профиль НСАП ПР 20230706_UHR_04. Подводный береговой склон с выходами коренных пород и проявлениями процессов оползнеобразования и осыпеобразования

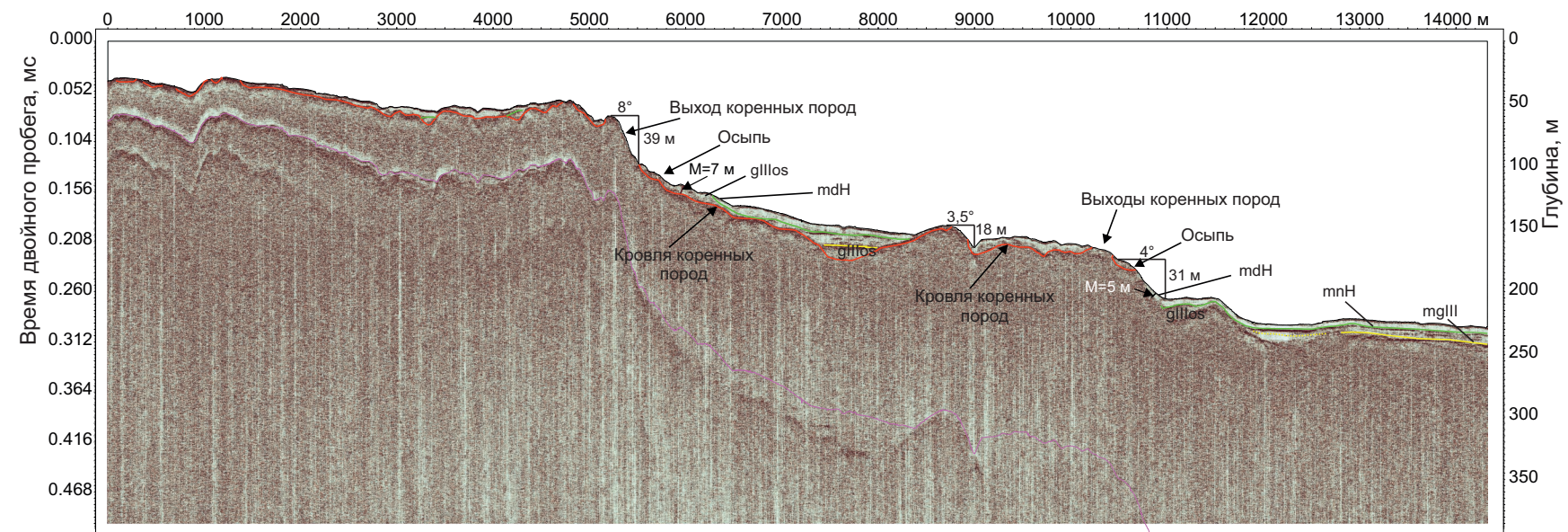


Рис. 89. Профиль НСАП 20230706_UHR_02. Подводный береговой склон с выходами коренных пород и проявлениями процессов осыпеобразования

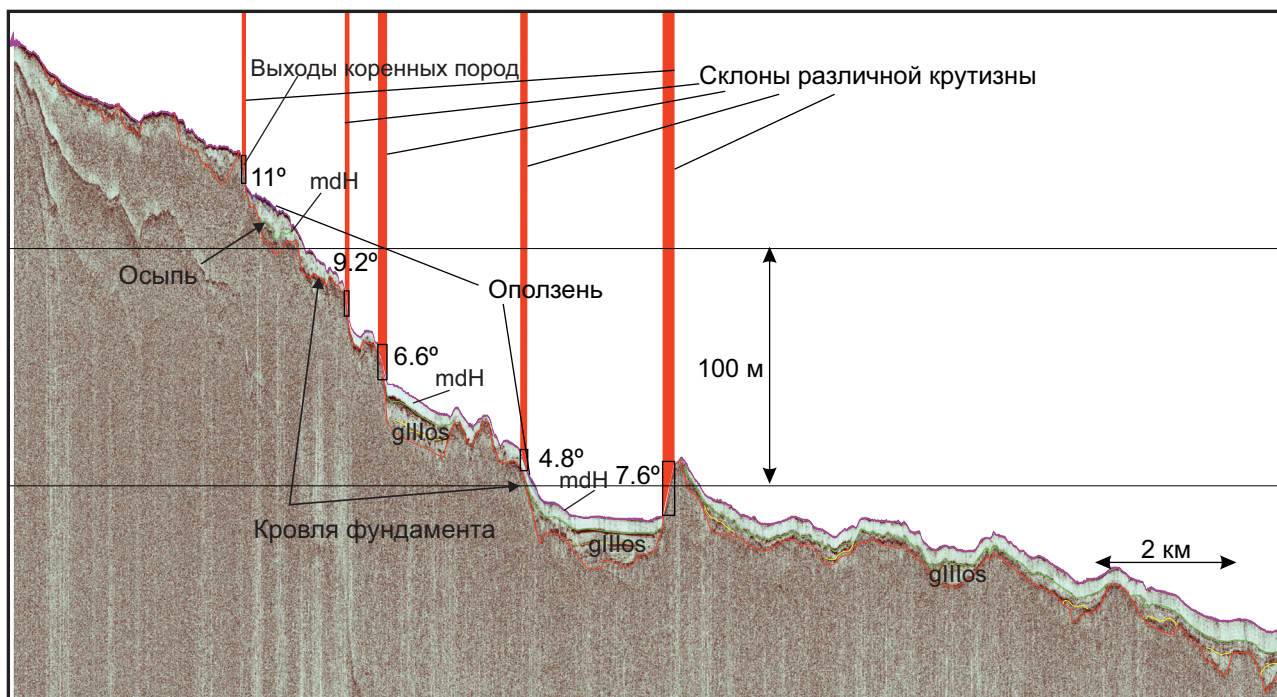


Рис. 90. Профиль НСАП 20230706_UHR_06. Пологий подводный береговой склон с локальными выходами коренных пород, моренными отложениями, перекрытыми голоценовыми осадками

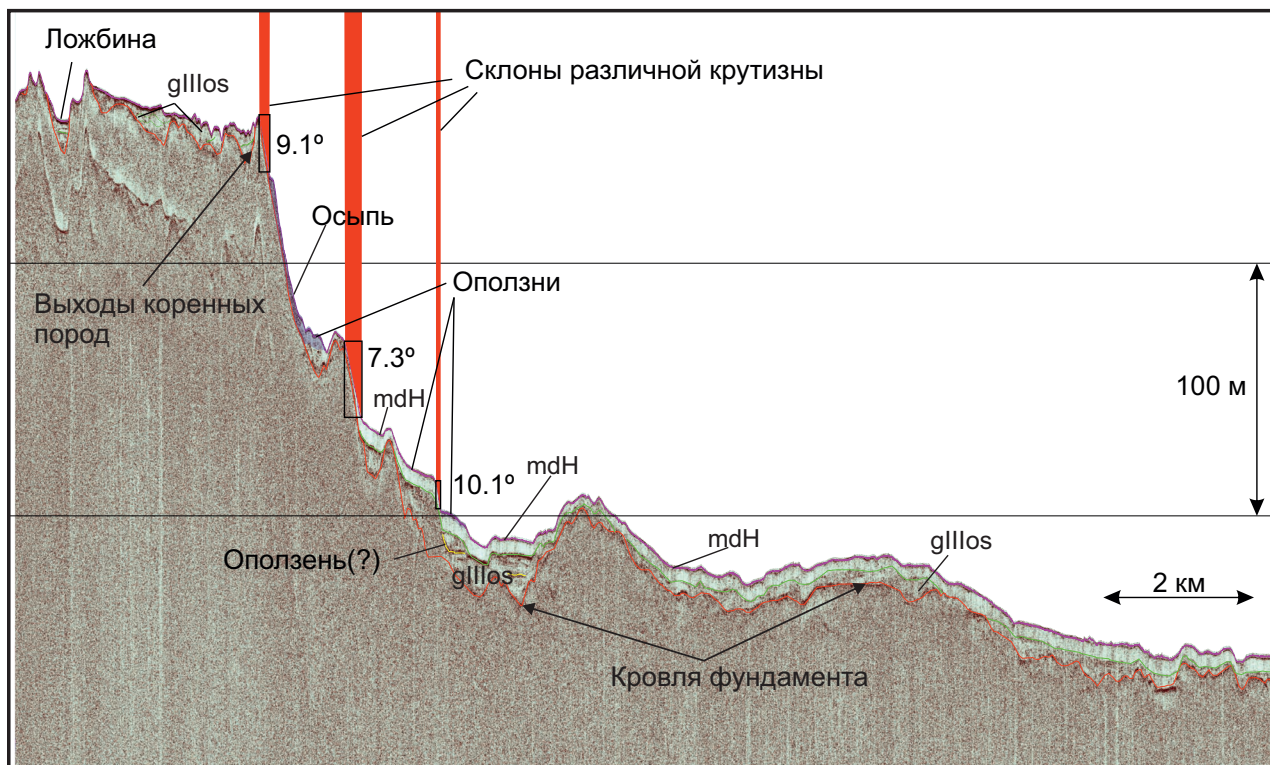


Рис. 91. Профиль НСАП 20230706_UHR_03. Подводный береговой склон с проявлениями процессов оползнеобразования и осыпеобразования

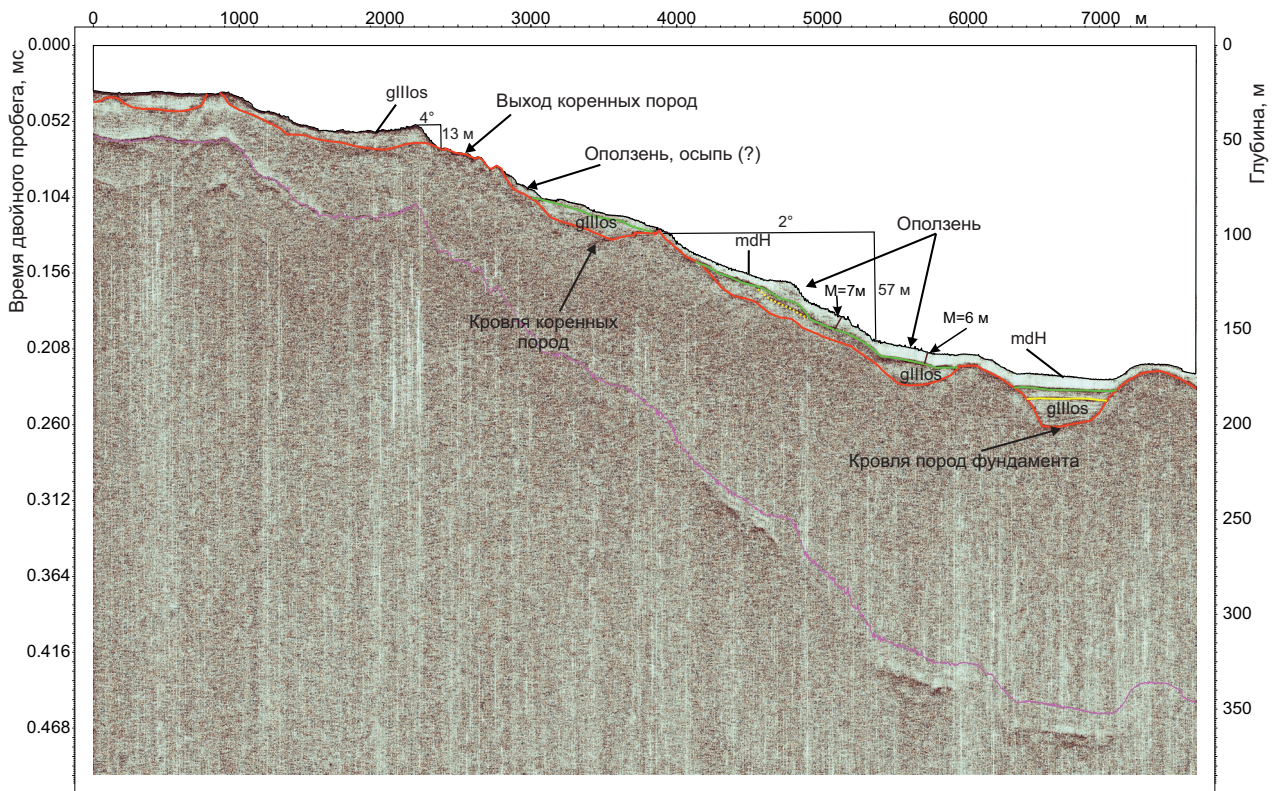


Рис. 92. Профиль НСАП 20230706_UHR_07. Подводный береговой склон с локальными выходами коренных пород, моренными отложениями, перекрытыми голоценовыми осадками. Наблюдаются следы оползней и осыпей

(рис. 93) и невысоких скальных гряд, протягивающихся перпендикулярно берегу (рис. 94). Приблизительные размеры этих скал: 15×8 м, 66×38 м и 19×16 м. Углы склонов достигают $6-12^\circ$. В основании склонов скальных выходов фиксируются крупноглыбовые развалы и осыпи. На склонах моренных образований – предположительно, следы оползней.

Еще одним типом локальных морфоструктур, характеризующихся возможностью проявления гравитационных ЭГП, являются уступы на обрывистых склонах выходов коренных пород. В частности на профиле ГЛБО 0000_50 (рис. 95) уступ оконтуривает локальную ложбину, протягивающуюся к северу перпендикулярно берегу. Высота бортов ложбины варьирует от 3,5 до 9,0 м. На сонограмме и профиле НСАП хорошо видны крупноглыбовые развалы, являющиеся вероятным последствием подводных осыпных процессов. Наиболее четко это фиксируется для западной части уступа.

На профиле ГЛБО 0000_2237 (рис. 96) зафиксирован скальный массив, западный борт которого совмещен с долиной ложбины стока. Общий перепад высот по отношению ко дну ложбины составляет 15 м. В верхней части западного склона наблюдается уступ высотой

около 6 м и расчетным углом склона около 60° . На противоположном борту ложбины также наблюдаются выходы коренных пород с системой уступов. В верхней части склона отмечен уступ высотой приблизительно 4 м с расчетным углом склона около 40° . У подножия уступов фиксируются осыпи.

Третьим типом локальных морфоструктур, характеризующихся возможностью проявления опасных ЭГП, являются ложбины, которые, по-видимому, служат «каналами стока» илистого материала вниз по склону. На рис. 97 показана разветвленная сеть таких ложбин с многочисленными притоками. Типичные сонограммы, совмещенные с результатами работ НСАП (параметрический профилограф) этих ложбин, представлены на рис. 97, 98.

Морфология различных участков этой сети ложбин достаточно разнообразна: на отдельных участках они почти полностью заполнены рыхлыми осадками (рис. 97, В), на других хорошо выражены в рельефе (рис. 97, А,Б). Максимальная зафиксированная ширина ложбин по бровке их склонов – от 30 до 50 м, а у дна – до 10 м, средняя глубина около – 2 м.

На рис. 98 показана хорошо проявленная в рельефе дна ложбина, которая дренирует отложения

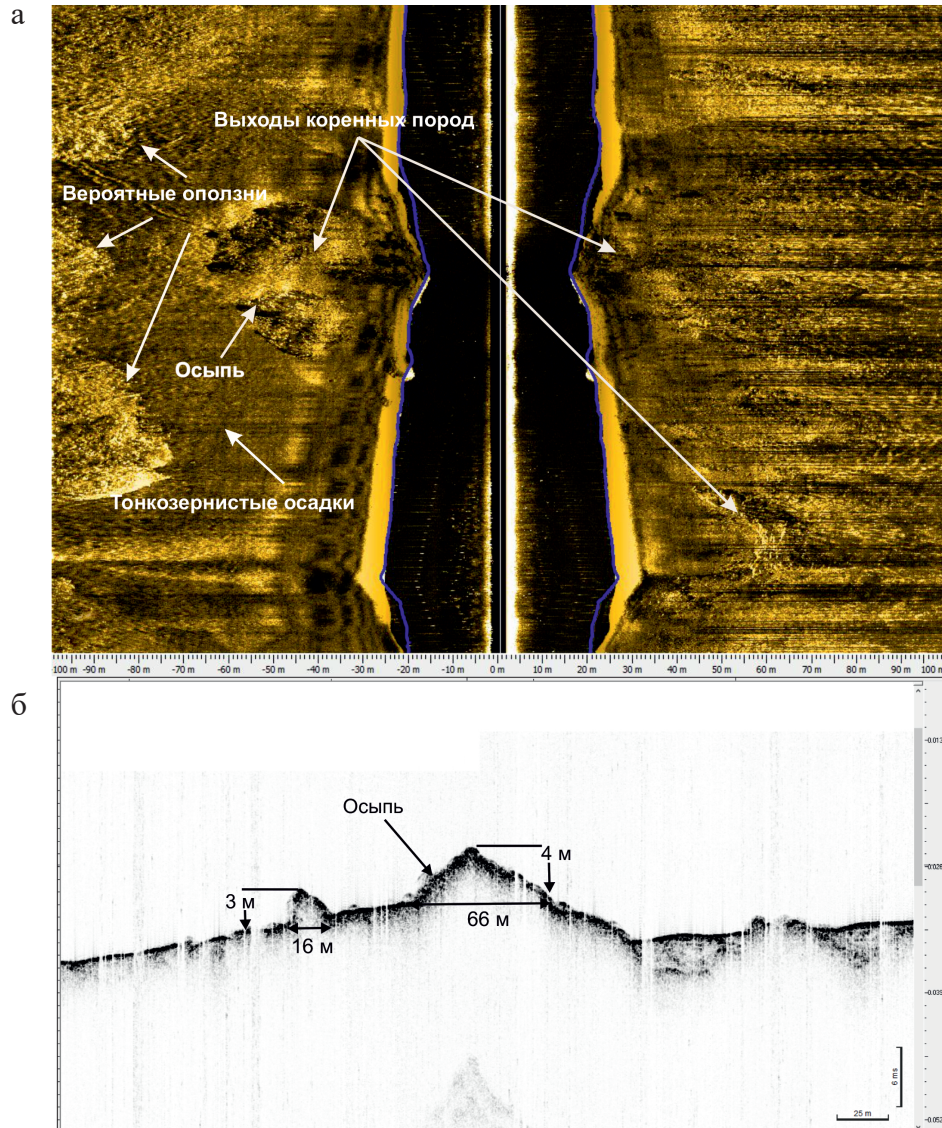


Рис. 93. Фрагмент профиля ГЛБО 0000_0050. Моренные отложения и выходы коренных пород (35,025E, 65,829N)

а – фрагмент сонограммы, б – разрез по профилографу

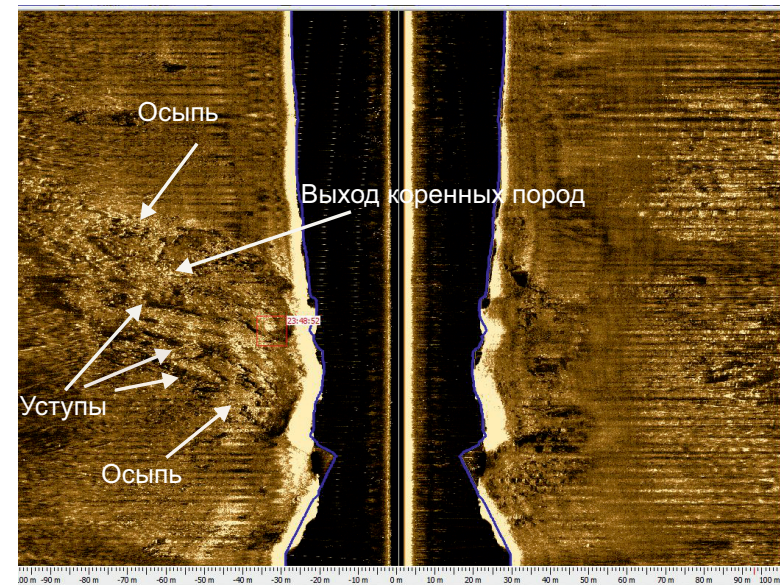


Рис. 94. Фрагмент профиля ГЛБО 0000_2237. Выход скальной гряды, выполненной коренными породами с серией уступов и осыпями (65,825N, 35,034E)

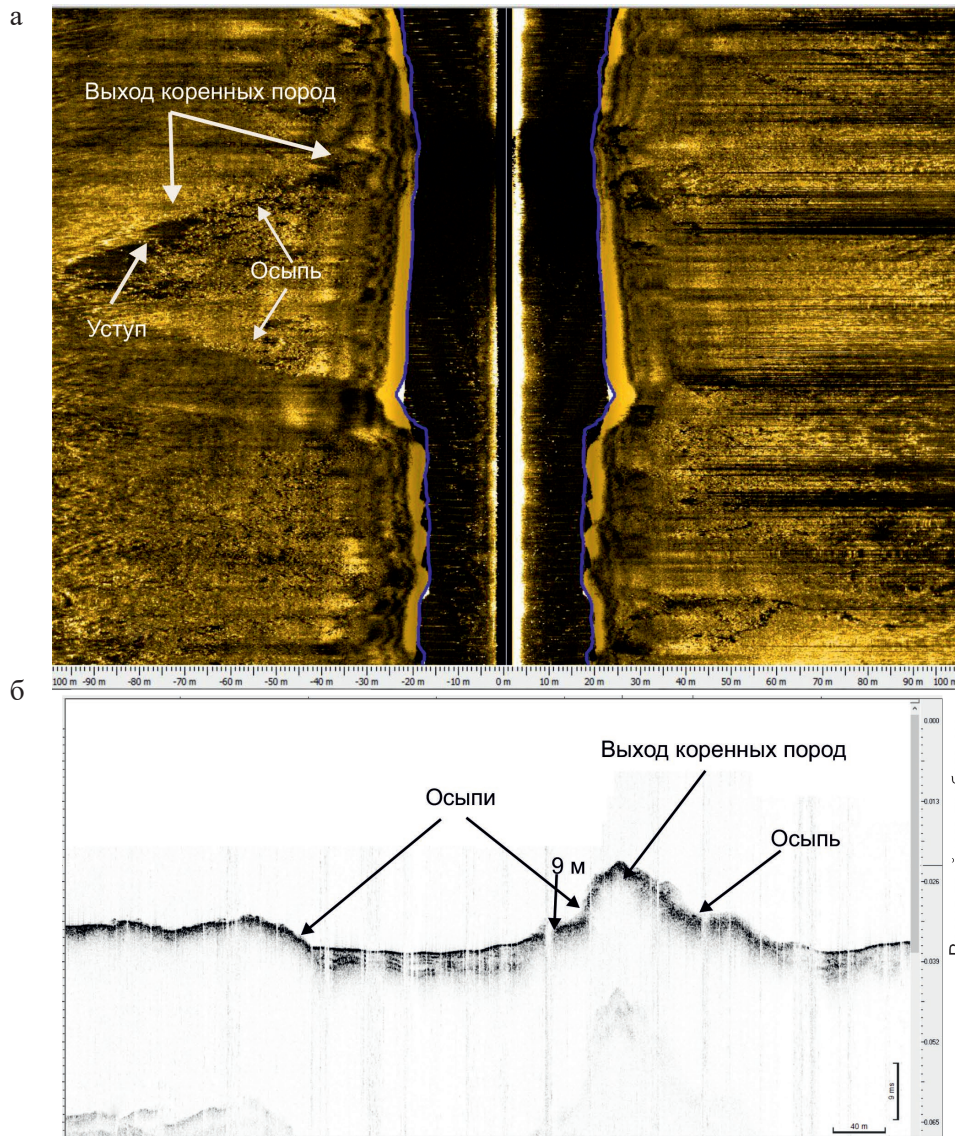


Рис. 95. Фрагмент профиля ГЛБО 0000_50. Выход коренных пород (35,049E, 65,822N)

а – фрагмент сонограммы, б – разрез по профилографу

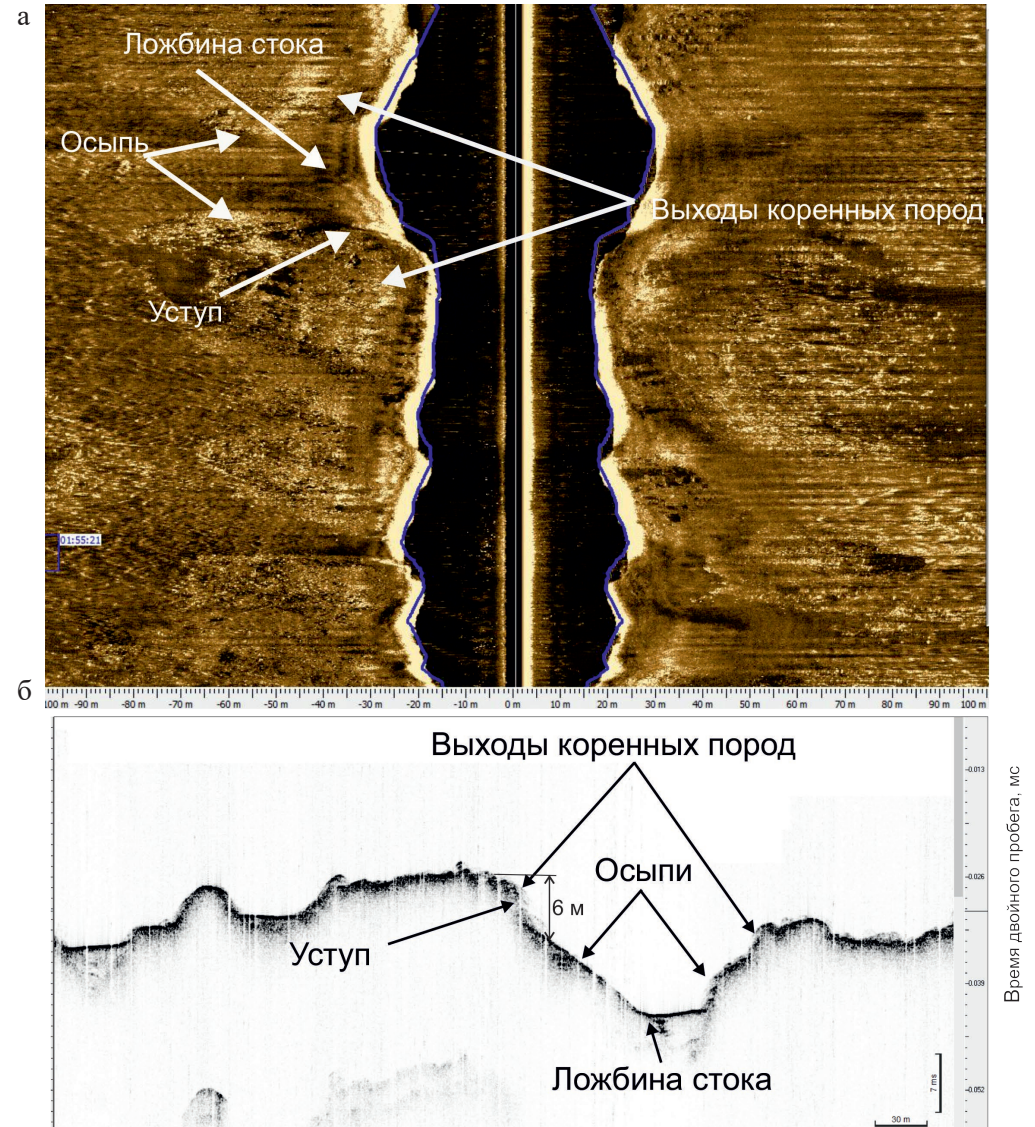


Рис. 96. Фрагмент профиля ГЛЮ 0000_2237. Выходы коренных пород с уступом в сторону ложбины стока и осыпями (65,827N, 35,028E)

а – фрагмент сонограммы, б – разрез по профилографу

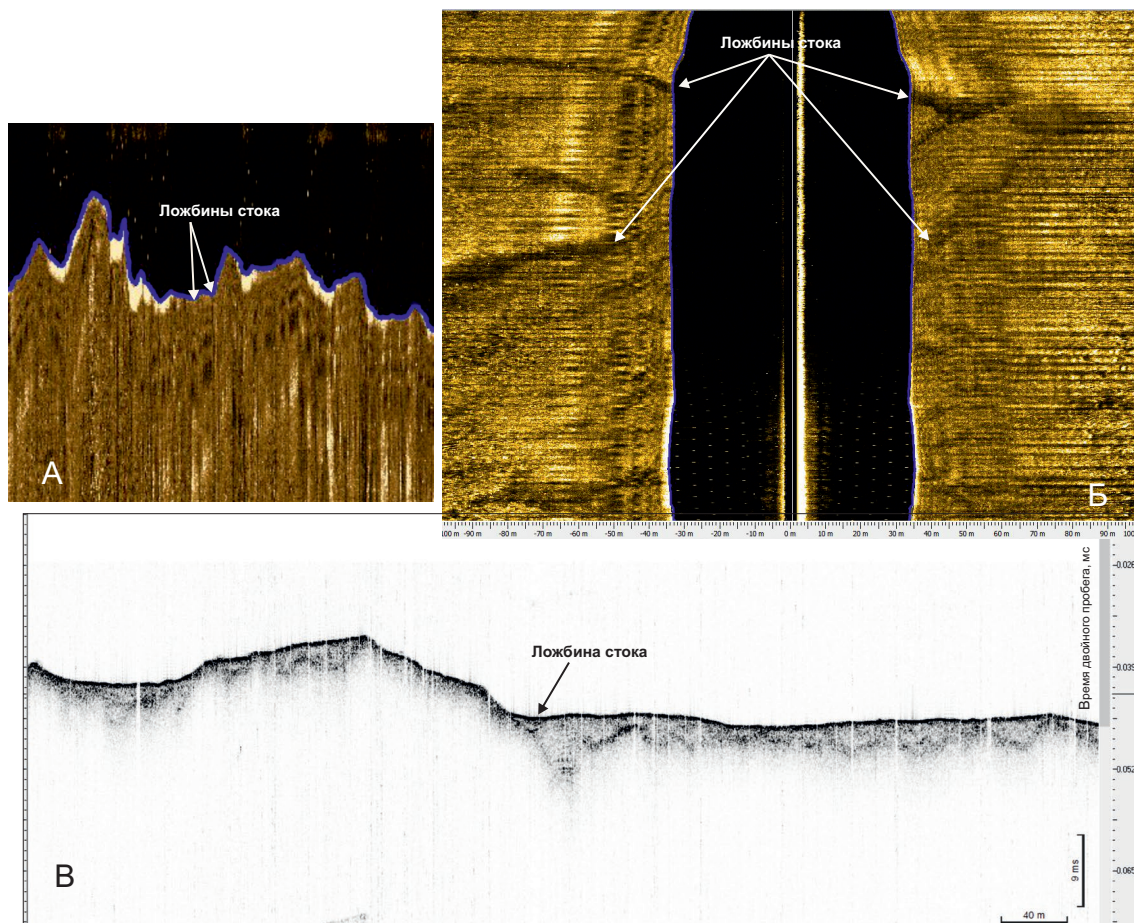


Рис. 97. Фрагмент профиля ГЛБО 0000_2237. Разветвленная система ложбин стока (65,901N, 35,890E)
 А – расстояние от дна до буксируемого устройства ГЛБО, Б – фрагмент сонограммы, В – разрез профилографа

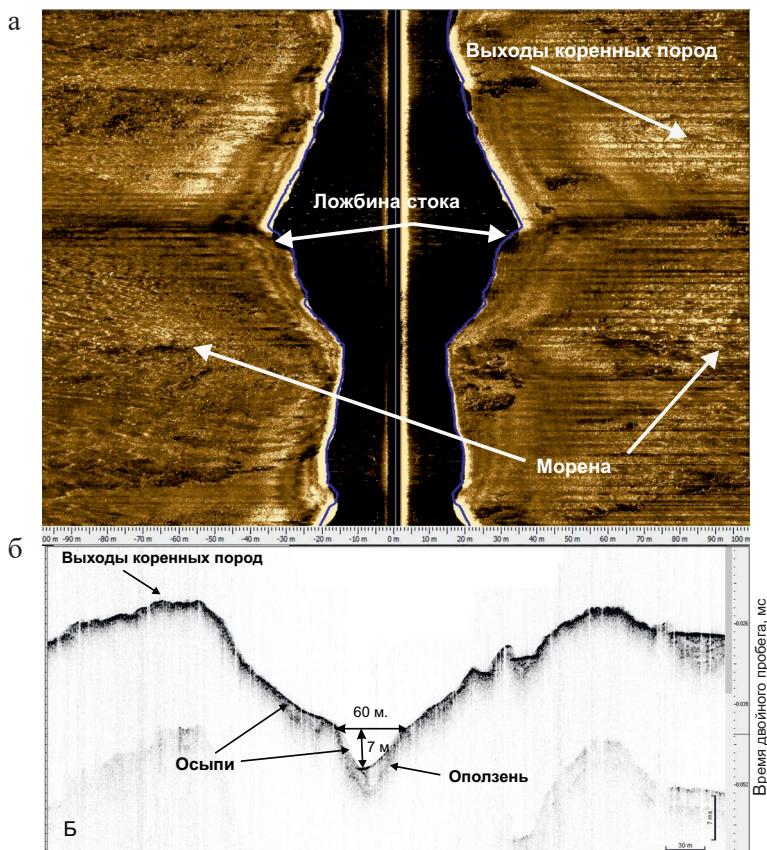


Рис. 98. Фрагмент профиля ГЛБО 0000_2237. Ложбина (65,831N, 35,015E)
 А – фрагмент сонограммы, Б – разрез профилографа

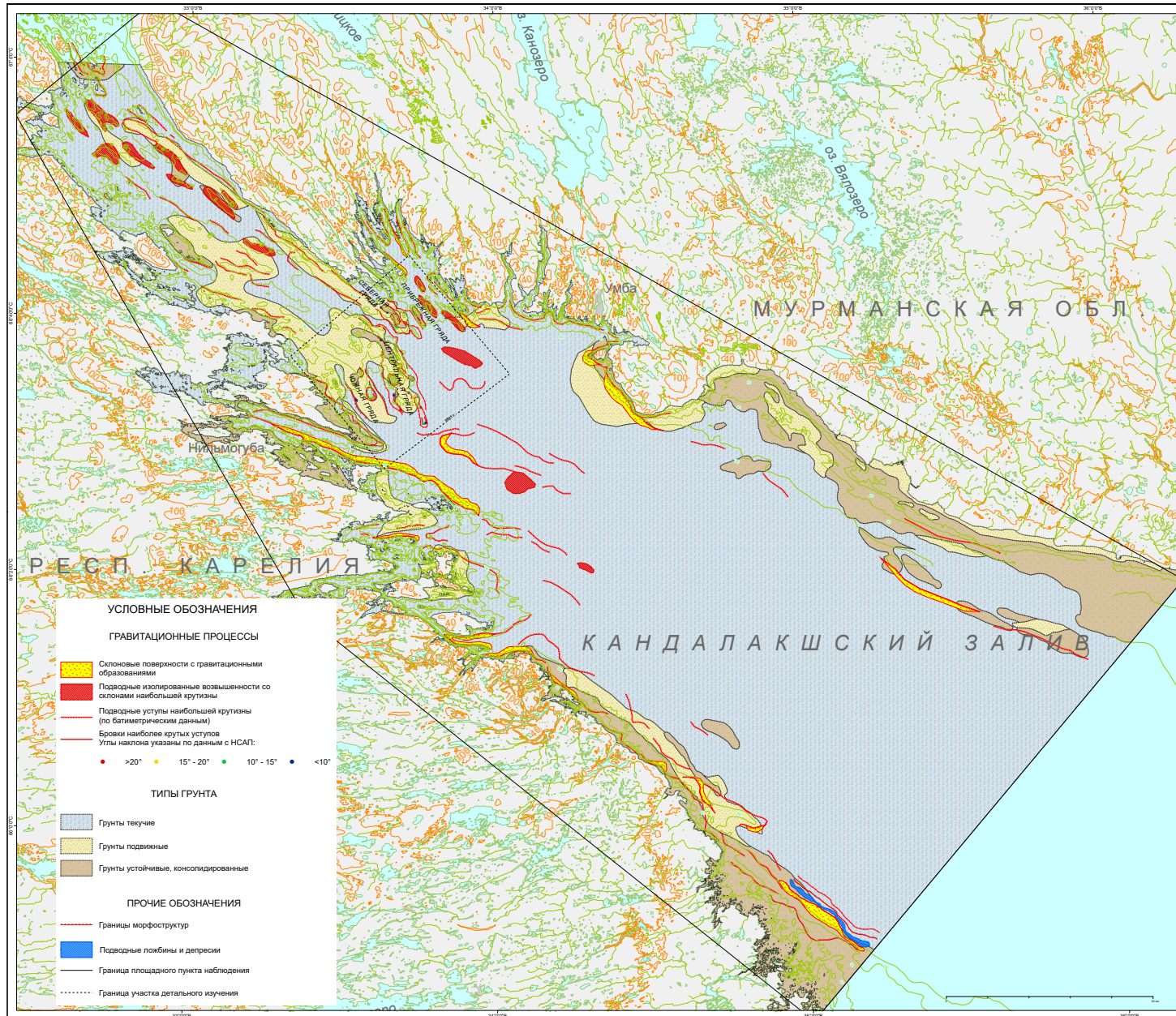


Рис. 99. Карта проявлений опасных ЭГП в пункте наблюдений «Кандалакшский залив»

основной морены. На отдельных участках ее бортов наблюдаются выходы коренных пород, частично перекрытых тонким слоем перлювия. Глубина ложбины составляет около 7 м, ширина в верхней бровке склона приблизительно 60 м, у днища до 10 м. Западный борт ложбины имеет угол склона $\approx 29^\circ$. В нижней части склона и на дне ложбины прослеживаются осыпи. Восточный, более пологий борт имеет угол склона приблизительно 13° . На нем, предположительно, фиксируются последствия оползней. Карта проявлений опасных ЭГП пункта наблюдений «Кандалакшский залив» показана на рис. 99.

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

Локально, в основном в пределах Кандалакшского залива (рис. 100), в устье Онежско-го залива 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 (проведение подводных инженерно-технических работ, прокладка подводных коммуникаций, дноуглубление фарватеров, добыча полезных ископаемых и т. д.). Суммарная площадь дна в Кандалакшском заливе, где потенциально возможны гравитационные процессы, составляет 1,2% его общей площади или 94 км².

Процессы газофлюидной разгрузки (углеводородные газы, прежде всего метан, а также разгрузка подземных вод) мало влияют на состояние геологической среды в Белом море. Маловероятно, что они представляют собой опасность, хотя нельзя исключать, что подобное утверждение определяется слабой изученностью этих процессов.

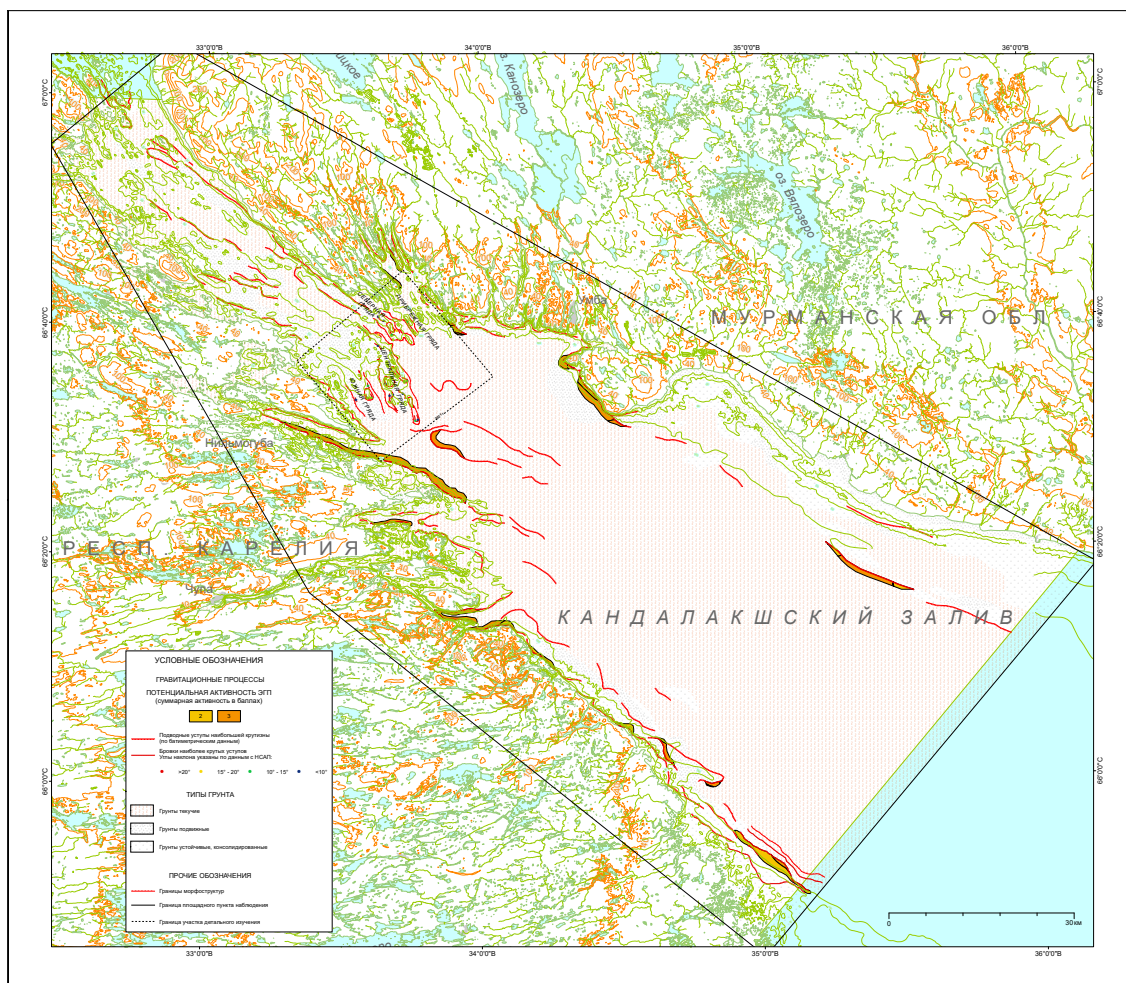


Рис. 100. Карта активности ЭГП в Кандалакшском заливе

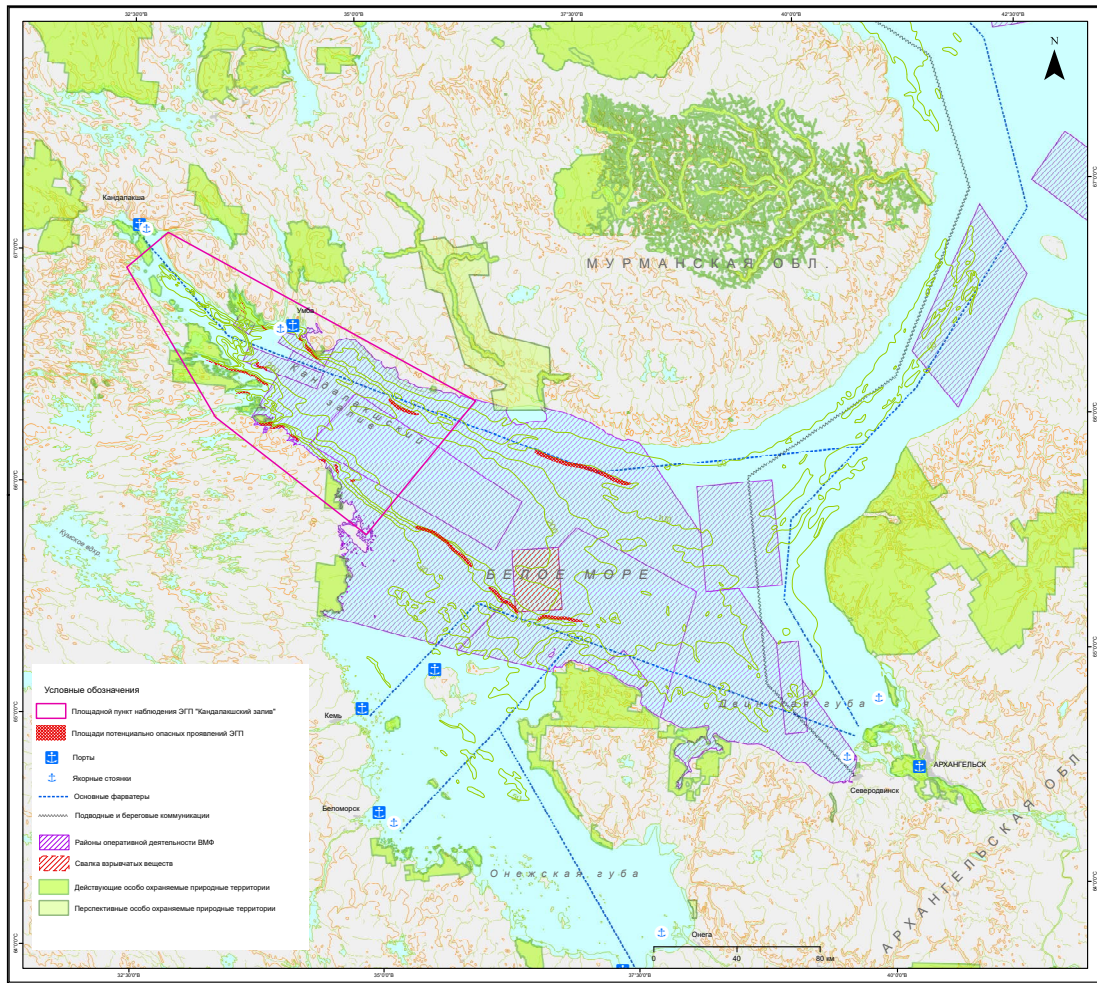


Рис. 101. Карта геологических опасностей, связанных с ЭГП

В целом слабая освоенность дна и берегов Белого моря (рис. 101) обуславливает низкий уровень опасности ЭГП, т. к. площади их развития в открытой части моря крайне редко пересекаются с объектами техногенеза (кабели, гидротехнические сооружения и т. д.). При этом нельзя забывать о необходимости изучения опасных ЭГП в районах планируемой реализации проектов развития транспортной инфраструктуры региона. Это строительство глубоководного порта в Двинском заливе в районе о. Мудьюгский и расширение порта г. Беломорск. В прибрежных районах моря вблизи населенных пунктов и портов, в частности в Двинском (береговая зона в пределах Архангельска и Северодвинска), в Кандалакшском (береговая зона в пределах г. Кандалакша) и Онежском заливах (города Беломорск и Кемь, Соловецкие остро-

ва) выявляются зоны, где фиксируется опасный размыв морского дна, заносимость фарватеров, абразия берегов, но все эти опасные природные явления не относятся к ЭГП, а считаются гидрологическими процессами, т. е. не являются объектами мониторинга состояния недр.

В Горле Белого моря и в устьевых районах рек благодаря активной многофакторной придонной гидродинамике, в первую очередь, приливно-отливной, наблюдаются не только процессы 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, а также могут создавать реальные проблемы при подводной добыче полезных ископаемых.

3. Прибрежно-шельфовая зона российской части Баренцева моря

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 морями Карское и Белое. Баренцево море относится к типу материковых окраинных морей (рис. 102). Это одно из самых больших по размерам российских морей. Его площадь равна 1 млн 424 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 т. д.), желобов (Северо-Новоземельский желоб, Кольский прогиб и т. д.) и террасовидных уступов на склонах.

В Баренцевом море много островов, в том числе в пределах изучаемой площади: архипелаг Новая Земля, 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.

Положение Баренцева моря в высоких широтах за полярным кругом, непосредственная связь с Атлантическим океаном и Центральным арктическим бассейном определяют основные характеристики климата моря. 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 большая меридиональная протяженность моря, поступление больших масс теплых атлантических вод на юго-западе и приток холодных вод из

арктического бассейна создают климатические различия от места к месту.

Баренцево море является наименее ледовитым из всех арктических морей, причиной чему является теплое Нордкапское течение. Максимальная кромка льда в марте обычно начинается у восточной оконечности Кольского полуострова и далее протягивается примерно между 74 и 75° северной широты. Минимальный ледовый покров обычно фиксируется 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.

В северной части Кольского полуострова располагается крупнейший залив побережья – Кольский. Общая протяженность залива по створам – около 55 км, ширина залива – от 1 до 7 км. На берегах залива находятся такие крупные города как Мурманск, Североморск, Кола, Полярный. Средние глубины залива в пределах 200 м, максимальные – 330 м. Крупными питающими реками, впадающими в южную часть залива, являются реки Кола и Тулома. Берега залива 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 России как в экономическом, так и в военно-политическом отношении. Мурманский незамерзающий порт является самым крупным за полярным кругом не только в России, но и в мире. Здесь же располагается крупнейшая военно-морская база Северного флота России. Все это обусловило концентрацию в береговой зоне Кольского залива объектов военно-морского флота и портовой инфраструктуры, таких как различные судоремонтные мастерские, терминалы погрузки угля,

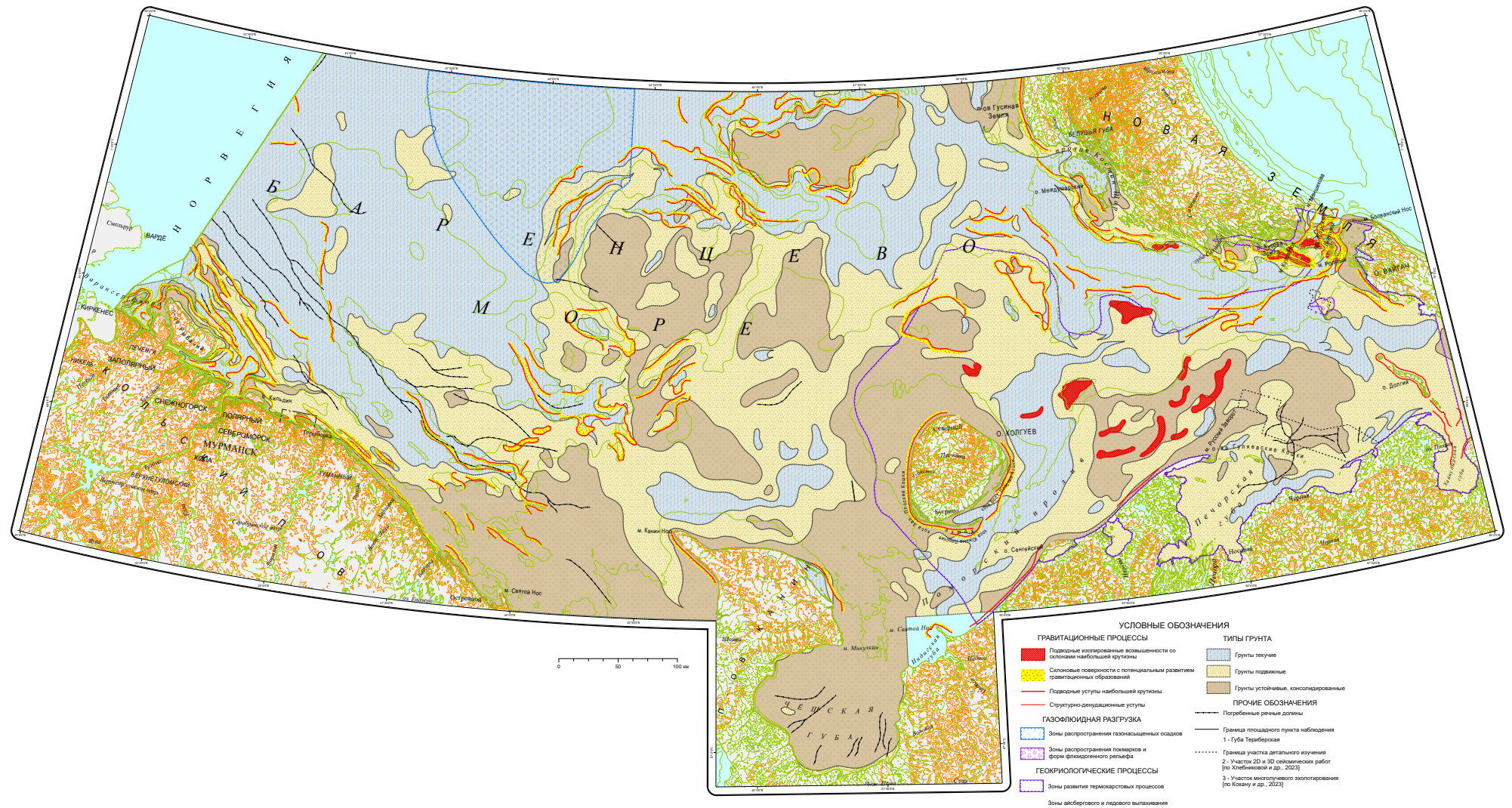


Рис. 103. Карта проявлений опасных ЭГП в прибрежно-шельфовой зоне Российской части Баренцева моря

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 Териберки планировалось примыкание подводного продуктопровода от Штокмановского газоконденсатного месторождения с созданием соответствующей инфраструктуры и завода по сжижению газа.

К числу наиболее опасных природных процессов и явлений, распространенных в прибрежно-шельфовой зоне Баренцева моря, (рис. 103) относятся:

– гравитационные ЭГП и литодинамические процессы и явления, опасная интенсивность которых характерна преимущественно для прибрежных (до глубины 30 м) зон и приуроченных к мезоформам рельефа участков развития наклонных (свыше 1–5°) поверхностей;

– экзарационные процессы и явления, представленные вспахиванием морского дна айсбергами и плавучими льдами, угрожают устойчивости подводных трубопроводов и кабелей на глубинах моря до 100 м.

В пределах картируемой прибрежно-шельфовой зоны Баренцева моря (369 850 км²) текучие грунты занимают 37,8% площади (139 830 км²), подвижные – 33,7% (124 640 км²), устойчивые – 28,5% (105 880 км²). Площадь дна, где потенциально возможно развитие гравитационных процессов, измеряется 13 660 км², что составляет 3,7% общей картируемой площади (рис. 103).

Для восточной части Баренцева моря, где работы по Государственному мониторингу состояния недр прибрежно-шельфовой зоны не проводились, характерны опасные ЭГП, связанные с мерзлотными явлениями. Термокарст развит преимущественно в мелководных зонах, затопленных во время позднеплейстоцен-голоценовой трансгрессии. Зоны развития термокарстовых процессов в акватории предположительно достигают 94 000 км². 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 полуострова 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 пластическое давление. Площадь зон, где выявлены газонасыщенные грунты, достигает 21 200 км² или 15,5% картируемой площади прибрежно-шельфовой зоны Баренцева моря.

3.2. Наблюдательная сеть и применяемые методы

Морские мониторинговые геолого-геофизические работы в Баренцевом море выполнялись в одном пункте наблюдений – «губа Териберская» (рис. 104).

Основными задачами, решаемыми при проведении исследований, являлись выявление и картирование площадей дна, характеризующихся значительной крутизной склонов, провоцирующих потенциально опасные процессы подводного оползнеобразования и осыпобразования; картирование распределения мощностей рыхлых послеледниковых отложений, идентификация осадочных толщ.

Работы 2023 г. включали подводное фототелепрофилерование и донный пробоотбор (рис. 105) на участках, где наиболее возможны проявления экзогенных геологических процессов. Основой для выбора положения станций наблюдения послужили результаты ГЛБО и НСАП, выполненных в 2022 г. Пробоотбор выполнялся с использованием бокс-корера, фототелепрофилерование – подводным дроном Chasing M2 PRO MAX.

3.3. Региональная активность опасных экзогенных геологических процессов в 2023 г.

В пределах площади работ (район о. Малый Олений и к западу от него) по данным геофизического профилирования выделен ряд морфоскульптурных форм рельефа (морфоскульптурных элементов), характеризующихся наибольшей возможностью проявления в их пределах опасных ЭГП. К ним, в первую очередь, относятся западный фланг скальной гряды Северо-Западная, являющаяся подводным продолжением о. Малый Олений, крутые береговые склоны и разделяющий их выводной ледниковый трог (рис. 106). Протяженность гряды западнее о. Малый Олений – около 3 км, относительная высота для крутого восточного мористого склона – от 46 до 64 м, а для западного, обращенного к берегу склона, – от 9 до 20 м. Ширина гряды по основанию изменяется

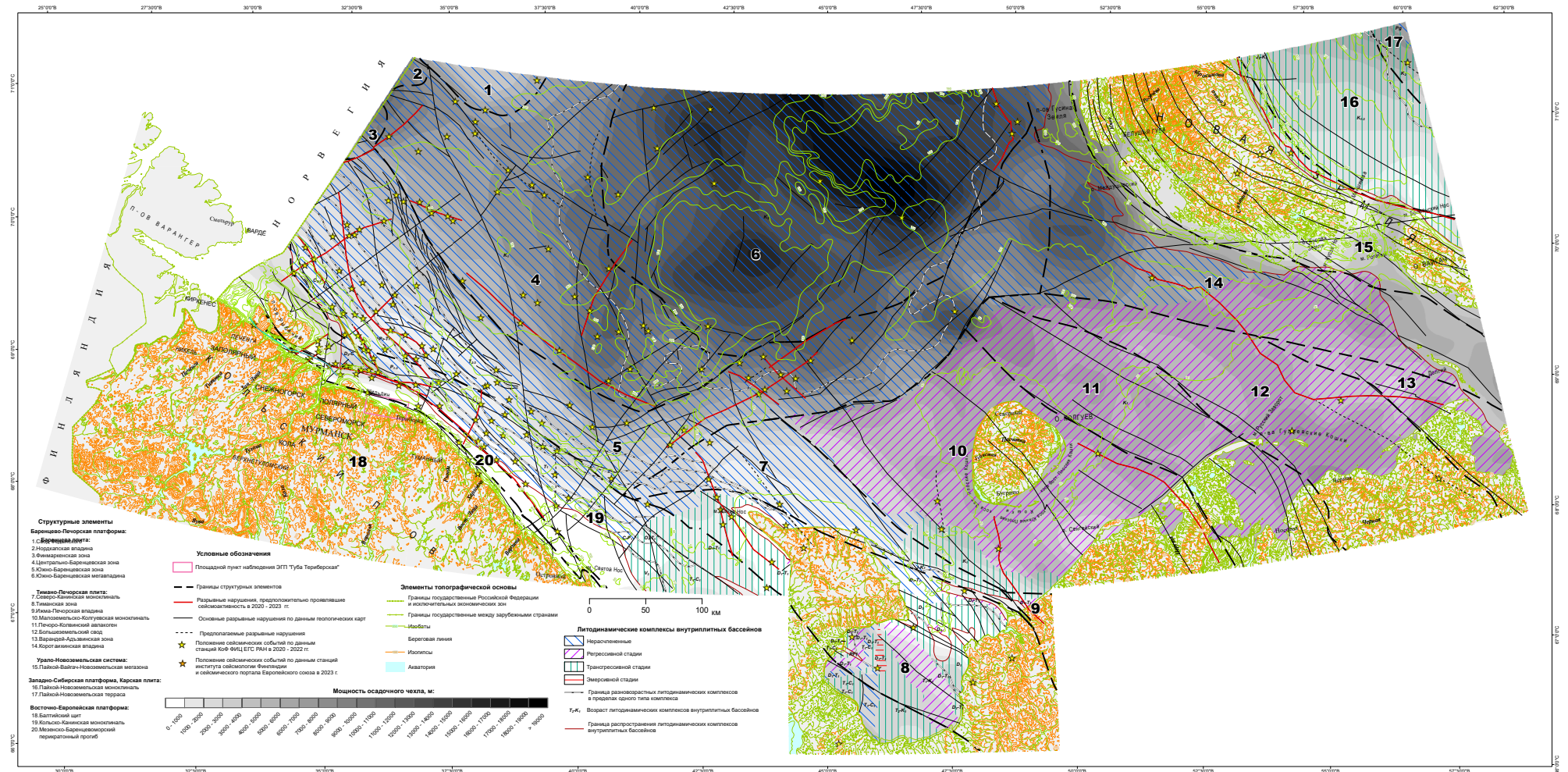


Рис. 104. Карта наблюдательной сети прибрежно-шельфовой зоны российской части Баренцева моря на тектонической основе

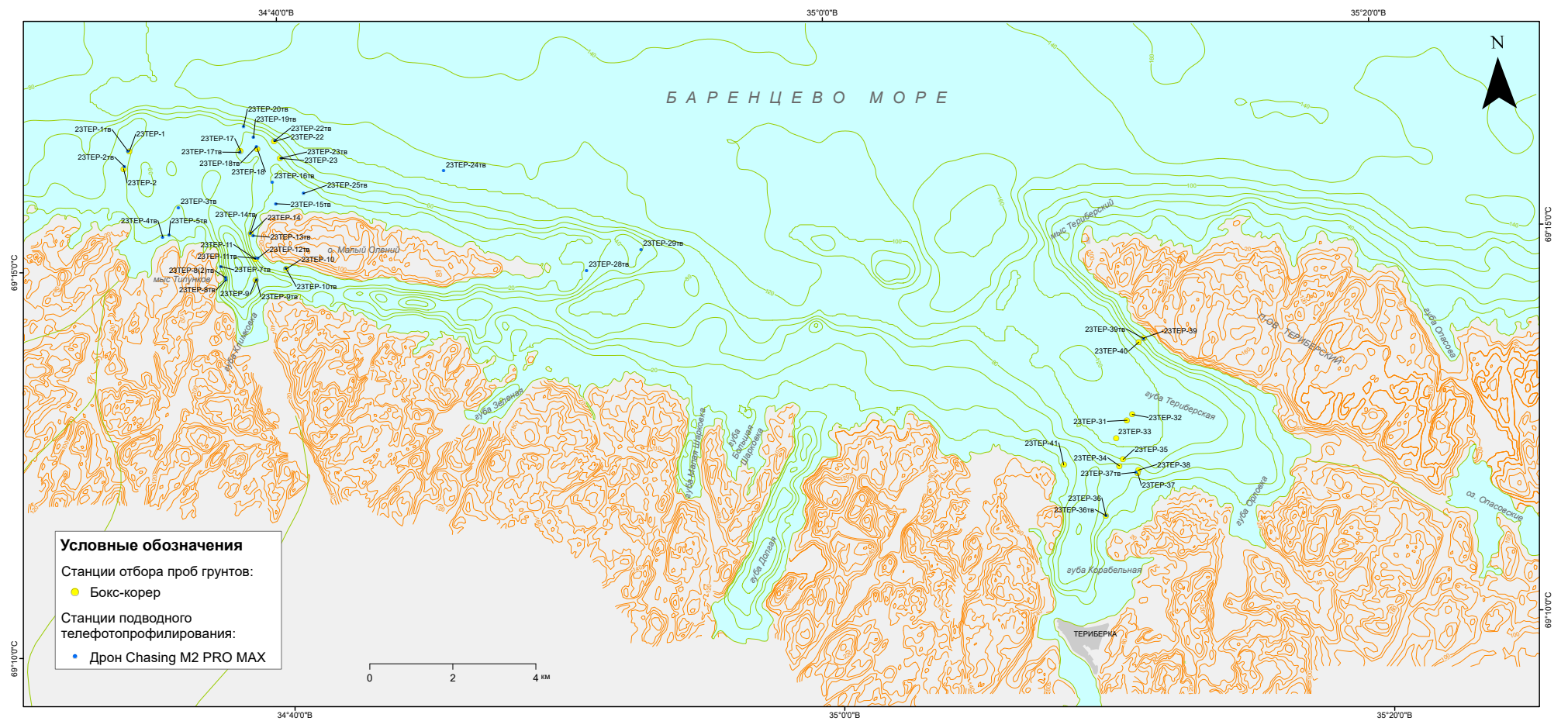


Рис. 105. Карта фактического материала полевых геологических работ в пункте наблюдений «Губа Терiberская» в 2023 г.

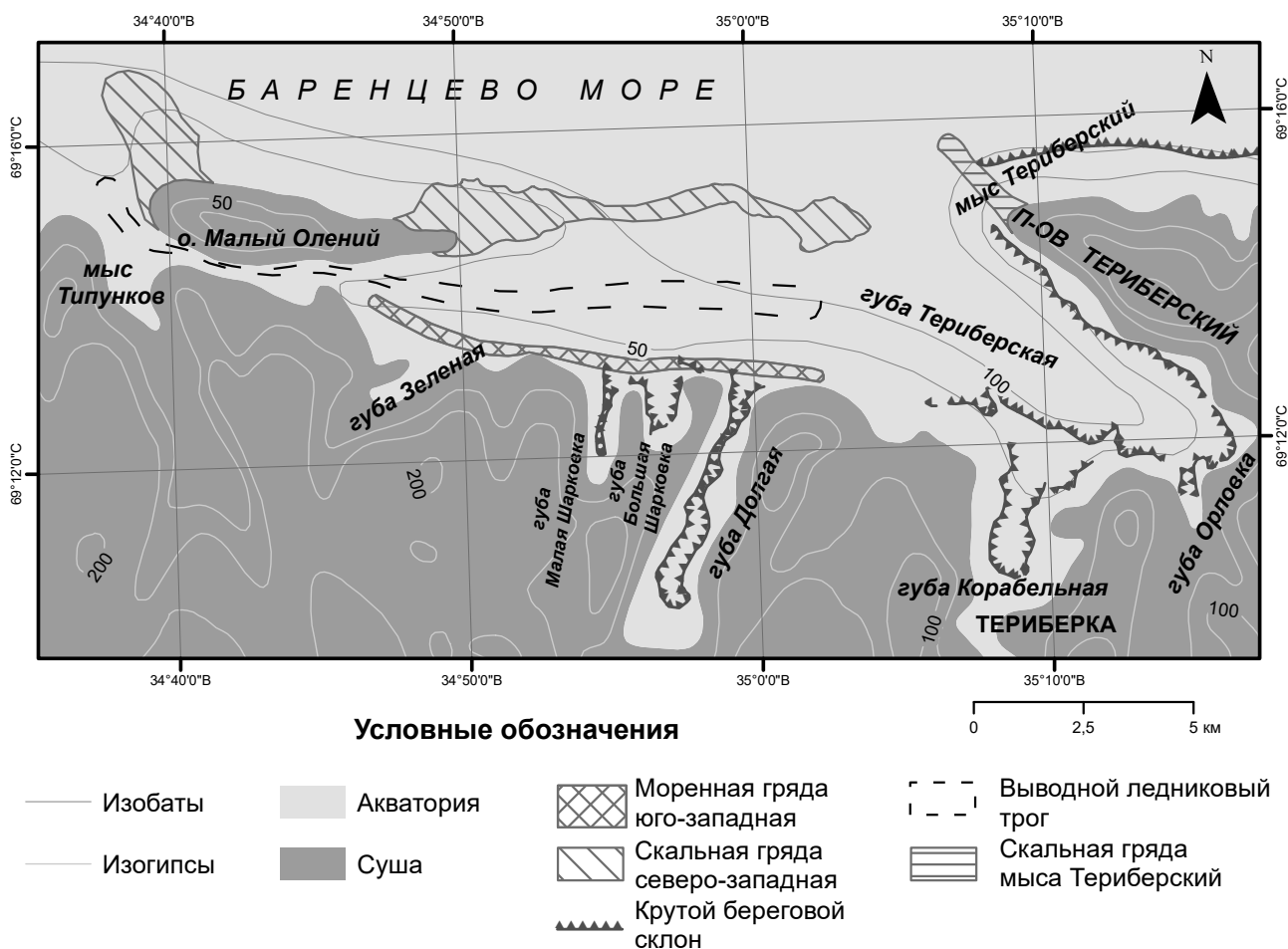


Рис. 106. Схема распределения основных морфоструктур дна акватории в пункте наблюдений «Губа Териберская»

от 1,5 до 9,0 км. Углы склона колеблются от 9,5 до 12,9° с восточной мористой стороны гряды и от 4,8 до 8,6° для западных скатов, обращенных к берегу [Информационный бюллетень..., 2023].

По геофизическим данным, коренные породы гряды перекрыты рыхлыми четвертичными отложениями [Информационный бюллетень..., 2023]. По результатам подводной видеосъемки и донного проботбора гребень гряды и ее склоны выполнены отложениями частично размытой основной морены (валуны, галька, гравий, пески), перекрывающими архейские кристаллические породы (рис. 107, 108, 109). Соответственно, выделенные ранее оползневые тела [Информационный бюллетень..., 2023] сложены материалом морены.

Единую морфоскульптурную форму рельефа со скальной грядой «Северо-Западная» составляет продолжение выводного ледникового трога (рис. 110). На участке между о. Малый Олений и береговым склоном трог имеет крутые борта со значительным перепадом высот. Углы склона достигают 19,6°, а перепады высот 87 м.

Ширина дна долины трога колеблется в интервале 400–900 м, по бровке склона бортов 1500–1900 м (рис. 110, 112). Борты трога на этом участке сложены коренными породами [Информационный бюллетень..., 2023].

По результатам НСАП и подводного фото-телепрофилирования установлено, что северо-восточный мористый борт трога сложен основной мореной (валуны, галька, гравий, пески) либо перекрывающими ее декливиальными отложениями (крупно-среднезернистый песок, дресва, галька, гравий) (рис. 111, 113). Мощность этих отложений на бортах трога колеблется от 1 до 9 м. На склонах и бортах трога наблюдается ряд уступов, частично заполненных рыхлыми отложениями мощностью до 9 м, вероятными последствиями оползней [Информационный бюллетень..., 2023].

Западный прибрежный борт трога совмещен с береговым склоном (рис. 110, 112). Он также почти повсеместно перекрыт морскими декливиальными отложениями мощностью от 3 до 6 м, представленными крупно-среднезернистыми песками, дресвой, галькой, гравием

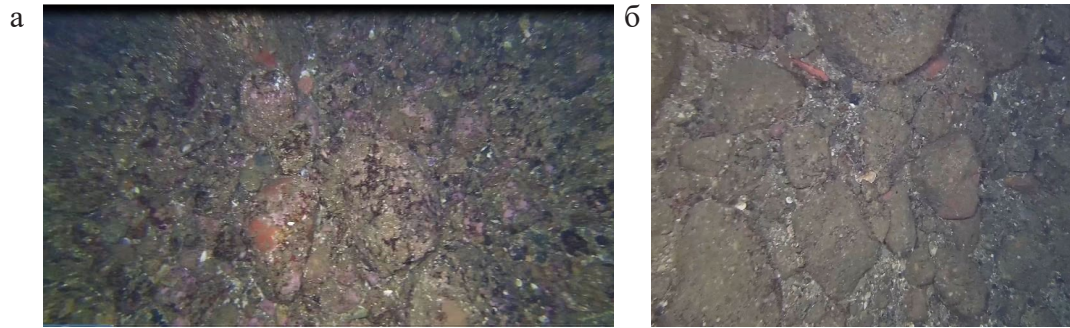
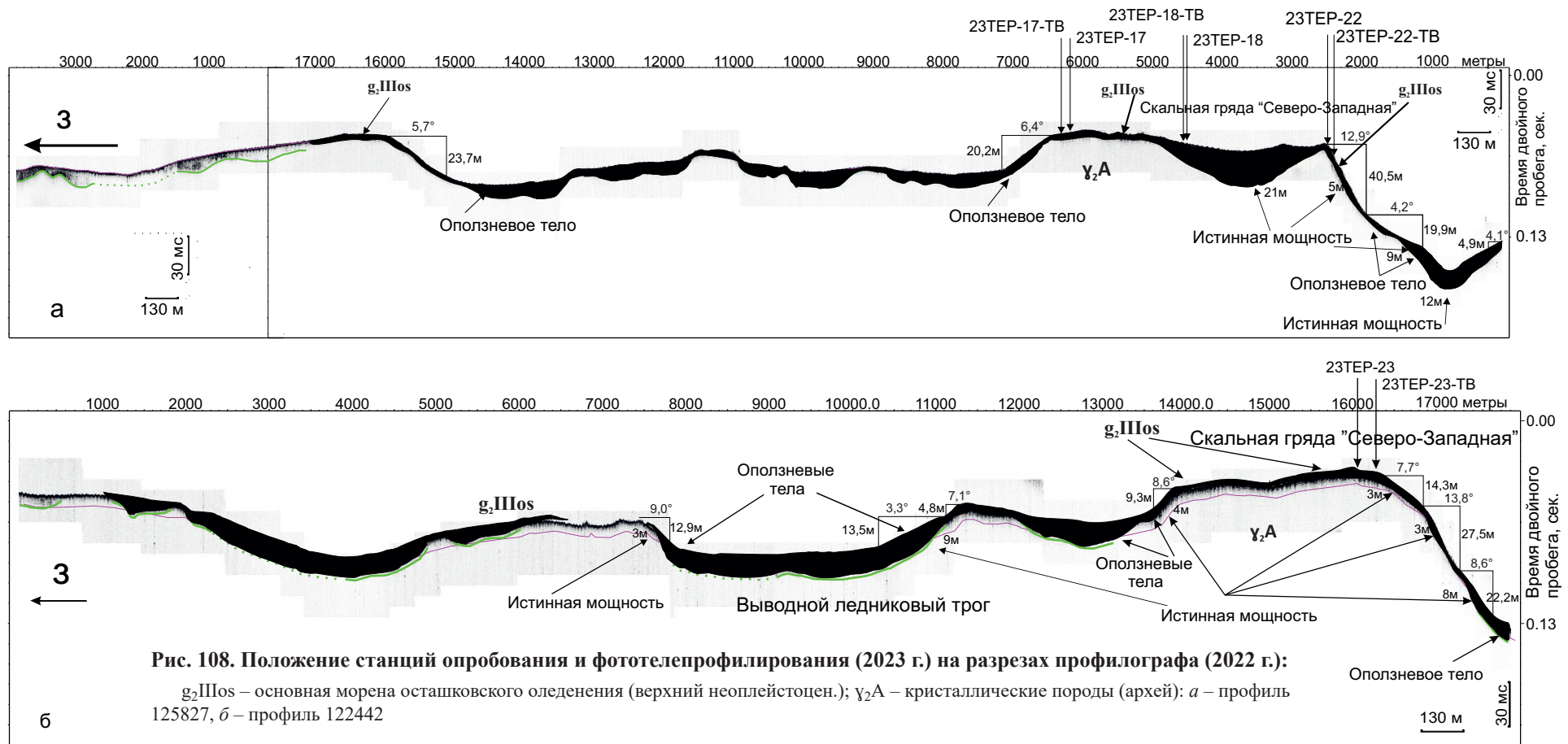


Рис. 107. Валунно-галечная отмостка. Моренные образования, перекрывающие кровлю скальной гряды «Северо-Западная». Станция наблюдения

a – 23ТЕР-17-ТВ; *б* – 23ТЕР-22-ТВ



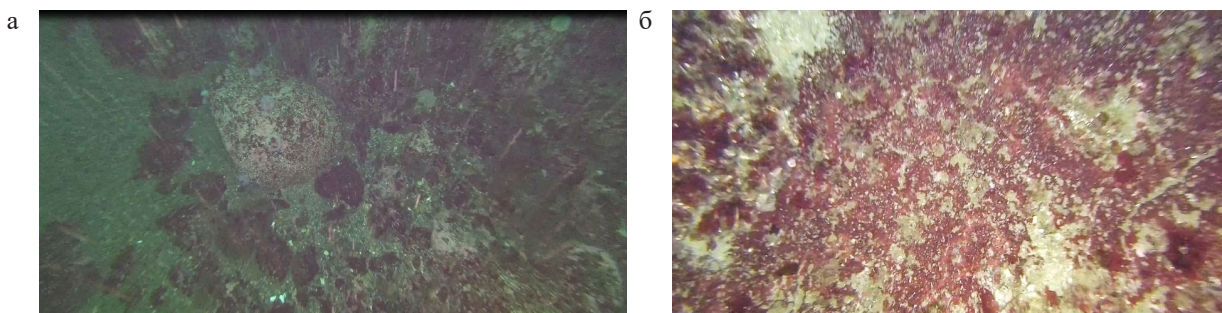


Рис. 109. Скальная гряда «Северо-Западная» восточнее о. Малый Олений

a – валунно-галечная отмостка с линзами крупнозернистого песка. Моренные образования, перекрывающие верхнюю часть склона гряды. Станция наблюдения 23ТЕР-23-ТВ; *б* – выходы коренных пород на гребне гряды «Северо-Западная». Станция наблюдения 23ТЕР-28

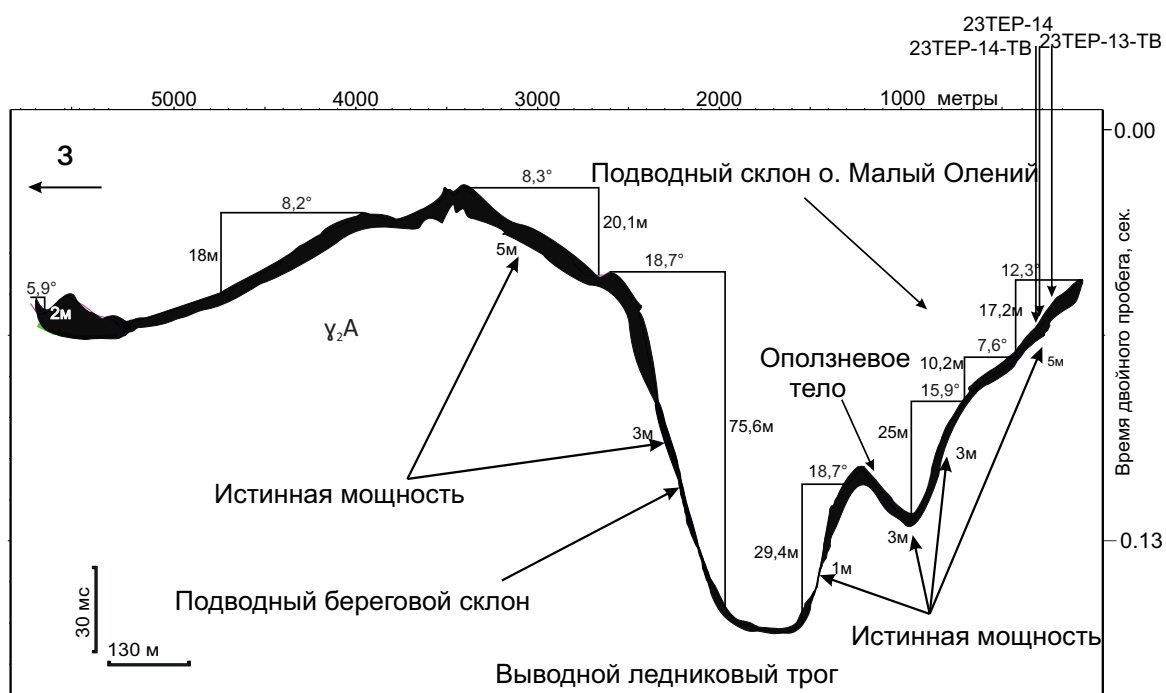


Рис. 110. Разрез выводного ледникового трога, совмещенного с береговыми склонами. Положение станций опробования и фототелепрофилеирования (2023 г.) на разрезе профилографа 103350 (2022 г.)

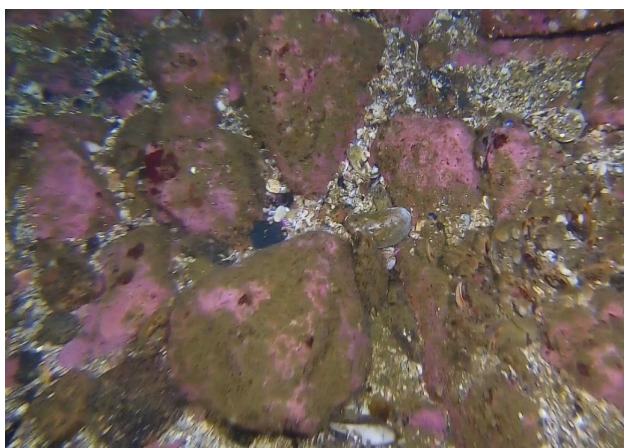


Рис. 111. Валунно-галечная отмостка. Моренные образования верхней части подводного берегового склона о. Малый Олений. Станция наблюдения 23ТЕР-13-ТВ

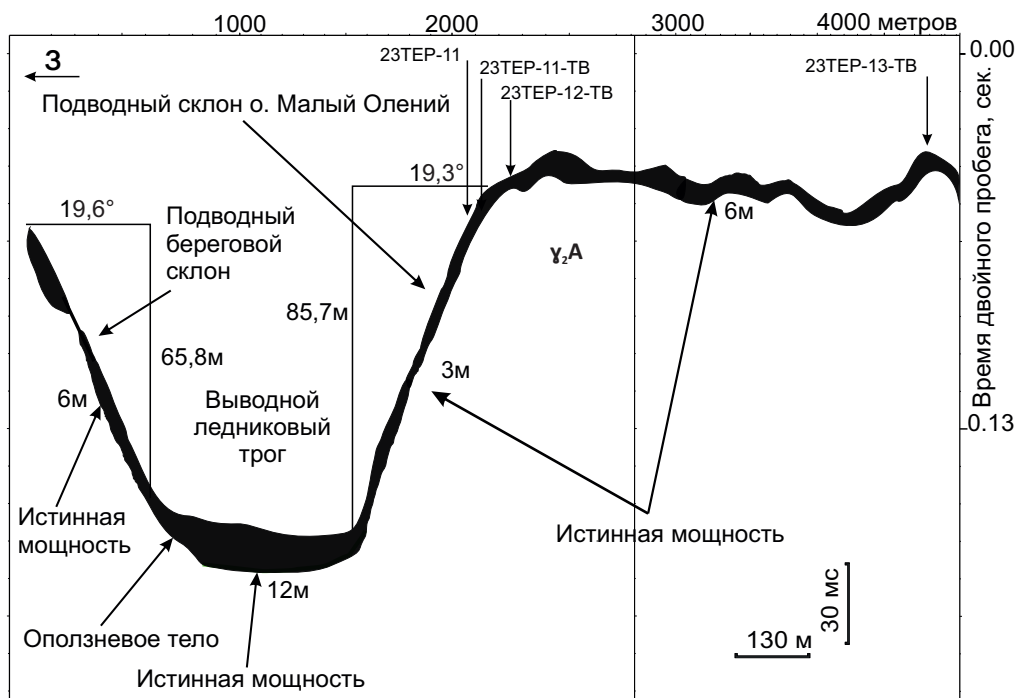


Рис. 112. Разрез выводного ледникового трога, совмещенного с береговыми склонами. Положение станций опробования и фототелепрофилирования (2023 г.) на профиле НСАП 102153 (2022 г.)

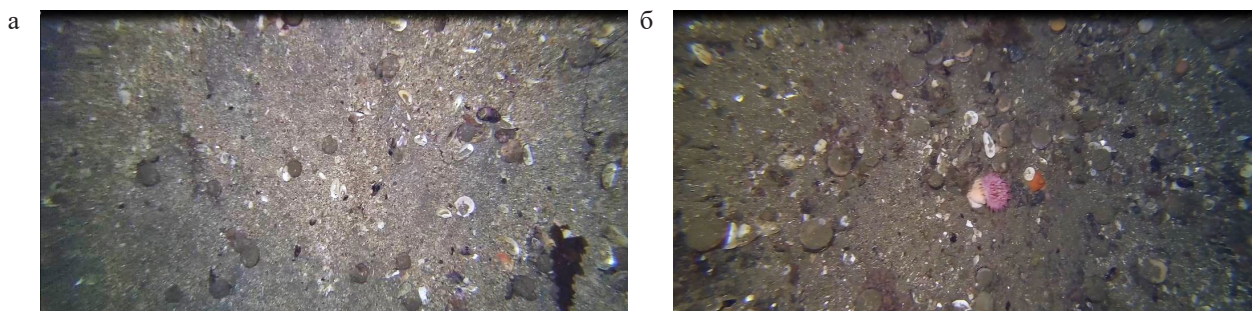


Рис. 113. Морские декливиальные отложения – крупно-среднезернистые пески с дресвой, галькой, гравием и раковинным материалом. Верхняя часть подводного берегового склона о. Малый Олений. Станция наблюдения

а – 23ТЕР-11-ТВ; б – 23ТЕР-8-ТВ

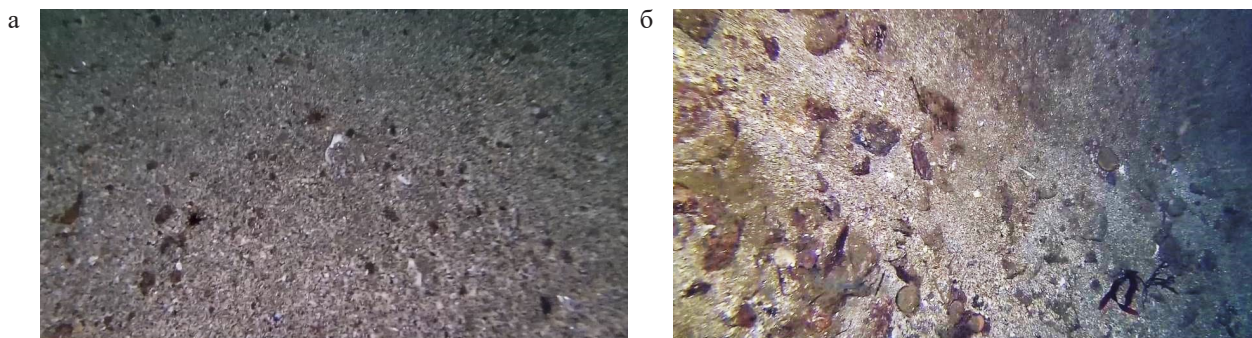


Рис. 114. Морские декливиальные отложения – крупно-среднезернистые пески с дресвой, галькой и гравием. Верхняя часть подводного берегового склона. Станция наблюдения

а – 23ТЕР-7-ТВ; б – 23ТЕР-8-ТВ

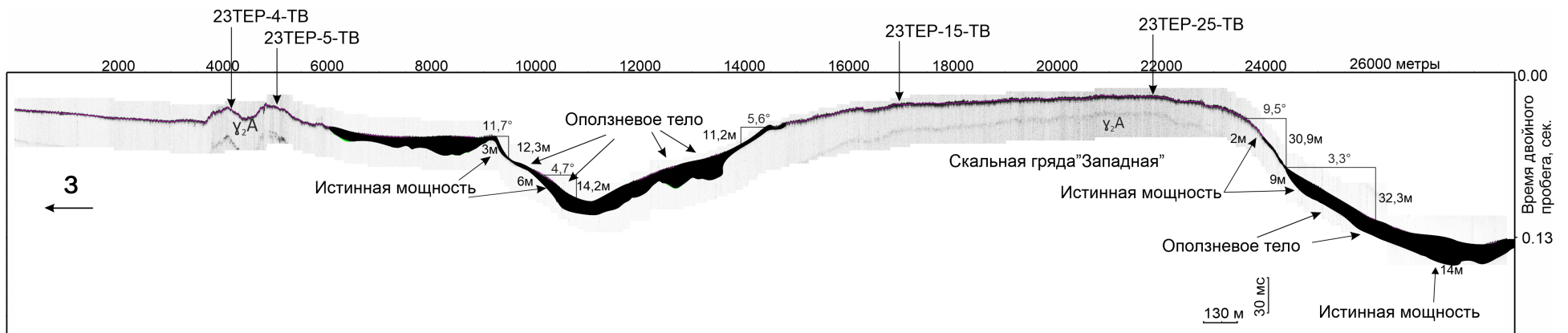


Рис. 115. Разрез подводной скальной гряды, являющейся продолжением мыса Типунков. Положение станций фототелепрофилерования (2023 г.) на профиле НСАП 105900 (2022 г.)



Рис. 116. Выходы коренных пород на подводном береговом склоне. Станция наблюдения 23TEP-4

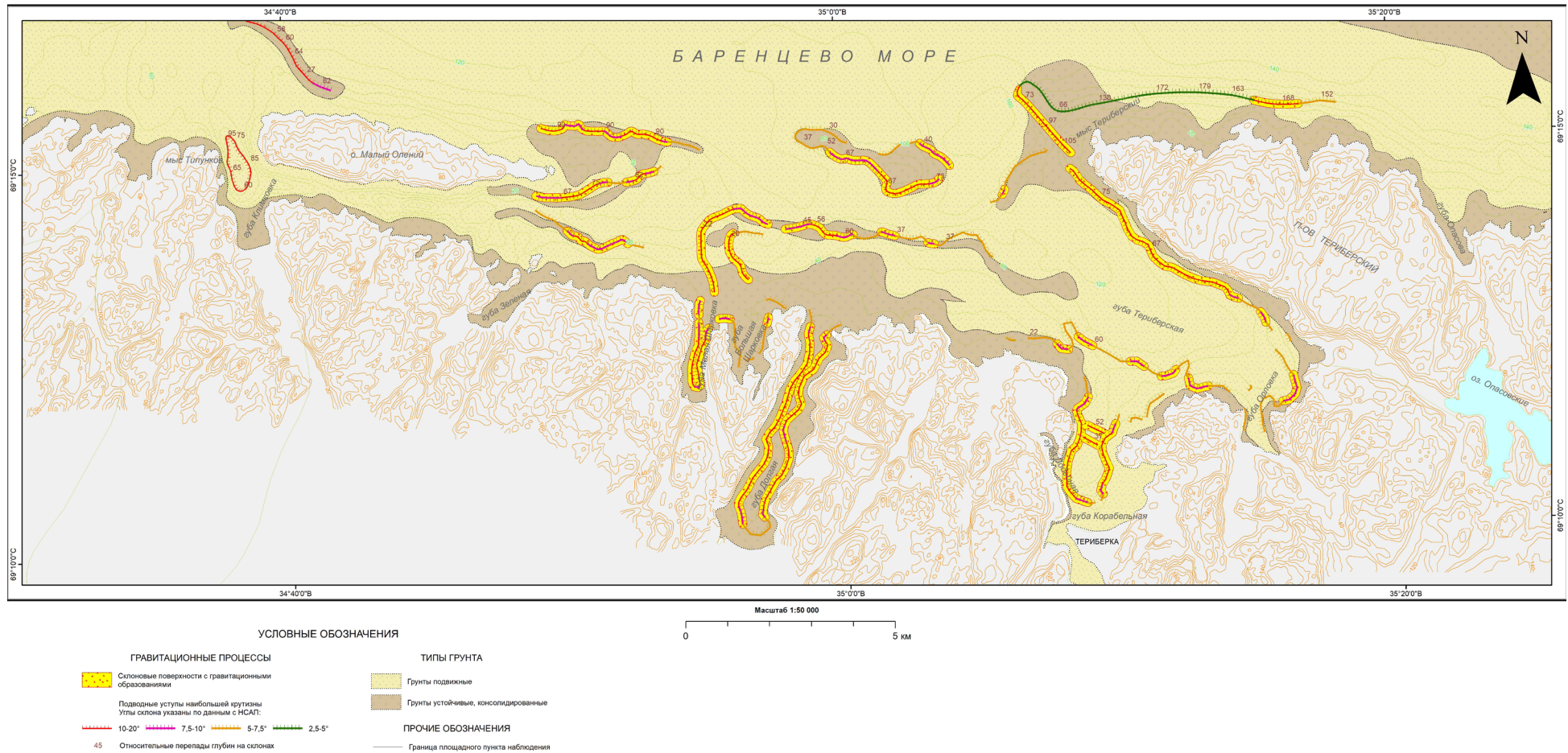


Рис. 117. Карта проявлений опасных ЭГП пункта наблюдений «Губа Терриберская»

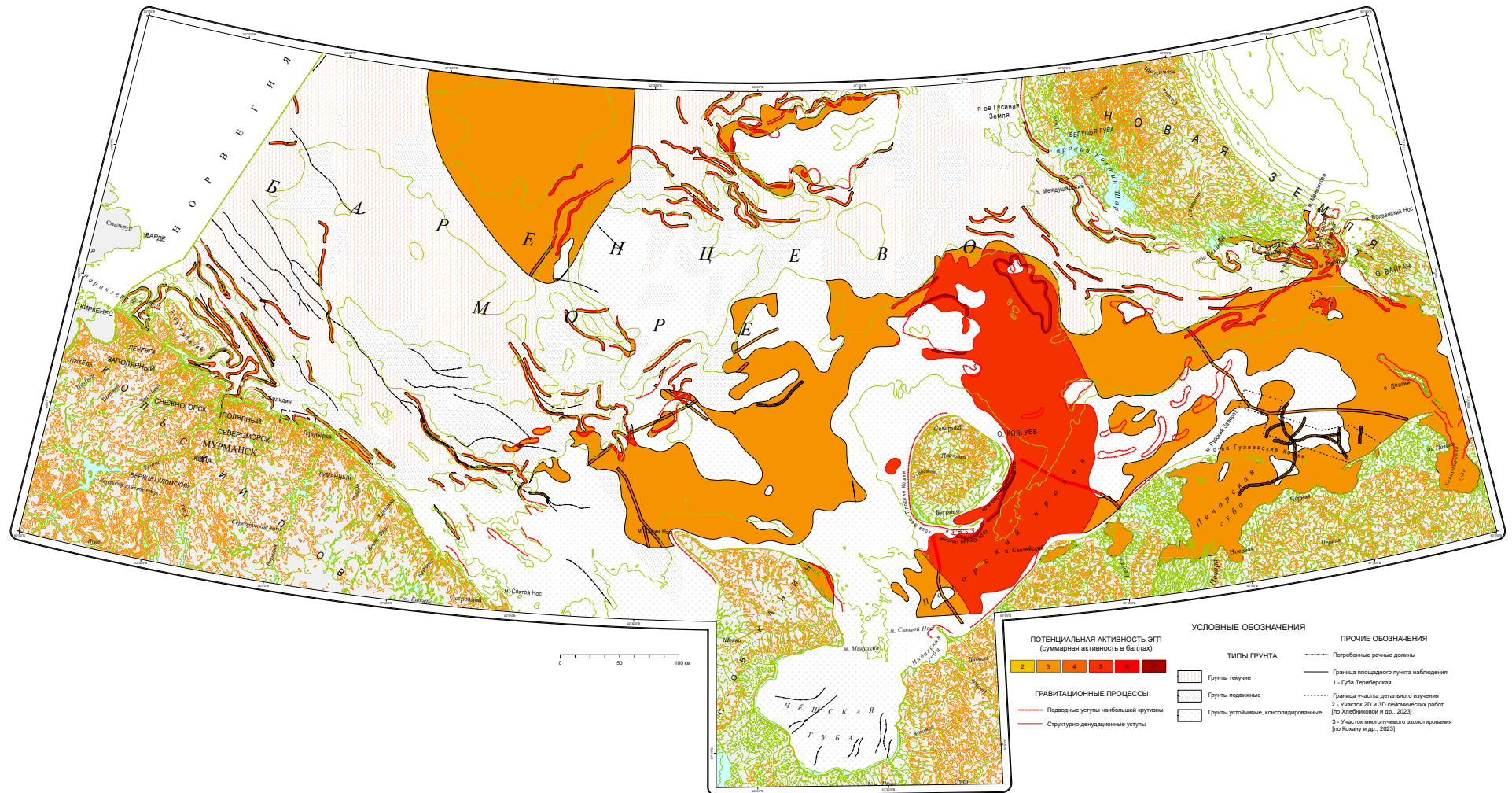


Рис. 118. Карта активности ЭГП в прибрежно-шельфовой зоне Баренцева моря

(рис. 114, 115). На наиболее крутых участках склона коренные породы выходят на поверхность дна или перекрыты тонким слоем осадков (рис. 115).

На бортах трога наблюдается ряд уступов, частично заполненных рыхлыми отложениями мощностью до 6 м, вероятными последствиями оползней [Информационный бюллетень..., 2022]. В долине выводного трога отмечены предполагаемые оползневые тела мощностью до 12 м.

Помимо долины выводного ледникового трога, крутые береговые склоны, выполненные коренными породами, установлены у северной оконечности мыса Типунков (рис. 115, 116), где наблюдается двугорбая скальная гряда, являющаяся подводным продолжением этого мыса.

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

Почти все заливы Кольского полуострова (фиордового и фиардового типов), 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 настоящий момент основными хозяйственными объектами, которые могут пострадать на дне прибрежно-шельфовой зоны Баренцева моря 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 мониторинга состояния недр прибрежно-шельфовых зон и на стадии изысканий. Наиболее рациональным является изменение линии трассы и обход зон потенциально возможного проявления гравитационных ЭГП.

Контрастный рельеф морского дна, обуславливающий возможность проявления опасных гравитационных процессов (обвалов, обрушений и т. д.) (рис. 117) характерен для пункта наблюдений «Губа Териберская». В последнее 10-летие в этом районе активно развивается туристическая отрасль с морской рыбалкой, дайвингом и т. д. На берегу построены многочисленные гостиницы с соответствующей инфраструктурой. Не исключена прокладка оптоволоконных кабелей. В частности, по данным АО «Управление перспективных технологий», в 2021 г. из точки выхода, расположенного на береговой станции в Териберке, с помощью горизонтального бурения в прибрежной зоне были проложены первые 4 км кабеля волоконно-оптической линии связи «Полярный экспресс» [<https://tass.ru/obschestvo/12075097>; <https://полярныйэкспресс.пф>]. Кроме того, район относится к площадям планируемого освоения, в частности для обустройства береговой инфраструктуры Штокмановского месторождения, строительства завода по сжижению газа. В пункте наблюдений «Губа Териберская» площадь потенциального развития гравитационных склоновых процессов занимает 4,7% общей площади или 11 км².

В восточной части прибрежно-шельфовой зоны Баренцева моря довольно велики площади дна, которые находятся в зоне выпаживания 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 еще 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 погружение в грунт на глубину, превышающую потенциально возможное вспаживание. Так, кабель по трассе «Полярный экспресс» предполагается укладывать с заглублением в грунт до 1,5 м. Предполагается, что такое заглубление защитит кабель также от траления и постановки судов на якорь.

Суммарная оценка активности ЭГП в прибрежно-шельфовой зоне Баренцева моря и факторов, их активизирующих, показаны на рис. 118.

4. Прогноз развития опасных экзогенных геологических процессов на 2024 г. и оправдываемость прогноза

Региональный краткосрочный прогноз развития экзогенных геологических процессов в прибрежно-шельфовых зонах Балтийского, Белого и Баренцева морей на 2024 г. составлен на основе методических рекомендаций ФГБУ «Гидроспецгеология».

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

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 2023 г.

4.1. Методика составления прогноза

Прогноз включает в себя рассмотрение ожидаемой активности экзогенных геологических процессов в прибрежно-шельфовых зонах Балтийского, Белого и Баренцева морей на 2024 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 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 2011–2023 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 2024 г.

4.2.1. Прогноз развития экзогенных геологических процессов в прибрежно-шельфовой зоне восточной части Финского залива Балтийского моря на 2024 г.

Активность гравитационных процессов на склонах подводных возвышенностей и подводных песчаных террас пунктов наблюдений «Кургальский риф – о-в Сескар», «Выборгский залив», «Район о-ва Гогланд», «Копорский залив» прогнозируются в основном на среднем уровне. Предположительно, опасность могут представлять гравитационные процессы на склоне подводной террасы в пункте наблюдений «Мыс Флотский – мыс Песчаный», протягивающейся вдоль северного побережья залива, т. к. 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). В частности, малоамплитудные гравитационные процессы в пределах отработанных (прибрежный участок от мыса Флотский до мыса Песчаный северного побережья Финского залива) и действующих подводных карьеров (к западу от мыса Стирсудден и к югу о. Сескар) прогнозируются на среднем–высоком уровне (табл. 23–25). Среди естественных причин, провоцирующих активизацию ЭГП, можно назвать шторма аномальной силы и выпахаивающее воздействие ледовых торосов, наблюдаемых в прибрежных зонах, особенно северного побережья.

В районе о. Гогланд, в том числе на площади, примыкающей к подводному газопроводу Нордстрим-1, в пределах бассейна седиментации илов, поверхность дна которого должна быть максимально выровнена, прослежены значительные по площади зоны развития газо-

насыщенных 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 2016–2023 гг. в этих депрессиях, отмечены ураганные концентрации метана. Выбросы газа в водную толщу сопровождаются деформацией донной поверхности, формированием оползней, снижением несущей способности грунтов, повышением коррозионной активности среды [Миرونюк, Отто, 2014]. Площади их распространения являются опасными 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 среднем уровне. Активность газофлюидной разгрузки локально, в частности в пунктах наблюдения «Район о-ва Гогланд» и «Кургальский риф – о-в Сескар» прогнозируется на высоком уровне, т. к. высокие концентрации метана устойчиво выявляются (в том числе и в 2023 г.) не только

Таблица 23

Сводные данные прогноза ЭГП для пунктов наблюдения в прибрежно-шельфовых зонах Балтийского, Белого и Баренцева морей на 2024 г.

№ п/п	Наименование пункта наблюдений	Степень прогнозируемой активности экзогенных геологических процессов			
		Очень высокая	Высокая	Средняя	Низкая
1	Кургальский риф – о-в Сескар		Г-Фл	Оп	
2	Мыс Флотский – мыс Песчаный			Г-Фл, Оп	
3	Выборгский залив			Г-Фл	Оп
4	Район о-ова Гогланд		Г-Фл	Пр	Оп
5	Копорский залив			Г-Фл	Оп
6	Прибрежный район Самбийского полуострова		Оп, Об		
7	Кандалакшский залив			Оп, Об	
8	Губа Териберская				Оп, Об

Сокращенные обозначения типов экзогенных геологических процессов:

ГР – комплекс гравитационных процессов, в том числе:

Об – обвальный процесс;

Оп – оползневой процесс;

ЭР – комплекс эрозионных процессов;

Прочие процессы:

Пр – просадочный процесс

Г-Фл – газофлюидная разгрузка

Таблица 24

Прогноз экзогенных геологических процессов по пунктам наблюдения за состоянием недр прибрежно-шельфовых зон Балтийского, Белого и Баренцева морей на 2024 г. (Северо-Западный федеральный округ)

№ п/п	Наименование пункта наблюдений	Экзогенные геологические процессы	Методы составления прогноза	Содержание прогноза
Балтийское море. Восточная часть Финского залива, Ленинградская область				
1	Кургальский риф – о-в Сескар	Оп, Г-Фл	Экспертный качественный прогноз Института Карпинского	<i>Оползневые процессы.</i> Гравитационные процессы на склонах подводных возвышенностей и подводных песчаных террас прогнозируются на среднем уровне, локально в пределах подводного карьера на высоком уровне. Процессы <i>газофлюидной разгрузки</i> прогнозируются на среднем уровне, локально в ложбине вдоль подошвы восточного склона банки Хитаматала на высоком
2	Мыс Флотский – мыс Песчаный	Оп, Г-Фл	Экспертный качественный прогноз Института Карпинского	<i>Оползневые процессы.</i> Гравитационные процессы на склоне подводной террасы вдоль северного побережья прогнозируются на среднем уровне, в пределах возвышенностей на среднем–низком уровнях. Процессы <i>газофлюидной разгрузки</i> прогнозируются на среднем уровне
3	Выборгский залив	Оп, Г-Фл	Экспертный качественный прогноз Института Карпинского	<i>Оползневые процессы.</i> Гравитационные процессы на склонах подводных возвышенностей ледникового и флювиогляциального происхождения прогнозируются на низком уровне. Процессы <i>газофлюидной разгрузки</i> прогнозируются на среднем уровне
4	Район о. Гогланд	Пр, Г-Фл	Экспертный качественный прогноз Института Карпинского	<i>Просадочный процесс.</i> В ходе работ 2006–2023 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 газа, прогнозируются на среднем уровне. Процессы <i>газофлюидной разгрузки</i> прогнозируются на среднем уровне. <i>Оползневые процессы</i> в пределах отдельных возвышенностей и склоне подводной террасы по периферии о. Гогланд прогнозируются на низком уровне

№ п/п	Наименование пункта наблюдений	Экзогенные геологические процессы	Методы составления прогноза	Содержание прогноза
Балтийское море. Восточная часть Финского залива, Ленинградская область				
5	Копорский залив	Г-Фл, Оп	Экспертный качественный прогноз Института 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 2011–2022 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 среднем уровне. <i>Гравитационные процессы (оползни)</i> в прибрежной зоне прогнозируются на низком уровне
Балтийское море. Российский сектор юго-восточной части Балтийского моря, Калининградская область				
6	Прибрежный район Самбийского полуострова	Оп, Об	Экспертный качественный прогноз Института Карпинского	<i>Гравитационные (оползни, обвалы)</i> . Эрозивно-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 2024 г. на высоком уровне преимущественно в пределах зон техногенной активности (нелегальная подводная добыча янтаря с помощью мотопомп)
Белое море. Мурманская область, Кандалакшский район, Карелия				
7	Кандалакшский залив	Об, Оп	Экспертный качественный прогноз Института Карпинского	<i>Обвальные и оползневые процессы</i> . Активность гравитационных (обвальных и оползневых) процессов на дне Кандалакшского залива прогнозируется в 2024 г. на среднем уровне. Активизация ЭГП может быть спровоцирована сейсмическими событиями
Баренцево море, Мурманская область				
8	Губа Терiberская	Об, Оп	Экспертный качественный прогноз Института Карпинского	<i>Обвальные и оползневые процессы</i> . Активность гравитационных (обвальных и оползневых) процессов на дне губы Терiberская и прилегающих акваториях прогнозируется в 2024 г. на низком уровне. Активизация ЭГП может быть спровоцирована сейсмическими событиями

Оправдываемость прогнозов экзогенных геологических процессов по территории ПШЗ Балтийского, Баренцева и Белого морей на 2023 г.

Прибрежно-шельфовая зона	Подводные оползни			Подводные обвалы			Подводные каньоны			Газо-флюидная 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	2	x	–	–	–	–	–	–	3	2	y	–	–	–
Балтийского моря (Калининградский шельф)	3	2	y	3	2	y	–	–	–	н. д.	н. д.	н. д.	–	–	–
Белого моря	2	1	y	2	1	y	–	–	–	н. д.	н. д.	н. д.	–	–	–
Баренцева моря	1	1	x	1	1	x	–	–	–	н. д.	н. д.	н. д.	–	–	–

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

I – прогнозируемая 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, y – прогноз оправдался удовлетворительно, x – прогноз оправдался хорошо).

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

в приповерхностном разрезе грунтов, но и в придонной воде. Хотя выявленные на станциях мониторинга максимальные содержания метана в грунтах и придонной воде в 2023 г. несколько ниже, чем в 2021–2022 гг., в случае сохранения тенденций потепления климата прогнозируется активизация метанообразования за счет увеличения поступления в осадки седиментационных бассейнов органического вещества, прежде всего за счет широкого сезонного распространения сине-зеленых водорослей [Murray et al., 2019].

Образование «кратеров» покмарков диаметром до 5–20 м в Копорском заливе, предположительно, связано с выходами подземных вод четвертичных горизонтов или вендского комплекса. В 2023 г. обследовано 268 покмарка, из них 144 (53,7%) активизированных. Сопоставление с данными 2011–2022 гг. показало неоднородную динамику развития покмарков. Частично покмарки стабильны (до 49,3%), т. е. выявляются при повторных съемках методом ГЛБО, частично зафиксированы новые, части-

чно исчезли (занесены донными осадками). 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. 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 2024 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 2016–2023 гг. важным региональным фактором, провоцирующим активизацию гравитационных процессов вдоль подводных уступов, стала добыча янтаря с использованием мотопомп для размыва пород. Единовременно в море количество катеров с аквалангистами может достигать нескольких десятков.

В районе акватории, примыкающей к порту Пионерский, в связи с его реконструкцией и дноуглублением подходных фарватеров, т. е. трансформацией рельефа морского дна, продолжает изменяться распределение донных грунтов. По краям подходных фарватеров возможна активизация подводных гравитационных процессов.

Активность гравитационных (обвальных и оползневых) процессов локально в пределах зон техногенного воздействия на дне Балтийского моря прогнозируется в 2024 г. на высоком уровне, вне зон техногенного воздействия – средняя. На склонах Гданьской впадины активность оползневых процессов прогнозируется низкой (табл. 23–25).

Триггером, способным активизировать гравитационные процессы, могут быть и сейсмические события, периодически фиксируемые

в российском секторе Балтийского моря. Одним из факторов, который, предположительно, может спровоцировать сейсмические события, является активная добыча нефти, в том числе в акватории.

4.3. Прогноз развития экзогенных геологических процессов в прибрежно-шельфовой зоне Белого моря на 2024 г.

Активность гравитационных (обвальных и оползневых) процессов на дне Кандалакшского залива прогнозируется в 2024 г. на среднем уровне (табл. 21–23). Активизация ЭГП может быть спровоцирована сейсмическими событиями.

4.4. Прогноз развития экзогенных геологических процессов в прибрежно-шельфовой зоне Баренцева моря (Губа Териберская) на 2024 г.

Активность гравитационных (обвальных и оползневых) процессов на дне губы Териберская прогнозируется в 2024 г. на низком уровне (табл. 23–25). Активизация ЭГП может быть спровоцирована сейсмическими событиями.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В прибрежно-шельфовой зоне Финского залива Балтийского моря комплекс геолого-геофизических работ в 2023 г. показал широкое развитие проявлений ЭГП. Гравитационные процессы (подводные оползни, осыпи) в условиях Финского залива относятся к категории потенциально опасных ЭГП, вследствие интенсивного освоения подводных пространств, представляя угрозу при прокладке и эксплуатации подводных коммуникаций (нефте- и газопроводов, кабелей связи и электроснабжения) и т. д.

Площадь зон потенциального развития гравитационных ЭГП (подводные оползни и осыпи) в пунктах наблюдения прибрежно-шельфовой зоны восточной (русской) части Финского залива составляет: 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 пересчитана в 2023 г. по более строгим критериям, чем в 2022 г. и составляет 157 км² или 1,3% общей площади дна русской 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 добычи песка и песчано-гравийной смеси).

Работы 2023 г., выполненные 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 мыса Флотский, выявили высокую 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 (неконсоли-

рованные, 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 мыса Флотский до мыса 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 происходит. 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 резкой 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 «ураганскими» содержаниями метана. Очевидно, участки морского дна со следами газопроявлений следует относить к геологически опасным территориям, т. к. 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 псевдоплавучести и т. д. [Миронюк, 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 т. д.).

Основным критерием выделения полей газонасыщенных грунтов являются акустические аномалии (окна), выявляемые на записи НСАП. Появление этих окон свидетельствует о высокой пористости грунтов, что является причиной рассеяния акустического сигнала. В 2023 г. площадь газонасыщенных грунтов была пересчитана по результатам экстраполяции данных НСАП (актуальных и архивных переинтерпретированных) на прилегающие участки дна и составила 648 км² или 5,6% от общей площади и 13,9% от площади илов (текучих грунтов). Распространенность газонасыщенных илов в пункте наблюдений «Район о-ва Гогланд» составляет 9,7% его площади, в «Выборгском заливе» – 10,3%, в пункте наблюдений «Мыс Флотский – мыс Песчаный» – 12,2%, «Кургальский риф – о-в Сескар» – 9,9%, «Копорский залив» – 0,7%.

Суммарный объем этих газонасыщенных осадков рассчитать сложно, т. к. зачастую мощность газонасыщенных илов остается неопределенной на записи НСАП из-за существования акустических окон, которые и позволяют фиксировать высокую концентрацию газа в осадке. По совокупности геолого-геофизических данных мощность газонасыщенных грунтов варьирует в основном в диапазоне от 2 до 5 м. Приблизительный объем газонасыщенных грунтов в «районе о-ва Гогланд» составляет 160,3 млн м³, в «Выборгском заливе» – 50,2 млн м³, в пунктах наблюдений «Мыс Флотский – мыс Песчаный» – 160,3 млн м³, «Кургальский риф – о-в Сескар» – 155,4 млн м³, «Копорский залив» – 1,74 млн м³. Суммарный объем этих грунтов, по уточненным данным, может быть оценен не менее, чем в 1500 млн м³, т. е. существенно ниже, чем было рассчитано в 2022 г.

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. Активность газофлюидной разгрузки в Финском заливе (в пункте наблюдения «район о-ва Гогланд» содержание метана в 2023 г. в приповерхностных грунтах достигает 158 018 ppm в воздушном зазоре (headspace), в придонной воде – 73 ppm), «Выборгский залив» (в грунтах до 102 684 ppm, в придонной воде – 12 ppm), «Кургальский риф – о. Сескар» (в грунтах до 195 057 ppm, в придонной воде – 213 ppm), «мыс Флотский – мыс Песчаный» (в грунтах до 103 077 ppm, в придонной воде – 16 ppm), «Копорский залив» – 226 012 ppm) локально

выявлена на высоком уровне, что возможно, обусловлено активным метанообразованием за счет значительного поступления в осадки седиментационных бассейнов органического вещества в связи с широким сезонным распространением сине-зеленых водорослей [Murray et al., 2019].

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 органического вещества. В то же время значения $\delta^{13}\text{C}$ от –59,7 до –50,8‰, выявленные в отдельных пробах грунтов, могут считаться пограничными, поэтому по совокупности данных можно допустить, что в отдельных случаях, в частности в пределах погребенной долины вдоль восточных склонов Кургальского рифа и банки Хитамала, дополнительным источником метана являются микулинские межморенные битуминозные морские отложения.

Установлено два типа дегазации осадков в водную толщу: 1) дегазация, имеющая лавинообразный характер и реализующаяся как одномоментный прорыв газа на поверхность дна; 2) замедленная дегазация, протекающая за счет диффузии газов на поверхность.

В Копорском заливе на обследованной в 2023 г. площади выявлено 268 покмарков, в т. ч. 144 активизированных. Диаметры структур варьируют от 4,0 до 20,3 м, средний диаметр среди покмарков, выявленных в 2023 г., составляет 9,5 м. Минимальная площадь отдельного покмарка составляет 12,6 м², максимальная – 324,1 м², средняя – 75,9 м². Локально, очевидно в результате подводного выхода грунтовых вод, в этой же зоне в Копорском заливе образуются мощные железо-марганцевые корки, бронирующие поверхность морского дна.

Наблюдения 2023 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 п-ва» гравитационные ЭГП могут проявляться на 8,9% площади. Эти ЭГП связаны преимущественно с крутыми (десятки 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 2024 г. на высоком уровне, вне зон техногенного воздействия – средняя. На склонах Гданьской впадины активность оползневых процессов прогнозируется низкой.

При работах в Кандалакшском заливе прибрежно-шельфовой зоны Белого моря в 2023 г. по результатам интерпретации данных НСАП уточнено строение участков дна, характеризующихся грядовым рельефом с углами склонов, достигающих от 5 до 18° с перепадом глубин 10–12 м до 103 м. У подножья моренных гряд и береговых склонов выявлен ряд подводных

оползневых тел. Площадь склоновых поверхностей, где могут фиксироваться проявления гравитационных процессов в виде подводных оползней и осыпей в пределах пункта наблюдений «Кандалакшский залив», равняется 80,9 км², что составляет 1,1% площади пункта наблюдения. Установлена многостадийность оползневых процессов. Выявлено, что процессы оползнеобразования протекают и на современном этапе развития акватории.

В пункте наблюдений «губа Териберская» прибрежно-шельфовой зоны Баренцева моря ранее было выявлено широкое распространение на площади протяженных гряд, сложенных как коренными дочетвертичными породами, так и мореной с углами склонов до 20° и перепадами глубин до 150 м. Общая площадь склоновых поверхностей с гравитационными образованиями в пределах пункта наблюдений, по уточненным данным, составляет 6,2 км², что в пересчете на общую площадь пункта наблюдений составляет 3,3%. Работы 2023 г. подтвердили ранее выявленную степень пораженности наблюдаемой площади ЭПП гравитационной группы и их низкую активность. Мощность отдельных оползневых тел может достигать 12 м.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Основная

Атлас геологических и эколого-геологических карт Российского сектора Балтийского моря / гл. ред. О. В. Петров, М. А. Спиридонов. – СПб. : ФГБУ «ВСЕГЕИ», 2010. – 78 с.

Балуев А. С., Журавлев В. А., Терехов Е. Н., Пржиялговский Е. С. Тектоника Белого моря и прилегающих территорий (объяснительная записка к «Тектонической карте Белого моря и прилегающих территорий» масштаба 1 : 1 500 000) / отв. ред. М. Г. Леонов. – М. : ГЕОС, 2012. – 104 с.

Вивенцова Е. А., Ляцкова Я. А. Радиологический состав подземных вод вендских отложений в пределах Санкт-Петербурга // Международный научно-исследовательский журнал «Науки о Земле». – 2015. – № 1 (18). – С. 162–163.

Галимов Э. М. Изотопы углерода в нефтегазовой геологии. – М. : Недра, 1973. – 384 с.

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.

Геологическая карта СССР. Лист R-36-XXIX, XXX. Масштаб 1 : 200 000 (первое издание). – 1959.

Горюнов М. С. Район озера Иногоше и выходы газа в некоторых других местностях Ленинградской области // Природные газы СССР: сб. статей. – Л. ; М. : ОНТИ, 1935. – С. 36–42.

Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1 : 1 000 000 (третье поколение). Серия Балтийская. Лист Q-(35), 36 – Апатиты. Геологическая карта четвертичных образований. – СПб. : ВСЕГЕИ, 2012а.

Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1 : 1 000 000 (третье поколение). Серия Балтийская. Лист O-35 – Псков, (N-35), O-36 – Санкт-Петербург. – СПб. : ВСЕГЕИ, 2012.

Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1 : 200 000 (издание второе). Серия Ильменская. Лист O-35-V (Кингисепп). – М. : ВСЕГЕИ, 2021.

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.

Гуделис В. К., Емельянов Е. М. (ред.) Геология Балтийского моря. – Вильнюс : Мокслас, 1976. – 380 с.

Дальний Восток и берега морей, омывающих территорию СССР / А. А. Асеев, С. С. Коржуев, В. Н. Олюнин и др. – М. : Наука, 1982. – 277 с.

Дашко Р. Э., Александрова О. Ю., Котюков П. В., Шидловская А. В. Особенности инженерно-геологических условий Санкт-Петербурга // Развитие городов и геотехническое строительство. Вып. 1. – 2011. – 47 с.

Девдариани Н. А. Геологическое строение Беломорской впадины // Автореф. дис. канд. геол.-минерал. наук. – М. : МГУ, 1985. – 21 с.

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

Добровольский А. Д., Залогин Б. С. Моря СССР. – М. : Изд-во МГУ, 1982. – 192 с.

Ерзова В. А., Сударииков С. М., Румынин В. Г., Шварц А. А. Естественная радиоактивность и фоновое содержание техногенных радионуклидов в подземных водах района Ленинградской АЭС // Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геоэкология. – 2021. – № 4. – С. 53–66. DOI: 10.31857/S0869780921040044

Жамойда В. А. Специфика современного железо-марганцевого рудообразования в Онежском заливе // Комплексные морские геолого-геофизические исследования внутренних морей гляциальных шельфов: сб. науч. тр. – Л. : ВСЕГЕИ, 1987. – С. 72–79.

Жамойда В. А., Кропачев Ю. П., Рябчук Д. В., Сергеев А. Ю. Поверхность дна и мозаичность распределения осадков / под ред. В. В. Сивкова, Ю. С. Каджояна, О. Е. Пичужкиной, В. Н. Фельдмана // Нефть и окружающая среда Калининградской области. Т. II. Море. – Калининград : Терра Балтика, 2012. – С. 321–334.

Жамойда В. А., Рябчук Д. В., Сергеев А. Ю. и др. Трансформация геологической среды восточной части Финского залива в результате подводной добычи полезных ископаемых // Окружающая среда Санкт-Петербурга. – 2021. – № 4 (22). – С. 18–20.

Жигульский В. А., Максимова Е. Ю. Мелиорация нарушенных подводных ландшафтов различной рыбохозяйственной ценности // Тр. II Всероссийской конференции «Гидрометеорология и экология: достижения и перспективы развития». – СПб. : Химиздат, 2018. – С. 270–273.

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.

Иванова В. А., Ванштейн Б. Г., Трофимова Н. Е. и др. Эмиссия метана и углекислого газа при разложении органического вещества в современных донных осадках Финского залива // Геология морей и океанов: Материалы XXV Международной научной конференции (Школы) по морской геологии. Т. III. – М. : ИО РАН, 2023. – С. 29–33.

Иванов М. В., Леин А. Ю., Гальченко В. Ф. Глобальный метановый цикл в океане // Геохимия. – 1992. – № 7. – С. 1035–1045.

Иванова А. А., Соловьева М. А., Рыбалко А. Е. и др. Обобщение материалов о газонасыщенных осадках в Кандалакшском заливе Белого моря // Тез. докл. конф. «Инженерная геофизика 2016». – Анапа, 2016.

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/Izvestia/marine-11.pdf> (дата обращения: 15.11.2023 г.).

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/Izvestia/marine-12.pdf> (дата обращения: 15.11.2023 г.).

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/Izvestia/marine-13.pdf> (дата обращения: 15.11.2023 г.).

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: 15.11.2023 г.).

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: 15.11.2023 г.).

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: 15.11.2023 г.).

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://www.vsegei.ru/ru/public/bulletin/info_marine/marine-17.pdf (дата обращения: 15.11.2023 г.).

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://www.vsegei.ru/ru/public/bulletin/info_marine/marine-18.pdf (дата обращения: 15.11.2023 г.).

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 и др. – СПб. : Изд-во ВСЕГЕИ, 2023. – 111 с. – URL: https://vsegei.ru/ru/public/bulletin/info_marine/marine_22.pdf (дата обращения: 15.11.2023 г.).

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.

Канапацкий Т. А. Микробные процессы сульфатредукции, метаногенеза и метаноокисления в донных осадках российского сектора Балтийского моря // Автореф. канд. дис. – М., 2013. – 24 с.

Каплин П. А., Леонтьев О. К., Лукьянова С. А., Никифоров Л. Г. Берега. – М. : Мысль, 1991. – 480 с. (Сер. «Природа мира»).

Киль А. О., Семенов П. Б., Шатрова Е. В. и др. Геохимические особенности раннего диагенеза газонасыщенных осадков Финского залива (Балтийское море) // Геология морей и океанов: Материалы XXV Международной научной конференции (Школы) по морской геологии. Т. II. – М. : ИО РАН, 2023. – С. 145–148.

Козлов С. А. Опасные для нефтегазопромысловых сооружений геологические и природно-

техногенные процессы на Западно-Арктическом шельфе России [Электронный ресурс] // Нефтегазовое дело. – 2005. – 24 с. – URL: http://www.ogbus.ru/authors/Kozlov/Kozlov_2.pdf (дата обращения: 15.11.2023 г.).

Козлов С. А. Оценка устойчивости геологической среды на морских месторождениях углеводородов в Арктике [Электронный ресурс] // Нефтегазовое дело. – 2005. – 21 с. – URL: http://www.ogbus.ru/authors/Kozlov/Kozlov_1.pdf (дата обращения: 15.11.2023 г.).

Кохан А. В., Еременко Е. А., Мороз Е. А. и др. Флюидогенный рельеф мелководной части Печорского моря // Рельеф и четвертичные образования Арктики, Субарктики и Северо-Запада России. – 2023. – Вып. 10. – С. 157–167. DOI: 10.24412/2687-1092-2023-10-157-167

Краснов И. И. Газы четвертичной толщи предглинтовой Ленинградской области // Природные газы СССР. Сб. статей. – Л. ; М. : ОНТИ, 1935. – С. 10–33.

Лейн А. Ю. Аутигенное карбонатообразование в океане // Литология и полезные ископаемые. – 2004. – № 1. – С. 3–35.

Лейн А. Ю., Иванов М. В. Крупнейший на Земле метановый водоем // Природа. – 2005. – № 2. – С. 19–25.

Ленинград. Историко-географический атлас. – М. : Главное управление геодезии и картографии при Совете Министров СССР, 1981. – 120 с.

Лоция Балтийского моря. Ч. 1. Восточная часть моря с Финским и Рижским заливами. – СПб. : ГУНиО, 1979. – 407 с.

Лоция Белого моря. – СПб. : ГУНиО, 1972. – 320 с.

Малаховский Д. Б., Амантов А. В. Геолого-геоморфологические аномалии на севере Европы // Геоморфология. – 1991. – № 1. – С. 85–95.

Малаховский Д. Б., Саммет Э. Ю. Ледниковые отторженцы и гляциодислокации Северо-Запада Русской равнины // Материалы гляциологических исследований. Хроника обсуждения. – 1982. – № 44. – С. 121–128.

Мануйлов С. Ф., Рыбалко А. Е., Спиридонов М. А. и др. Стратотип позднплейстоценовых и голоценовых отложений Соловецкого шельфа // Палинология плейстоцена и голоцена. – Л. : Изд-во Ленинградского университета, 1981. – С. 116–134.

Медведев В. С. Краткий очерк динамики и морфологии западного побережья Белого моря // Тр. Океанографической комиссии. Т. II. Материалы секции по изучению берегов морей и водохранилищ. – М. : АН СССР, 1957. – С. 69–85.

Медведев В. С. Некоторые особенности перемещения песчаных наносов в прибрежной зоне Белого моря // XII научная конференция по изучению морских берегов. – 1971.

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.

Нежиховский Р. А. Река Нева и Невская губа. – Л. : Гидрометеиздат, 1981. – 112 с.

Павлидис Ю. А., Ионин А. С., Щербаков Ф. А., Дунаев Н. Н. Арктический шельф. Позднечетвертичная история как основа прогноза развития. – М. : ГЕОС, 1998. – 187 с.

Прасолов Э. М. Изотопная геохимия и происхождение природных газов. – Л. : Недра, 1990. – 280 с.

Рейнеке В. И. Газы нижнекембрийских отложений в районе г. Ленинграда // Природные газы СССР. Сб. статей. – Л. ; М. : ОНТИ, 1935. – С. 33–36.

Репкина Т. Ю., Рыбалко А. Е., Терехина Я. Е. и др. Опыт крупномасштабного геоморфологического картографирования гляциальных шельфов по геофизическим данным (пролив Великая Салма Кандалакшского залива Белого моря) // Океанология. – 2022. – Т. 62. – № 3. – С. 451–465.

Рыбалко А. Е., Барымова А. А., Токарев М. Ю., Репкина Т. Ю. Четвертичные отложения и рельеф Кандалакшского залива: история изучения и современные данные об их формировании [Электронный ресурс] // Тр. Ферсмановской научной сессии ГИ КНЦ РАН. – 2020. – № 17. – С. 465–469. – URL: <https://doi.org/10.31241/FNS.2020.17.089> (дата обращения: 15.11.2023 г.).

Рыбалко А. Е., Спиридонов М. А., Спиридонова Е. А., Москаленко П. Е. Четвертичные отложения Онежского залива и основные черты его палеогеографии в плейстоцене–голоцене // Комплексные морские геолого-геофизические исследования внутренних морей гляциальных шельфов. – Л. : ВСЕГЕИ, 1987. – С. 38–52.

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: 15.11.2023 г.).

Сафьянов Г. А., Соловьева Г. Д. Геоморфология дна и берегов Белого моря // Вестник МГУ. Сер. 5. География. – 2005. – № 3. – С. 54–62.

Семенов П. Б., Киль А. О., Шатрова Е. В. и др. Растворенное органическое вещество в газонасыщенных осадках Финского залива (Балтийское море) // Геология морей и океанов: Материалы XXV Международной научной конференции (Школы) по морской геологии. Т. II. – М. : ИО РАН, 2023. – С. 226–229.

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: 15.11.2023 г.).

Скибина Л. Б., Бланкфельд К. С., Колянова И. Б. и др. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 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: 15.11.2023 г.).

Старовойтов А. В., Токарев М. Ю., Терехина Я. Е., Козуница Н. А. Строение осадочного чехла Кандалакшского залива Белого моря по данным сейсмоакустики // Вестник МГУ. Сер. 4. Геология. – 2018. – № 2. – С. 81–92.

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 // Вестник МГУ. Сер. 4. Геология. – 2019. – № 1. – С. 107–114.

Ульянова М. О. Углеводородные газы в поверхностных донных осадках юго-восточной части Балтийского моря // Автореф. канд. дис. – Калининград, 2014. – 23 с.

Хёфс И. Геохимия стабильных изотопов. – М. : Мир, 1983. – 197 с.

Хлебникова О. А., Соловьева М. А., Терехина Я. Е. и др. Комплексный анализ геолого-геофизических данных для уточнения границы максимального распространения последнего покровного оледенения в Печорском море // Геофизика. – 2023. – № 2. – С. 40–48. DOI: 10.34926/geo.2023.48.11.005

Bernard B. B. Light hydrocarbons in marine sediments // Ph. D. dissertation. – Texas A&M University, College Station, 1978. – 144 p.

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] // Quaternary International. – 2022. – Vol. 630. – Pp. 17–33. – URL: <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2021.03.025> (15.11.2023).

Hovland M., Judd A., Burke R. The global flux of methane from shallow submarine sediments [Electronic resource] // Chemosphere. – 1993. – Vol. 26 (1). – Pp. 559–578. – URL: [http://dx.doi.org/10.1016/0045-6535\(93\)90442-8](http://dx.doi.org/10.1016/0045-6535(93)90442-8) (20.03.2024).

Krek A. V., Ulyanova M. O., Krek E. V. et al. Changes in coastal ecosystems affected by overburden dumping from amber open-cut mining on the Sambia Peninsula (Baltic Sea) [Electronic resource] // Marine Pollution Bulletin. – 2024. – Vol. 201. – URL: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2024.116180> (20.03.2024).

Murray C. J., Müller-Karulis B., Carstensen J. et al. Past, Present and Future Eutrophication Status of the Baltic Sea // Frontiers in Marine Science. – 2019. – Vol. 6 (2). DOI: 10.3389/fmars.2019.00002

Reebourgh W. S. Oceanic Methane Biogeochemistry // Chemical Reviews. – 2007. – Vol. 107. – No. 2. – Pp. 486–513.

Ryabchuk D., Vallius H., Zhamoïda V. et al. Pollution history of Neva Bay bottom sediments (eastern Gulf of Finland, Baltic Sea) [Electronic resource] // Baltica. – 2017. – Vol. 30 (1). – Pp. 31–46. – URL: <http://dx.doi.org/10.5200/baltica.2017.30.04> (15.11.2023).

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. – Pp. 1157–1171.

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. – Pp. 83–84.

Wasserburg G. J., Mazor E., Zartman R. E. Isotopic and chemical composition of some terrestrial natural gases / eds. J. Geiss, E. D. Goldberg // Earth Sci. Meteorites. – Amsterdam : North Holland Press, 1963. – Pp. 219–240.

Zhamoïda V., Grigoriev A., Ryabchuk D. et al. Ferromanganese concretions of the eastern Gulf of Finland – Environmental role and effects of submarine mining [Electronic resource] // Journal of Marine Systems. – 2017. – Vol. 172. – Pp. 178–187. – URL: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jmarsys.2017.03.009> (15.11.2023).

ФГБУ «Администрация морских портов Балтийского моря» [Электронный ресурс]. – URL: https://www.pasp.ru/bolshoy_port_sankt-peterburg/ (дата обращения: 15.11.2023 г.).

Фондовая

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: 15.11.2023 г.).

Мануйлов С. Ф., Рыбалко А. Е., Спиридонов М. А. Отчет по теме: «Опытно-производственные геолого-съёмочные и поисковые работы на прибрежном шельфе Кольского полуострова с целью оценки перспектив этой подводной территории на россыпи». – Л. : ВСЕГЕИ, 1973.

**ИНФОРМАЦИОННЫЙ БЮЛЛЕТЕНЬ
о состоянии недр прибрежно-шельфовых зон
Белого, Баренцева и Балтийского морей
Российской Федерации в 2023 г.**

Редактор и корректор *Е. А. Зотова*
Техническое редактирование и верстка *А. С. Смирнова*

Подписано к использованию 25.06.2024. Объем 178 Мб.
Заказ 42330000

ФГБУ «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 978-5-00193-813-2



9 785001 938132