

МИНИСТЕРСТВО ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ И ЭКОЛОГИИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЮ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ «ГИДРОСПЕЦГЕОЛОГИЯ» (ФГБУ «ГИДРОСПЕЦГЕОЛОГИЯ»)
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
«ВСЕРОССИЙСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ им. А. П. КАРПИНСКОГО»
(ФГБУ «ВСЕГЕИ»)



ИНФОРМАЦИОННЫЙ БЮЛЛЕТЕНЬ

О СОСТОЯНИИ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ ПРИБРЕЖНО-ШЕЛЬФОВЫХ ЗОН БАРЕНЦЕВА, БЕЛОГО И БАЛТИЙСКОГО МОРЕЙ В 2018 ГОДУ



САНКТ-ПЕТЕРБУРГ
2019

МИНИСТЕРСТВО ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ И ЭКОЛОГИИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЮ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ «ГИДРОСПЕЦГЕОЛОГИЯ»
(ФГБУ «ГИДРОСПЕЦГЕОЛОГИЯ»)

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ «ВСЕРОССИЙСКИЙ НАУЧНО-
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ им. А.П.КАРПИНСКОГО» (ФГБУ «ВСЕГЕИ»)

ИНФОРМАЦИОННЫЙ БЮЛЛЕТЕНЬ

О СОСТОЯНИИ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ ПРИБРЕЖНО-ШЕЛЬФОВЫХ ЗОН
БАРЕНЦЕВА, БЕЛОГО И БАЛТИЙСКОГО МОРЕЙ В 2018 ГОДУ

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ
2019

УДК:502.12:504.5:551.462.32(268.4)

Информационный бюллетень о состоянии геологической среды прибрежно-шельфовых зон Баренцева, Белого и Балтийского морей в 2018 г. – СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2019. – 99 с.

В 2018 г. завершен очередной этап работ в подсистеме Государственного мониторинга состояния недр (геологической среды) прибрежно-шельфовой зоны Баренцева, Белого и Балтийского морей. Наблюдательная сеть мониторинга основывалась на проведении комплексных исследований на девяти пунктах наблюдения, охватывающих Териберскую губу Баренцева моря, Кандалакшский залив Белого моря, а также восточную часть Финского залива и Российский сектор юго-восточной части Балтийского моря. При этом были выявлены и оценены, а в ряде случаев подтверждены основные тенденции развития потенциально опасных экзогенных геологических процессов.

А в т о р ы - с о с т а в и т е л и

В.А. Жамойда, Д.В. Рябчук, А.Ю. Сергеев, А.Г. Григорьев, А.В. Амантов, Л.М. Буданов, О.В. Дронь, А.В. Евдокименко, О.А. Ковалева, Ю.П. Кропачев, Ф.А. Леонтьев, С.Ф. Мануйлов, И.А. Неевин, Е.Н. Нестерова, Д.В. Прищепенко, М.А. Спиридонов, А.Н. Сукнотова, В.И. Хориков (ФГБУ «ВСЕГЕИ»), А.В. Крек (ИО РАН)

Научные редакторы *О.В. Петров, А.М. Лыгин*

ISBN 978-5-00193-2550

© Федеральное агентство по недропользованию, 2019

© Коллектив авторов, 2019

© Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2019

Оглавление	
Введение	4
Район работ Баренцево море.....	5
Пункт наблюдений «Губа Териберская»	6
Район работ «Кандалакшский залив Белого моря»	17
Пункт наблюдений «Г. Кандалакша – береговая зона»	18
Район работ «Восточная часть Финского залива» (Балтийское море).....	21
Пункт наблюдений «Северная береговая зона в пределах Курортного района».....	22
Пункт наблюдений «Южная береговая зона в районе пос. Большая Ижора»	30
Пункт наблюдений «Копорский залив».....	43
Пункт наблюдений «Район острова Гогланд»	50
Район работ «Российский сектор юго-восточной части Балтийского моря (Калининградский шельф)»	64
Пункт наблюдений «Северное побережье Самбийского полуострова»	65
Пункт наблюдений «Западное побережье Самбийского полуострова»	73
Пункт наблюдений «Основание Куршской косы»	85
Заключение.....	93
Основные выводы по работам в пункте наблюдений «Губа Териберская» (Баренцево море).....	93
Основные выводы по работам в пункте наблюдений «Г. Кандалакша – береговая зона»	93
Основные выводы по работам на участках в районе «Восточная часть Финского залива» (Балтийское море).....	94
Основные выводы по работам в пунктах наблюдений в районе «Российский сектор юго-восточной части Балтийского моря (Калининградский шельф)».....	96
Список литературы.....	98

ВВЕДЕНИЕ

Работы по теме «Ведение наблюдений, сбор качественных и количественных показателей состояния недр прибрежно-шельфовых зон Белого, Баренцева и Балтийского морей» выполнялись в соответствии с контрактом № 12/2017-04-12 от 20 июня 2017 г. Заказчик работ – Федеральное государственное бюджетное учреждение «Гидроспецгеология» (ФГБУ «Гидроспецгеология»). Пространственные границы объекта были ограничены прибрежно-шельфовой зоной Белого, Баренцева и Балтийского морей (до изобаты 100 м), в пределах номенклатурных листов: R-36,37, Q-36,37, P-35,36, O-35,36, N-34.

Ведение наблюдений за показателями состояния недр, а также плановое и оперативное инженерно-геологическое обследование территорий и инженерно-хозяйственных объектов, подверженных негативному воздействию опасных экзогенных геологических процессов (ЭГП), выполнялось в 9 площадных пунктах наблюдения в прибрежно-шельфовых зонах Белого моря («Г. Кандалакша – береговая зона»), Баренцева моря («Губа Териберская») и Балтийского морей (пункты наблюдения «Северная береговая зона в пределах Курортного района», «Южная береговая зона в районе пос. Большая Ижора», «Копорский залив», «район о-ва Гогланд» в Финском заливе и «Основание Курш-

ской косы»), «Западное побережье Самбийского полуострова», «Северное побережье Самбийского полуострова» в Российском секторе юго-восточной Балтики, примыкающем к Калининградской области).

В состав работ входили: гидролокация бокового обзора (ГЛБО); непрерывное сейсмоакустическое профилирование (НСАП); подводное фототелепрофилирование; отбор проб и образцов грунтов для определения физических и физико-механических свойств, определения газового и химического состава, а также морской воды для определения химического состава; георадиолокационное профилирование; отбор проб и образцов грунтов для определения физических и физико-механических свойств при проведении плановых и оперативных инженерно-геологических обследований территорий и т.д.

Лабораторно-аналитические исследования проводились в Центральной лаборатории ВСЕГЕИ (определение химического состава грунтов и вод), а также по договорам подряда в Испытательной геотехнической лаборатории ОАО «Трест ГРИИ» (определение физических и физико-механических свойств грунтов); в Химико-спектральной лаборатории ФГБУ «ВНИИОкеангеология» (определение газового состава).

РАЙОН РАБОТ «БАРЕНЦЕВО МОРЕ»

Пункт наблюдений «Губа Терiberская»

Основными задачами, поставленными при проведении исследований потенциально опасных экзогенных геологических процессов (ЭГП) в прибрежно-шельфовой зоне пункта наблюдения «Губа Терiberская», являлись:

- выявление и картирование площадей дна, характеризующихся значительной крутизной склонов, провоцирующих потенциально опасные процессы подводного оползнеобразования и обрушения;
- изучение распределения мощностей рыхлых послеледниковых отложений;
- выявление зон активного размыва и аккумуляции донных отложений;
- идентификация осадочных толщ, перемещенных в результате гравитационных процессов;
- выявление и картирование современных разрывных нарушений и грабеноподобных структур, с которыми могут быть связаны проявления опасных ЭГП;
- определение геолого-геоморфологических условий, при которых возможно возникновение подводных оползней;
- определение физических и физико-механических свойств донных грунтов в зонах возможной активизации оползневых процессов.

Состав наблюдательной сети Виды наблюдений

Работы проводились в июле 2018 г. и включали в себя комплекс геофизических и геологических методов исследований. Схема фактического материала проведенных работ представлена на рис. 1. Всего было выполнено 140 км НСАП, 120 км ГЛБО, 20 станций отбора проб грунтов и 11 станций фототелепрофилирования. Общая протяженность маршрутов плановых инженерно-геологических обследований берегов составила 15 км. При выполнении плановых инженерно-геологических обследований берегов велось описание геологического строения, геоморфологии и признаков проявления опасных экзогенных геологических процессов, а также фиксировалось состояние техногенных объектов. Проведено георадиолокационное профилирование – 2 км.

Основой для проведения работ в пункте наблюдений «Губа Терiberская» являлись результаты предварительного геолого-геоморфологического анализа рельефа дна, позволившего выявить площади, характеризующиеся крутизной склонов, провоцирующих потенциально опасные процессы подводного оползнеобразования и обрушения (рис. 2).

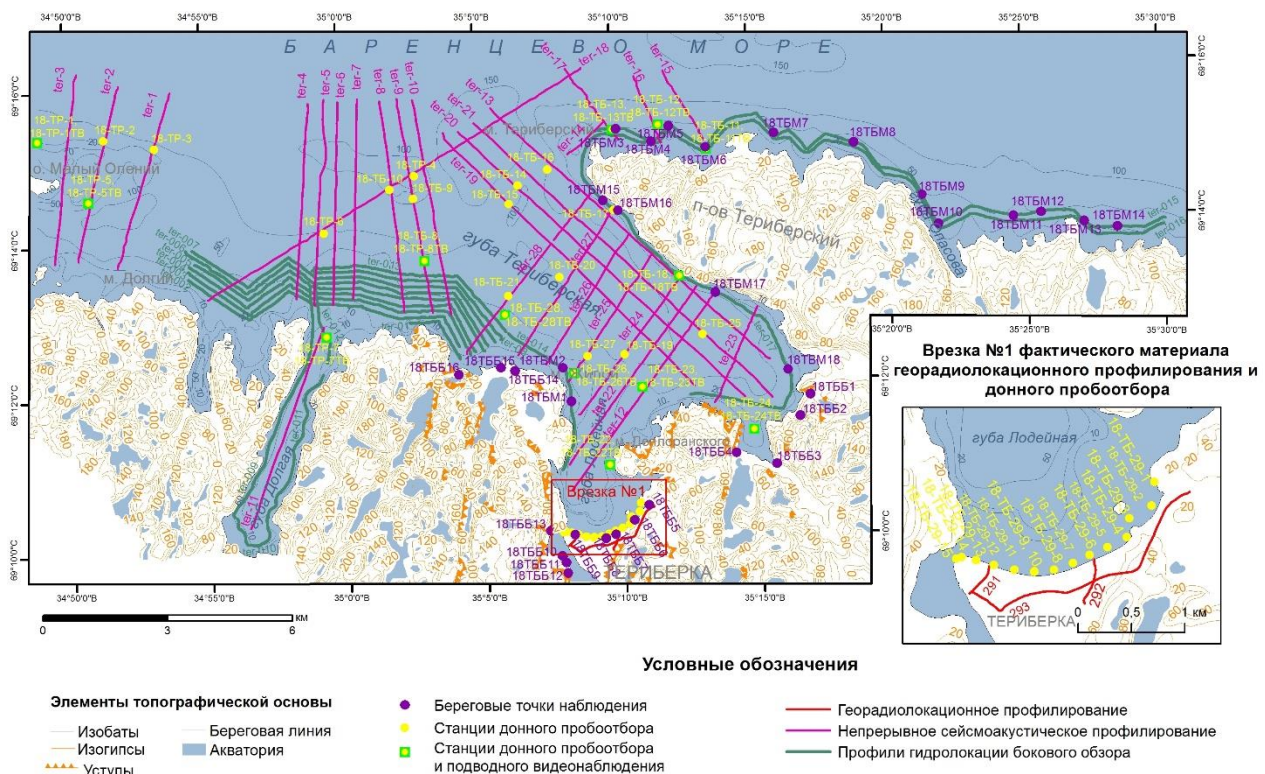


Рисунок 1. Карта фактического материала работ 2018 г. в пункте наблюдения «Губа Терiberская» (Баренцево море)

Цифровые обобщенные данные по распределению площадей с различными углами склона приведены в табл. 1. В пределах площади работ выделяется ряд орографических элементов, характеризующихся наибольшей возможностью проявления в их пределах опасных экзогенных геологических процессов (ЭГП). К ним, в первую очередь, относятся скальные и моренные гряды.

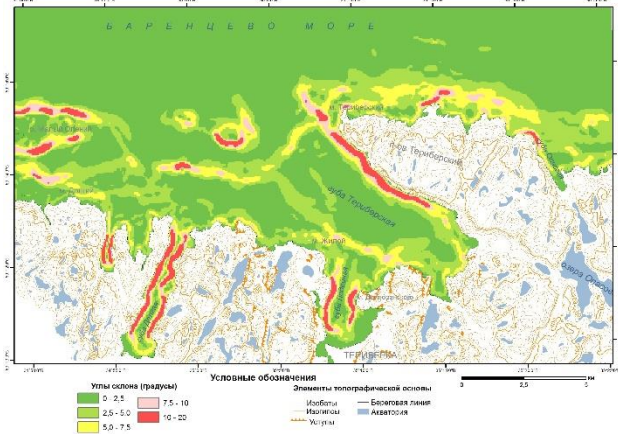


Рисунок 2. Схема распределения углов склонов в пределах площади работ в пункте наблюдения «Губа Териберская»

Таблица 1
Распределение участков с различными углами наклона поверхности дна на площади работ в пункте наблюдения «Губа Териберская»

Углы склона	Площадь распространения (%)
0-2.5°	68
2.5-5°	19
5-7.5°	8
7.5-10°	3
10-20°	2

Результаты мониторинга экзогенных геологических процессов

Анализ результатов НСАП показывает, что геологический разрез в пределах участка «Губа Териберская» подразделяется на четыре геологических комплекса. Нижний комплекс сложен нерасчлененными магматическими и метаморфическими образованиями архея – нижнего протерозоя мурманского блока [Геологическая карта ..., 1959]. Три верхних комплекса представлены четвертичными отложениями. Первый – ледниковые отложения верхнего неоплейстоцена (gIII) – краевые ледниковые образования и основная морена, второй (gmIII) – ледниково-морские отложения верхнего неоплейстоцена, третий – (mH) нерасчлененные морские отложения голоцена (декливиальные,

нефелоидные, аллювиально-морские и ундалювиальные отложения) [Рыбалко и др. ..., 2014ф].

Выходящие на дочетвертичную поверхность породы фундамента представлены гранодиоритами, граносиенитами, кварцевыми сиенитами, гиперстеновыми кварцевыми диоритами, гранитами, гранитогнейсами, порфиroidными гранитами, диабазами, габбродиабазами.

Ледниковые краевые образования (краевые морены) верхнего неоплейстоцена сложены плотными глинистыми песками с валунами и щебнем кристаллических пород. В составе ледниковых отложений основной морены преобладают плотные песчаные глины со значительным количеством гальки, щебня и валунов кристаллических пород, образующих при попадании в зону волнового воздействия валунную или валунно-галечную отмостку. Ледниково-морские отложения верхнего неоплейстоцена представлены бурыми и светло-коричневыми песчанистыми и мягкопластичными глинами.

Морские декливиальные отложения сложены песчаными алевритами со значительной примесью дресвы и щебня кристаллических пород. Венчают разрез современные морские алевропелитовые миктиты с примесью песка и дресвы кристаллических пород. Пески различного гранулометрического состава образуют аллювиально-морские отложения и морской ундалювий. В первом случае преобладают мелко- и среднезернистые пески, во втором – хорошо сортированные мелко- и тонкозернистые разности, часто с естественным шлихованием рудных минералов.

Геофизические работы методом НСАП позволили изучить геологический разрез, определить мощности четвертичных отложений и углы склонов подводного рельефа, закартировать положение разрывных нарушений.

Скальная гряда, сложенная гранитами и ориентированная с запада на восток, является подводным продолжением острова Олений, расположенного на западе изучаемой площади. Перепад высот по отношению к основанию гряды составляет для северного мористого склона около 90 м, а для южного склона – 65-82 м. Ширина гряды по основанию от 0.9 до 1.5 км. Углы склона находятся в пределах от 12.9° до 19.9° с северной мористой стороны гряды и от 10.2° до 15.4° для южных скатов, обращенных к берегу. Протяженность гряды чуть более 2.5 км. Плоская кровля гранитоидов перекрыта моренными отложениями мощностью от 1.5 до 22 м. Выше залегают ледниково-морские отложения мощностью до 14 м, перекрытые тонким слоем современных осадков. Склоны гряды

практически сплошным чехлом, за исключением небольших, наиболее крутых участков, перекрываются моренными отложениями (рис. 3). Мощность морены на склонах колеблется в интервале от 33 до 138 м, плавно увеличиваясь вниз по склону.

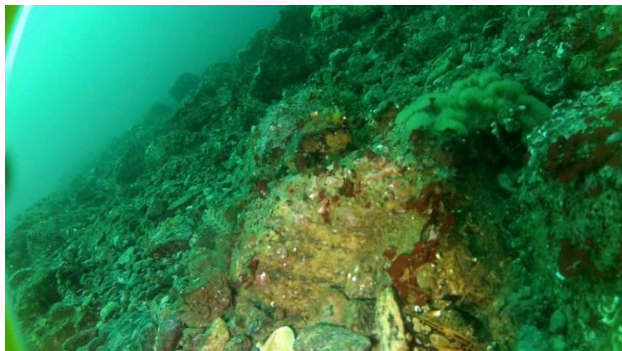


Рисунок 3. Фрагмент подводной видеосъемки. Склон скалистой гряды, перекрытой моренными отложениями. Станция 18-ТР-1-1ТВ

Вещественный состав проб, отобранных на площадях выходов морены, представлен диамиктонами, сложенными плохоокатанными дресвой и щебнем гранитоидов размером от 2-3 мм до 8-10 см, обломками и целыми створками раковин, редкими «полярными кораллами» (2 см), отмечены примазки глины.

В нижней и, реже, средней частях склона фиксируются ледниково-морские отложения верхнего неоплейстоцена. Их мощность колеблется от 35 до 53 м. На поверхности дна осадки представлены светло-серым песком мелкозернистым, хорошо сортированным, отмытым, кварц-полевошпатовым, со значительной примесью (до 3 %) раковинного детрита.

Довольно редко на поверхности дна наблюдаются песчаные рифели, свидетельствующие о накоплении относительно тонкозернистого песчаного материала и его динамичном перемещении под действием придонных течений (рис. 4).

По результатам отбора проб донных грунтов, подводного фототелепрофилирования, съемки методом ГЛБО и НСАП была построена новая литологическая карта поверхности морского дна (рис. 5). На значительных площадях морского дна, прежде всего на крутых склонах, наблюдаются выходы коренных пород и валунно-глыбовые отмостки, образующиеся по размываемым моренам. Грубозернистые отложения, сложенные плохоокатанными щебнем и дресвой, иногда

наблюдаются вплоть до глубин моря около 100 м, что свидетельствует о существенном влиянии придонных течений, способствующих селективному выносу тонкозернистых частиц и гравитационному перемещению осадочного материала вниз по склонам.



Рисунок 4. Фрагмент подводной видеосъемки донных осадков на станции 18-ТР-7ТВ. Мелкозернистые пески

Интерпретация наиболее типичного сейсмоакустического профиля, пересекающего скальную гряды, перекрытую четвертичными отложениями, представлена на рис. 6. Подводная скальная гряда пересекает губу Териберская, являясь подводным продолжением мысов Делоранского и Девятый. Протяженность гряды чуть более одного километра. Перепад высот по отношению к равнинной части дна составляет около 52 м для северо-восточного мористого ската и около 37 м для ската, обращенного в южную, куттовую часть губы. Плоская кровля коренных пород, перекрытая ледниково-морскими отложениями верхнего неоплейстоцена и морскими нефелоидными отложениями голоцена, мощность которых составляет около 15 м. Углы склона колеблются от 13.3° до 15.7° . Склоны гряды практически сплошным чехлом перекрываются ледниково-морскими отложениями максимальной мощностью (в районе перегиба склона) 67 м и перекрывающими их морскими нефелоидными отложениями мощностью от 25 до 57 м.

Вторым морфологическим типом рельефа, характеризующимся наибольшей вероятностью проявления опасных экзогенных геологических процессов, являются моренные гряды, представляющие собой краевые ледниковые образования, широко распространенные в пределах площади работ, и заметно различающиеся по своим морфометрическим характеристикам.

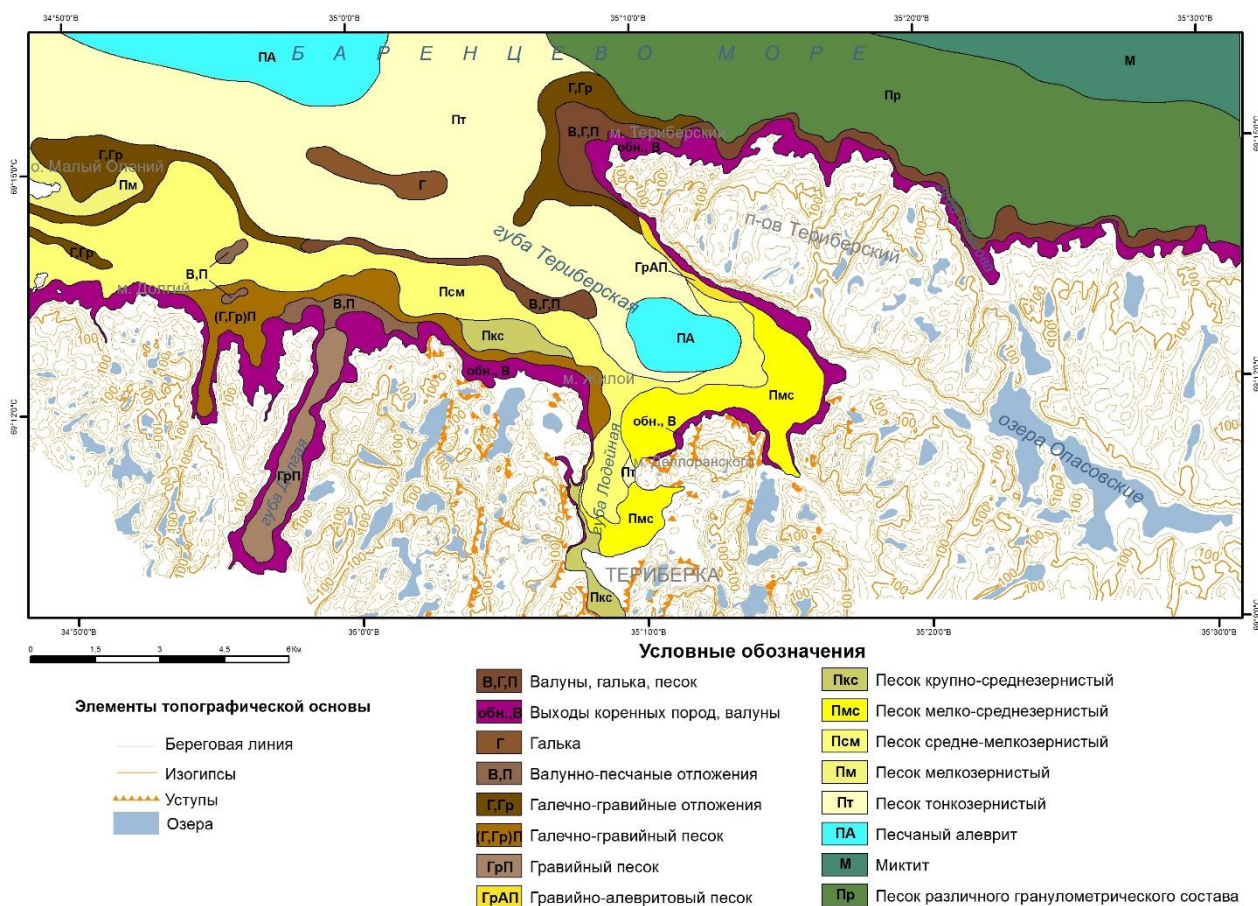


Рисунок 5. Литологическая карта поверхности морского дна пункта наблюдения «Губа Терiberская»

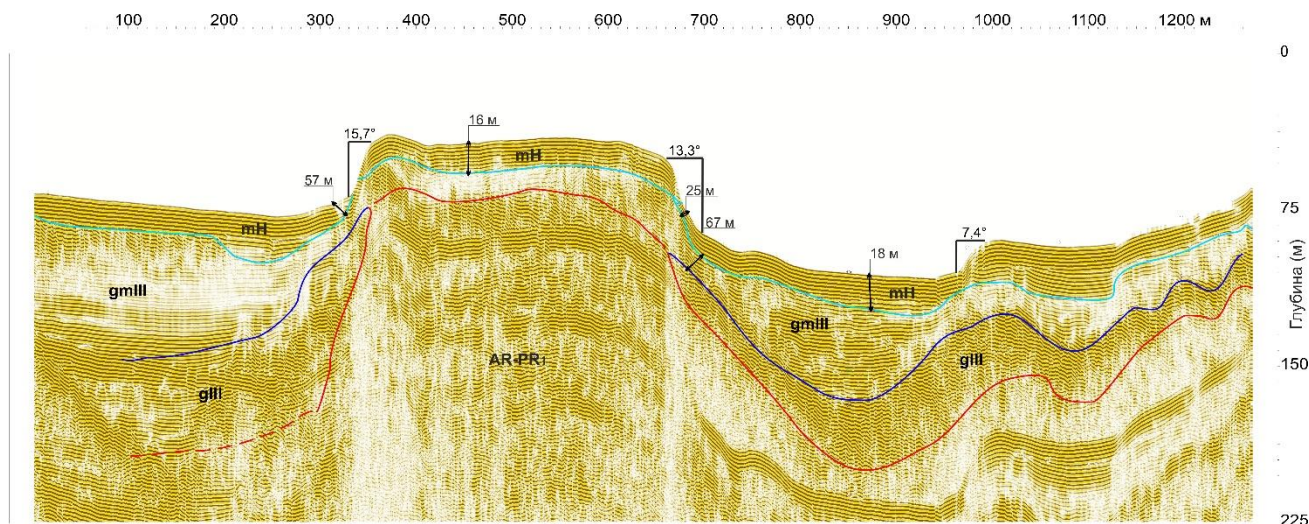


Рисунок 6. Профиль НСАП Ter-12. Скальная гряда, перекрытая отложениями верхнего неоплейстоцена (gIII – морена; gmIII – ледниково-морские отложения) и голоцена (mH – морские нерасчлененные)

Наиболее мощная и протяженная (около 3.5 км с запада на восток) гряда выявлена в северной части площади (гряда Северная). Характерной особенностью данной гряды является то, что она осложнена расположенным у ее подошвы выводящим ледниковым трогом. Перепад высот гряды по отношению к поверхности заполняющих

долину ледникового трогом морских нефелоидных отложений колеблется в среднем от 37 до 75 м, с единственным минимальным значением 14 м. Углы склонов, направленных в долину трогом, находятся в интервале от 6.5° до 19.7°, с преобладающими значениями от 10.0° до 19.7°. Сами склоны в большинстве случаев выполнены материалом

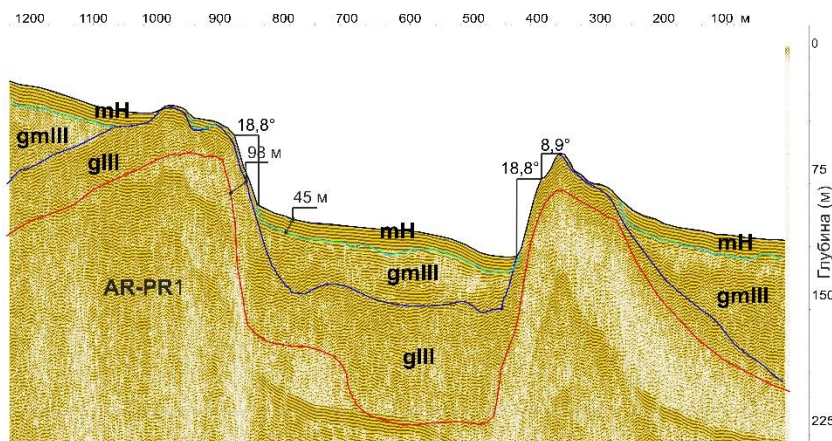


Рисунок 7. Профиль НСАП Ter-06. Моренные гряды по бортам ледникового трога. Условные обозначения – см. рисунок 6

морены, в нижней части частично перекрытым голоценовыми осадками. Мощность морены на наиболее крутых скатах гряды составляет 8-12 м

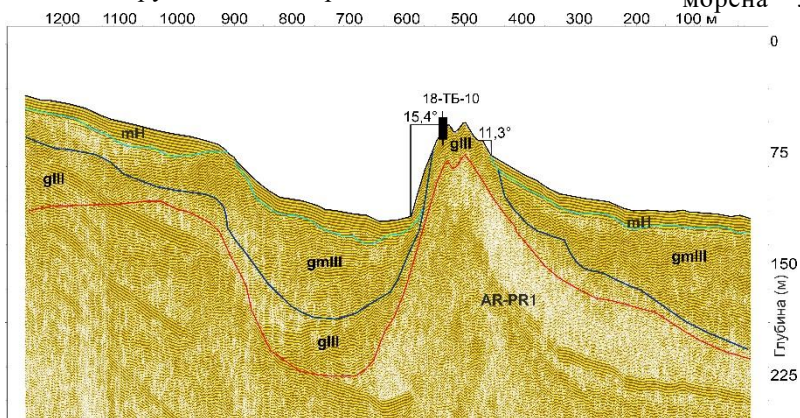


Рисунок 8. Профиль НСАП Ter-08. Моренные гряды по бортам ледникового трога. Условные обозначения см. рисунок 6.

(до 58 м у подножья склона). У противоположных скатов гряды, обращенных на северную мористую сторону, углы склона, как правило, невелики, максимальное зафиксированное значение 11°. При этом ледниковые отложения обнажаются, как правило, только в верхней, наиболее крутой, части склона, а в большинстве случаев они перекрыты ледниково-морскими отложениями мощностью, достигающей 47 м и более.

Долина трога заполнена морскими нефелоидными отложениями мощностью от 12 до 45 м и подстилающими их разновозрастными ледниковыми отложениями. Наиболее типичные геологические разрезы моренной гряды, осложненной расположенным у ее подошвы выводным ледниковым трогом, по данным профилирования методом НСАП представлены на рис. 7, 8.

Противоположный (южный) борт выводного ледникового трога, как и его северный борт,

совмещен с подошвой ледникового краевого образования. Но в данном случае большая часть краевой морены перекрыта ледниково-морскими отложениями, в рельефе дна она заметно проявляется только в своей западной части (гряда Южная). Главным образом на профиле Ter-18 и отчасти на профиле Ter-4. Перепад высот по отношению к поверхности заполняющих долину ледникового трога морских нефелоидных отложений для южной гряды колеблется в среднем от 30 до 60 м, углы склона от 10° до 18.7°.

Зафиксированная мощность морены достигает 98 м. В зависимости от крутизны на склоне обнажается морена либо перекрывающие ее ледниково-морские отложения. В отдельных случаях разрез венчают морские декливиальные отложения.

Ледниково-морские отложения представлены зеленовато-серой пластичной глиной, перекрытой гравийным грубозернистым несортированным песком. Содержание гравия и мелкой гальки достигает 40 %. Размер обломков – до 3 см, хорошоокатанные, в петрографическом составе грубообломочного материала преобладают гранитоиды.

Помимо вышеописанных ледниковых краевых образований, на площади работ выявлены еще две моренные гряды. Фрагмент одной из них зафиксирован в юго-восточной части площади профилем Ter-18. Гряда расположена на юго-западе площади (гряда юго-западная) и протягивается в северо-западном направлении.

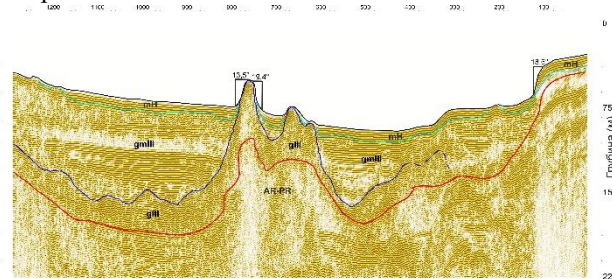


Рисунок 9. Профиль Ter-11. Моренные гряды. Усл. обозн. – см. рис. 6

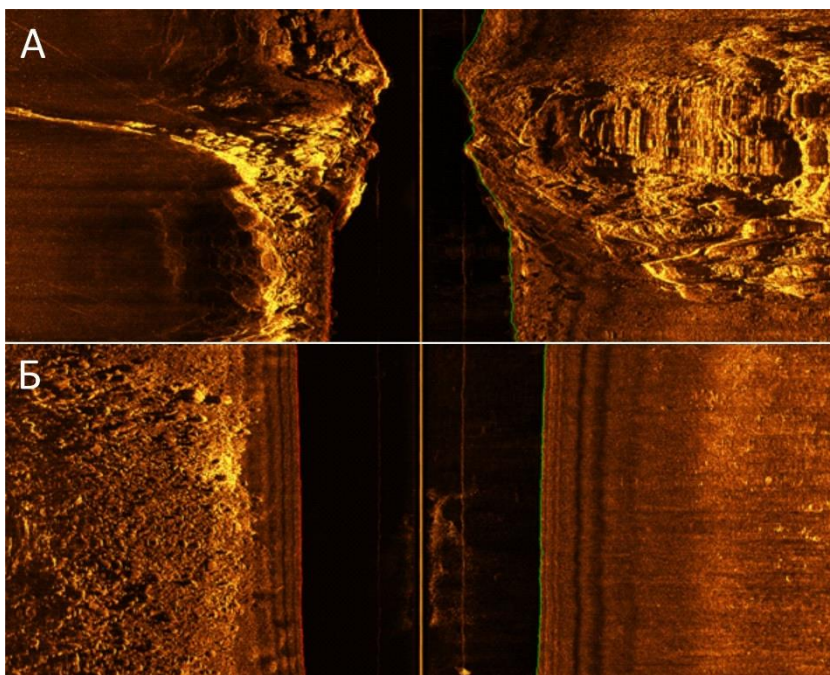


Рисунок 10. Сонарограммы (диапазон – 200 м) берегового склона на участке м. Жилой – м. Долгий (восточный): А – подводное обнажение коренных пород, разбитых трещинами; Б – валунная отмостка (осыпь) по подводному выходу морены

Форма гряды двугорбая, пространство между возвышенностями заполнено ледниково-морскими отложениями. Перепад высот составляет около 15 м для северного мористого ската склона и около 9 м для южного ската. Углы склонов составляют приблизительно 13° . На склоне с северной стороны обнажается морена, перекрытая тонким слоем современных осадков. С южной стороны средняя и нижняя части склона перекрыты горизонтально залегающими ледниково-морскими отложениями.

Вторая гряда расположена вкрест фиорда Долгий (рис. 9). Форма гряды двухвершинная, пространство между поднятиями заполнено ледниково-морскими отложениями верхнего неоплейстоцена и морскими нефелоидными отложениями. Перепад высот по отношению к дну фиорда для северной вершины составляет около 22 м, а углы его склонов составляют приблизительно 13.5° с северной стороны гряды и 19.4° для южного ската. Материал склона северной вершины представлен моренными отложениями, перекрытыми тонким слоем морских нефелоидных осадков. Невысокая южная вершина практически полностью перекрыта илами.

К третьему морфологическому типу рельефа, характеризующемуся высокой вероятностью проявления опасных экзогенных геологических процессов, относятся крутые береговые склоны, широко развитые вдоль всего побережья. В пределах площади работ наиболее распространены

береговые склоны с углами откосов в интервале $5^\circ-7.5^\circ$ и $10^\circ-20^\circ$.

Типичный геологический разрез подводного берегового склона выглядит следующим образом. Начиная непосредственно от берега, подводная часть склона выполнена коренными породами, ниже по склону появляются моренные отложения, которые затем перекрываются ледниково-морскими отложениями. Примеры подобного типа подводных береговых склонов хорошо прослеживаются на записях гидролокации бокового обзора (рис. 10).

Осредненный угол склона на участках выхода коренных пород в районе мыса Териберский составляет от 7° до 10° . Но, как видно на приведенных сонарограммах (рис. 10, 11), в пределах подводного склона прослеживаются локальные крутые

скаты, многочисленные обрывы и уступы, выраженные в рельефе мелкие каньоны и трещины. В отдельных случаях у подножья склонов отмечаются крупноглыбовые развалы.

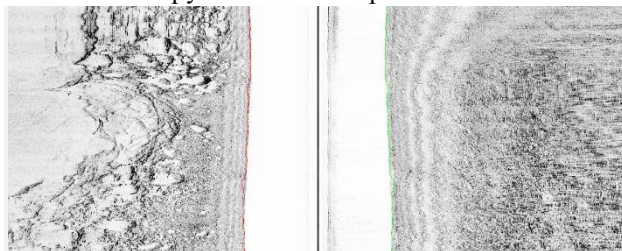


Рисунок 11. Выходы коренных пород на подводной части берегового склона в районе мыса Териберский. Сонарограмма (диапазон – 200 м) ter-17, $35^\circ 09,127$ в. д., $69^\circ 15,175$ с. ш.

Осредненный угол склона на участках выхода коренных пород в районе фиорда Долгий несколько меньше и составляет приблизительно от 2° до 5° (рис. 12).

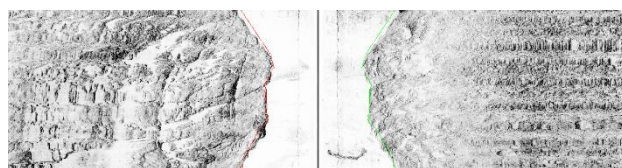


Рисунок 12. Выходы коренных пород на подводной части берегового склона. Сонарограмма (диапазон – 200 м) ter-02, $34^\circ 58,6668$ в. д., $69^\circ 13,2302$ с. ш.

Значительно реже отмечены случаи, когда непосредственно от берега подводная часть склона выполнена основной мореной, зачастую с образованием валунной отмостки. Наиболее характерен подобный разрез для кутовой части губы Териберская. На рис. 13, 14 представлены фото подводного склона восточного берега губы Териберская, сложенного основной мореной, в нижней части перекрытой ледниково-морскими отложениями. Средняя крутизна склона составляет 16.4° .



Рисунок 13. Фрагмент подводной видеосъемки донных осадков. Выход коренных пород на береговом склоне. Станция 18-ТР-11ТВ

На рис. 13 (станция 18-ТР-11ТВ) показан участок подводного склона, выполненный коренными породами, обросшими водорослями. На рис. 14 показан участок этого склона, расположенный батиметрически ниже и выполненный моренными отложениями. Фрагмент подводной видеосъемки (ст. 18-ТР-26ТВ) донных осадков берегового склона с углом ($5-7.5^\circ$) (западный берег губы Териберская) приведен на рис. 15.



Рисунок 14. Фрагмент подводной видеосъемки донных осадков. Подводный береговой склон, сложенный мореной. Станция 18-ТР-13ТВ



Рисунок 15. Фрагмент подводной видеосъемки донных осадков. Подводный береговой склон, выполненный мореной. Станция 18-ТР-26ТВ

Одним из важных результатов проведенных в 2018 году полевых геофизических исследований методом НСАП и геолого-геоморфологического анализа рельефа дна являлось создание обобщающей схемы распределения основных геоморфологических элементов дна акватории, характеризующихся наибольшей вероятностью проявления опасных ЭГП (рис. 16). На схему вынесены скальные и моренные гряды, троговые долины, подводные береговые склоны, а также характеризующие их углы склонов и наиболее характерные перепады высот.

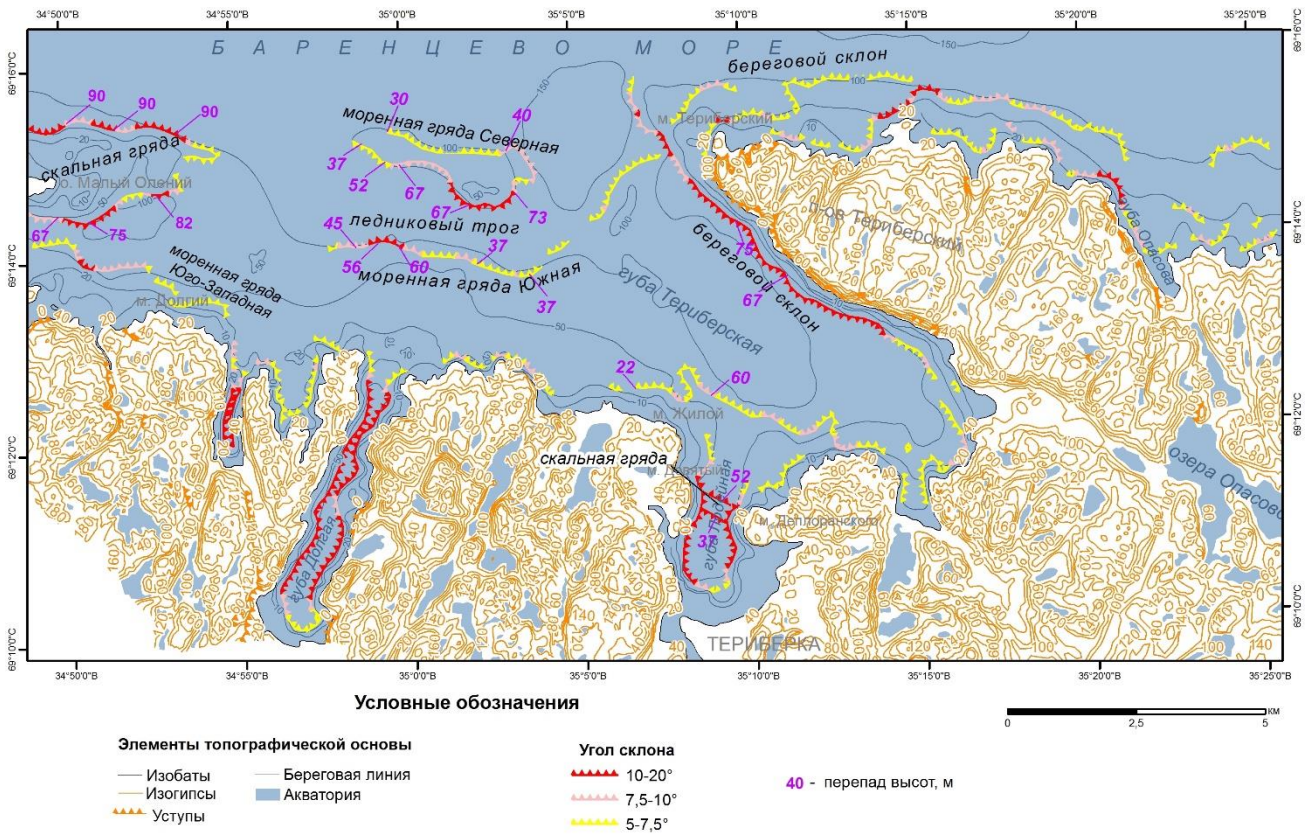


Рисунок 16. Схема распределения основных морфологических элементов дна акватории с характеризующими их углами склонов и перепадами высот пункта наблюдений «Губа Терiberская»

Согласно морфогенетической типизации берегов исследуемого пункта наблюдений, проведенной в 2016 г. и расширенной в ходе работ 2018 г., берега открытой части губы Терiberская относятся к группе берегов, сформированных субэкральными тектоническими процессами и мало измененных морем. Эти берега ледниково-тектонического расчленения: мысы представляют собой, как правило, подвергшиеся ледниковой экзарации выходы коренных пород, в бухтах преобладают скопления крупных окатанных валунов. Скопления валунного материала образовались при относительном понижении уровня моря в голоцене из материала ледникового и, возможно, флювиогляциального происхождения. Активные обвальные процессы со скоплением коллювия у подножия скал проявлены локально, в пределах трещиноватых скальных массивов, неотектонические процессы

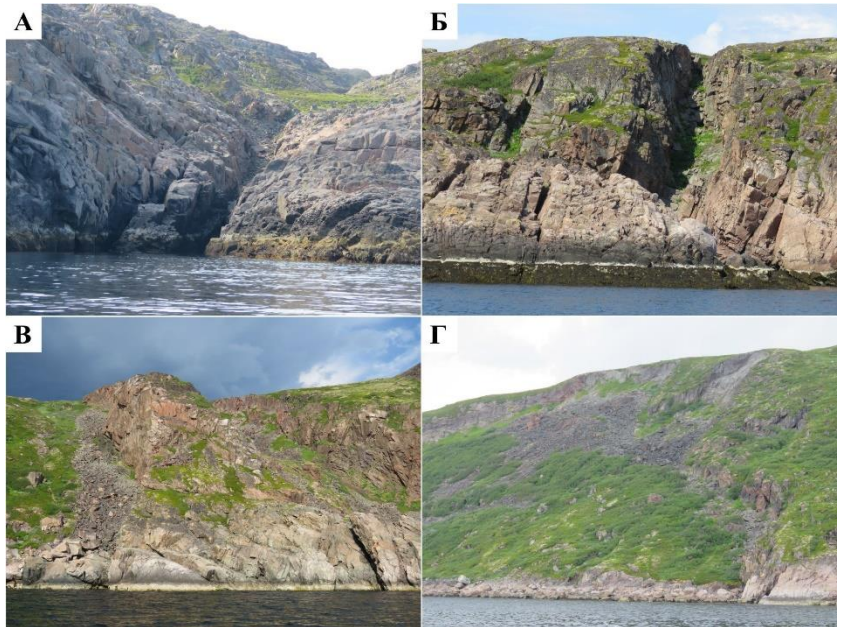


Рисунок 17. Обвальные процессы, развитые в зонах интенсивной трещиноватости. А, Б – расщелины в берегах открытой части Баренцева моря, т. н. 18-ТБМ-3 и 18-ТБМ-1; В – коллювий (шлейфы) на склонах и у подножия скал на северо-восточном берегу губы Терiberская, т. н. 18-ТБМ-16; Г – цирк сброса на северо-восточном берегу губы Терiberская, т. н. 18-ТБМ-17

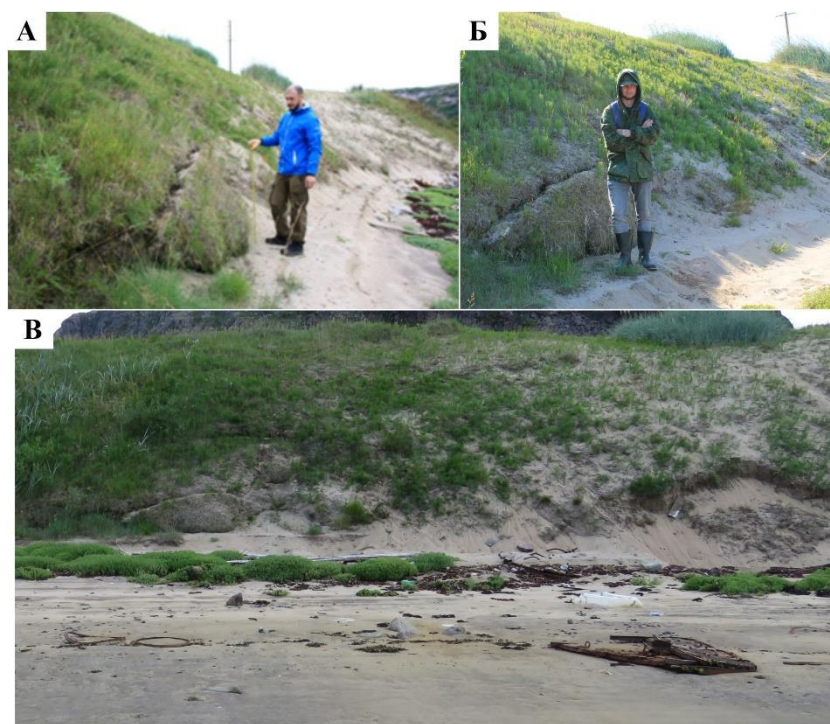


Рисунок 18. Осыпные процессы, приводящие к сползанию дерна вниз по склону в устье р. Териберка, левый берег. А – в 2016 г.; Б – в 2017 г.; В – в 2018 г.

приводят к образованию по разломам расщелин, дно которых заполнено глыбами коренных пород (рис. 17).

Обзорный маршрут, выполненный с борта судна вдоль полуострова, отделяющего губу Териберская от Баренцева моря, показал, что наибольшее количество обвалов приурочено к зонам трещиноватости кристаллического массива по системе трещин северо-восточного простирания (рис. 17А). Наибольшее число коллювиальных масс грубообломочного материала, образующего шлейфы, сконцентрировано вдоль северо-восточного берега губы Териберская, на протяжении более чем 4.5 км (рис. 17Б). На этом участке отмечена активизация склоновых процессов, преимущественно приуроченная к расщелинам в скальных береговых уступах, а также обнаружен один блоковый сброс (рис. 17В).

На южном берегу бухты (вблизи устья р. Териберка) формируются обширные аккумулятивные песчаные формы аллювиально-морского происхождения, образующие террасы, размываемые как со стороны моря, так и рекой. В склонах террас средней высотой около 4 м, образуются небольшие локальные осыпи, приводящие к сползанию дерна (рис. 18). Раскрытость трещин на протяжении наблюдений с 2016 г. остается без изменений, что говорит о практически полном отсутствии развития процесса.

В кутовой части Териберской губы на аллювиально-морской прибрежно-морской террасе было выполнено георадиолокационное профилирование. Целью профилирования было уточнение геологического строения побережья и определение мощности неустойчивых к размыву отложений, а также обнаружение структурных нарушений и определение границы кристаллического фундамента, подстилающего четвертичные отложения. Профилирование производилось от современной береговой линии через аккумулятивно-морскую террасу с подходом к коренным выходам кристаллического основания.

По результатам геолого-геофизической интерпретации разреза было выделено пять георадарных комплексов (ГК) (рис. 19). Первый (ГК1) – характеризуется малой энергией отраженного сигнала, а зарегистрированные отражения слабо кор-

релируются. По особенностям геологического разреза местности данный комплекс соответствует кристаллическим горным породам (микроклиновый гранит), повсеместно развитым на исследуемой территории. По структурно-тектоническим особенностям района площадь профилирования пересекает сильно расчлененный дочетвертичный рельеф с зонами трещиноватости, грабенообразными структурами, частично подвергшимся ледниковой экзарации. В результате типичным для данного региона является наличие резких каньонообразных врезков с относительным перепадом в несколько десятков метров. При интерпретации георадарного разреза в ГК1 были выделены протяженные крутопадающие оси синфазности, отвечающие трещинам внутри горных пород, направление трещин было прослежено и подтверждено на гранитных массивах, выходящих на дневную поверхность вблизи профиля. Комплекс имеет резкую и четкую границу с перекрывающим комплексом. Кровля ГК1 была прослежена на -5 м абс. под всей береговой террасой на площади профилирования. Вблизи устья реки кровля погружается и ниже -10 м абс. не прослеживается. Второй комплекс (ГК2) представлен областью записи, для которой характерно наличие наклонных осей синфазной различной интенсивности, соответствующей косослойной толще с преимущественным направлением па-

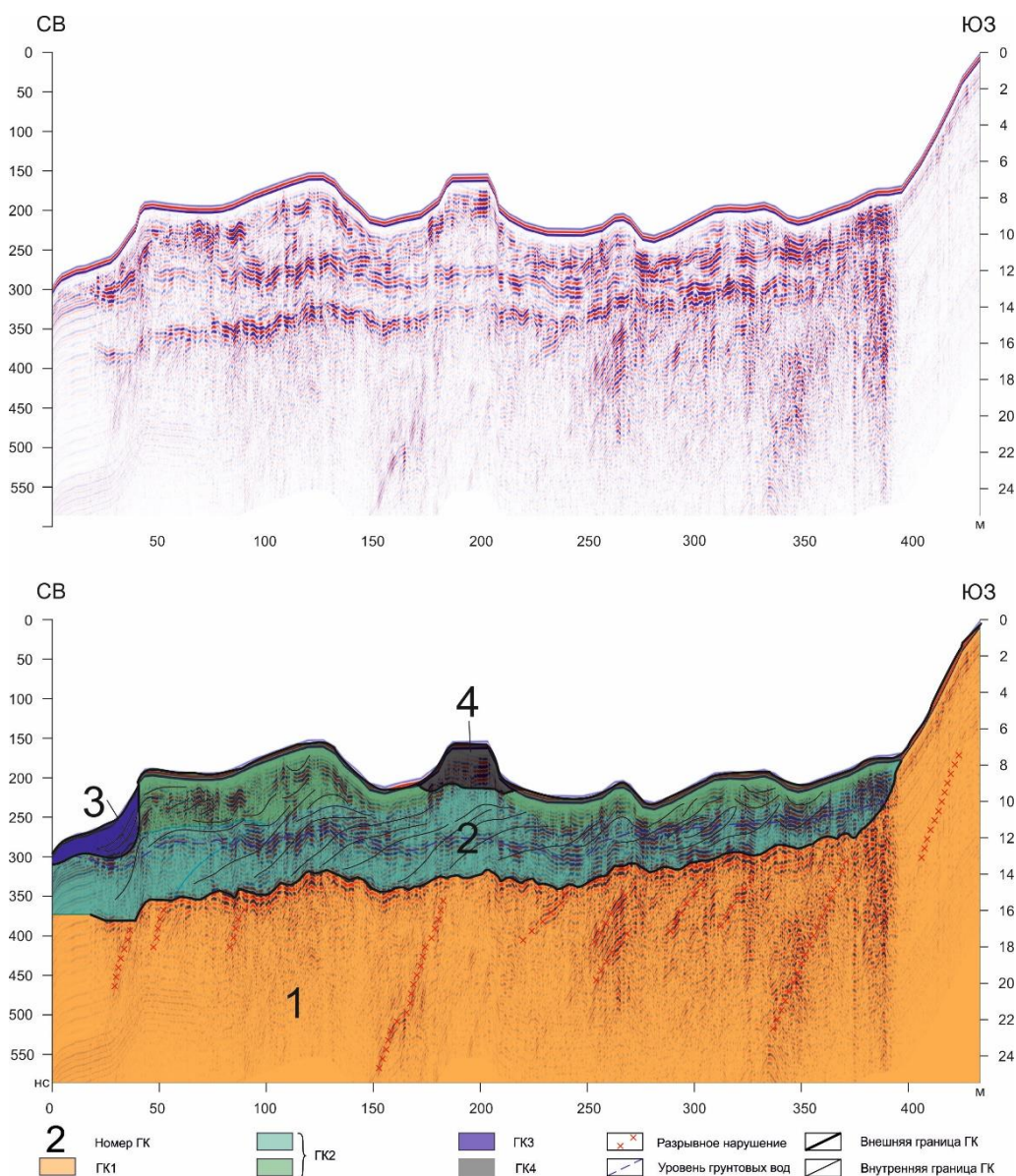


Рисунок 19. Пример профиля георадиолокации (292) в субэаральной части прибрежной зоны. ГК – георадарные комплексы

дения слоев на север в сторону моря. Данный комплекс имеет мощность около 4 м и собственно формирует аккумулятивную аллювиально-морскую террасу в устье р. Териберка. Внутри комплекса выделена ось синфазности, отвечающая уровню грунтовых вод. Третий георадарный комплекс (ГК3) по характеру записи схож с ГК2, распространен локально вдоль морского берега и относится к толще современных пляжевых отложений. Его мощность варьирует от 1 м (вблизи уреза) до 3 м (в тыловой части пляжа). ГК3 несогласно примыкает к ГК2 со стороны моря. Контакт представляет собой абразионную нишу, выработанную в отложениях ГК2. В окрестности автомобильной дороги по хаотичному характеру записи выделен четвертый

георадарный комплекс (ГК4), соответствующий техногенным отложениям (насыпь).

Выводы по состоянию геологической среды в пункте наблюдений «Губа Териберская»

Работы, выполненные в субаквальной части пункта наблюдений «Губа Териберская», показали широкое распространение на площади протяженных гряд, сложенных как коренными дочетвертичными породами, так и моренной, которые характеризуются экстремальными углами склона до 20°. Верхняя часть склонов часто сложена глыбовыми развалами, а грубообломочные отложения прослеживаются иногда вплоть до глубины моря 60 м, что свидетельствует о гравитационном селективном

сносе тонкозернистого материала под влиянием придонных течений вниз по склонам. На прибрежных мелководных участках на записях ГЛБО наблюдаются глыбовые «развалы». Относительно «свежие» трещины-разломы, наблюдаемые повсеместно на берегах, являются аргументом в пользу предположения об относительно недавних возможных проявлениях тектонической активности. В целом, геоморфологические особенности субаквальной площади и характеристика распределения типов донных грунтов определяют довольно неблагоприятные условия для прокладки трасс подводных коммуникаций, которым хотя и локально, но могут угрожать подводные гравитационные процессы.

Мониторинговые наблюдения 2018 года в прибрежной зоне не выявили заметных отличий на участках проявления опасных ЭГП по сравнению с

результатами обследования 2016 и 2017 гг. и подтвердили сделанный в 2016 г. вывод о том, что комплекс выявленных ЭГП для находящихся на берегах строений в настоящее время опасности не представляет. Обзорный маршрут 2018 г., выполненный с борта судна, позволил выявить участок развития активных ЭГП, приуроченных к зонам трещиноватости кристаллического массива и проявленных в виде обвалов. Наибольшее число коллювиальных масс грубообломочного материала, образующего шлейфы, сконцентрировано вдоль северо-восточного берега губы Териберская, на протяжении более чем 4.5 км. Выделенный участок берега относится к области наиболее активного проявления ЭГП на данном пункте наблюдения. Выполненные в 2018 г. наблюдения позволили расширить схему типизации береговой зоны и установить новые участки проявления ЭГП.

РАЙОН РАБОТ КАНДАЛАКШСКИЙ ЗАЛИВ БЕЛОГО МОРЯ



Основными задачами при проведении полевых работ в пределах пункта наблюдений «Г. Кандалакша – береговая зона» (Кандалакшский залив) является выявление площадей, на которых возможно проявление опасных экзогенных геологических

процессов (ЭГП), в первую очередь, гравитационных перемещений грунтов в пределах прибрежной зоны и оценка их возможного негативного воздействия на инженерно-хозяйственные объекты.

Пункт наблюдений «Г. Кандалакша – береговая зона»

Состав наблюдательной сети. Виды наблюдений

Плановые инженерно-геологические обследования берегов в пределах данного пункта наблюдения проводились в июле 2018 г. Работы являлись продолжением наблюдений 2016 и 2017 гг. В соответствии с техническим заданием, общая протяженность маршрутов составила 15 км. Точки наблюдения 2018 года в целом соответствовали точкам наблюдения 2016 и 2017 гг. (рис. 20).

На участках развития опасных геологических процессов измерялась ширина пляжа, высота абразионного уступа (при наличии), литологические особенности размываемых осадков, фиксировались индикаторы абразионных и обвально-осыпных процессов.

Экзогенные геологические процессы

В пределах описываемого пункта наблюдения развиты два принципиально различных типа берегов. К юго-востоку от м. Монастырский Наволок берега относятся к экзарационно-денудационному типу (группа берегов, сформированных субэральными и тектоническими процессами и мало измененных морем). Опасные экзогенные процессы приурочены к западной части этого типа берега, где к склонам коренных пород примыкает терраса, сложенная четвертичными отложениями (моренные валунные супеси). Здесь отмечается активный абразионный уступ высотой до 1.5 м, размыту подвергается корневая система деревьев, имеют развитие осыпные процессы (рис. 21).

К северо-западу от устья р. Нива берега по морфогенетическим характеристикам относятся к абразионно-бухтовым низменным. На значительном протяжении эти берега являются техногенными, а на сохранившихся участках естественного берега узкие песчаные пляжи чередуются с валунными мысками (моренные образования), берег низкий, в тыловой части пляжей, как правило, выражен абразионный уступ, а на подводном береговом склоне обнажаются моренные суглинки. Непосредственно в береговой зоне расположены постройки (портовые сооружения, здания хозяйственного назначения, гаражи).

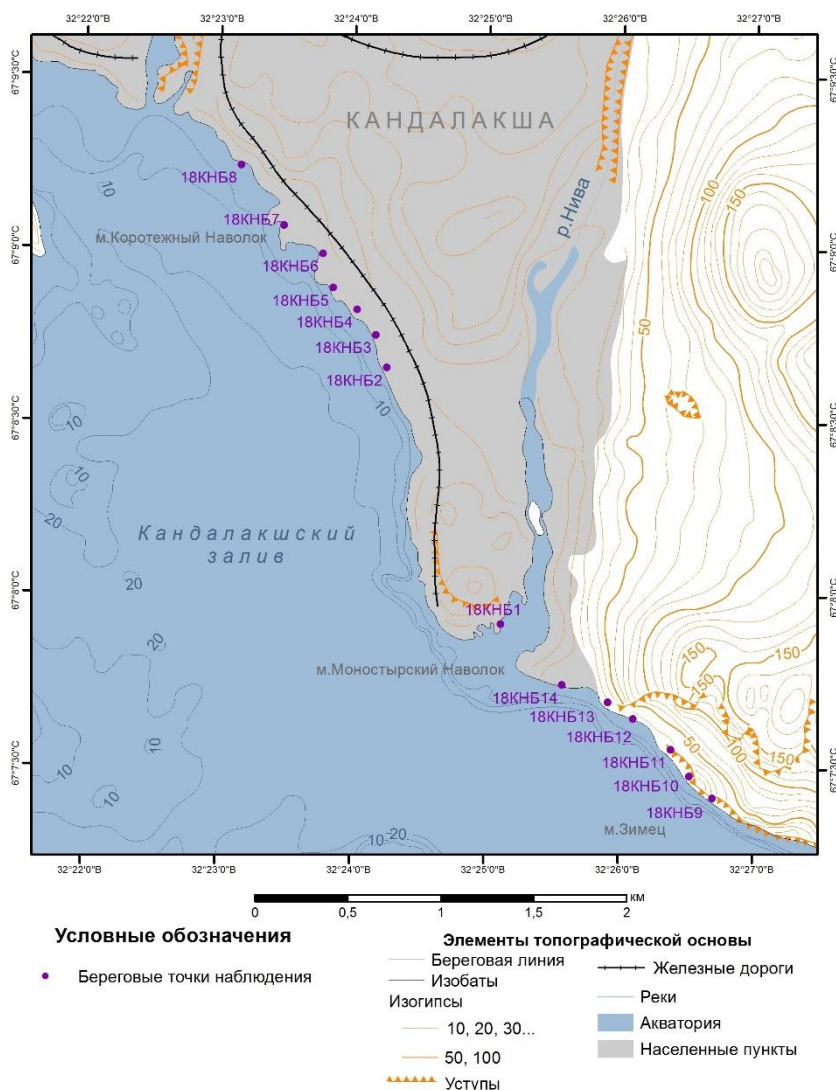


Рисунок 20. Карта фактического материала береговых маршрутов пункта наблюдений «Город Кандалакша – береговая зона», 2018 г.



Рисунок 21. Активный абразионный уступ и обвалыные накопления в береговой зоне к востоку от м. Монастырский Наволок

Большая часть сооружений и их фундаментов, расположенных непосредственно в береговой зоне, находится в аварийном или предаварийном состоянии. За счет воздействия со стороны моря происходит нарушение целостности фундаментов, что в скором времени может привести к обрушению кон-

струкций (рис. 22). За прошедшие два года наблюдений значительных изменений в степени повреждений изученных объектов не выявлено.

На отдельных участках развит техногенный тип берега, сформированный отвалами лесоперерабатывающего комбината. Терриконы высотой около 3 м, расположенные непосредственно в береговой зоне, разрушаются под действием волн, формируя активные абразионные уступы. На таких участках наблюда-

ются обрушения, провалы, формирование внутренних полостей и т. д. (рис. 23). Часть из этих уступов активно разрушается, поставляя в береговую зону древесно-стружечный материал, формирующий в локальных бухтах целые пляжи.



Рисунок 22. Основания сооружения, разрушенного в результате воздействия абразии: А – фото 2016 года, Б – фото 2017 года, В, Г – фото 2018 года

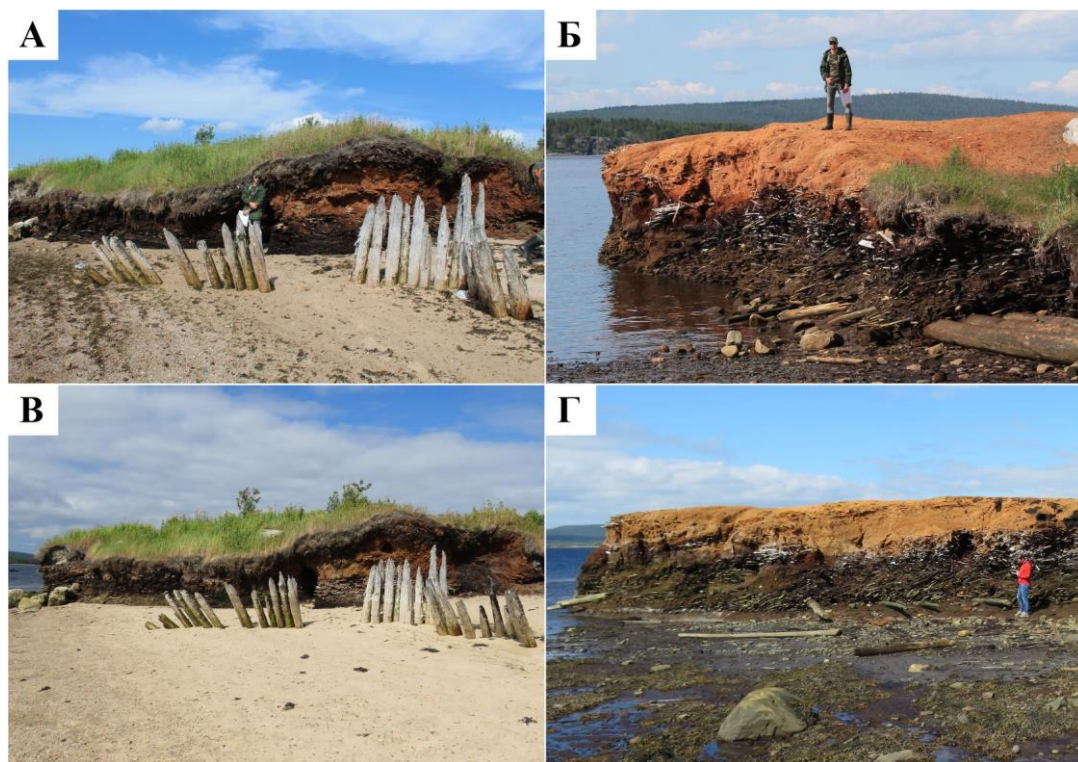


Рисунок 23. Техногенный берег, сформированный скоплениями древесины и опилок с активным абразионным уступом: А, Б – фото 2017 года, В, Г – фото 2018 года

Выводы по состоянию геологической среды на участке «Г. Кандалакша – береговая зона»

В целом мониторинговые наблюдения 2018 года показали отсутствие развития активных экзогенных геологических процессов по сравнению с результатами обследования 2016 г. и 2017 г. Ранее проведенный анализа данных дистанционного зон-

дирования береговой зоны в пределах города Кандалакша показывал слабое проявление абразионных процессов, что подтверждается натурными наблюдениями. Повышенного внимания заслуживают аварийные строения, расположенные в береговой зоне, и участки размываемого берега с техногенными отвалами лесоперерабатывающего комбината.

РАЙОН РАБОТ «ВОСТОЧНАЯ ЧАСТЬ ФИНСКОГО ЗАЛИВА» (БАЛТИЙСКОЕ МОРЕ)



Пункт наблюдений «Северная береговая зона в пределах Курортного района»

Состав наблюдательной сети. Виды наблюдений

Первый цикл планового прибрежного инженерно-геологического обследования в пункте наблюдений «Северная береговая зона в пределах Курортного района» был выполнен в мае 2018 г. на 17 точках наблюдения по сети, аналогичной обследованной в 2017 г. (рис. 24). Последующие наблюдения выполнялись в режиме оперативного обследования после прохождения штормов вплоть до ноября 2018 г.

Общая протяженность обследования прибрежной зоны составила 50 км. Работы были сконцентрированы на ранее установленных участках проявления опасных ЭГП. В 2018 г. было выполнено 6 профилей НСАП общей протяженностью 60 км для уточнения инженерно-геологического районирования площади. Профили НСАП пересекают зоны

смены условий осадконакопления (размыв, транзит, аккумуляция), захороненные переуглубленные долины, подводные террасы (гравитационные процессы). Отбор грунтов проведен на 5 станциях для изучения их физико-механических свойств, проверки результатов интерпретации ранее выполненной съемки многолучевым эхолотом (ложбины стока – вынос обломочного материала, разрушение – гравитационное оползание склонов подводной террасы), уточнения литологической карты.

В пункте наблюдений «Северная береговая зона в пределах Курортного района» на абразионно-осыпном склоне возле поселка Репино было выполнено инженерно-геологическое описание разреза 18-КПР-I. На разрезе отобрано 9 образцов на гранулометрический анализ и определения естественной влажности грунта.

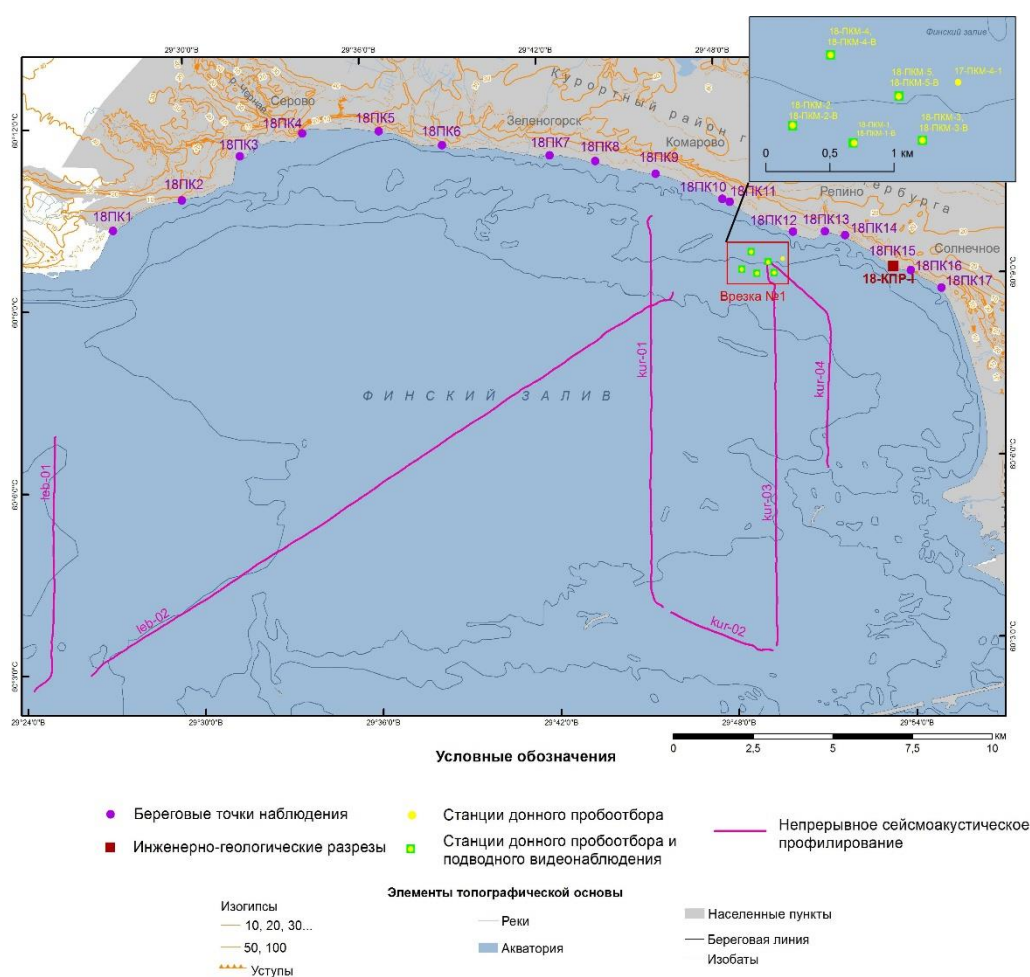


Рисунок 24. Схема фактического материала 2018 г. в пункте наблюдений «Северная береговая зона в пределах Курортного района»

Результаты мониторинга. Экзогенные геологические процессы

Следует отметить, что, по данным Санкт-Петербургского ЦГМС-р, в 2017 г., как и в 2016 г., совпадения критичных с точки зрения усиления наиболее опасной экзогенной геодинамики, приводящей к активизации абразионных процессов, в береговой зоне Курортного района факторов (подъем уровня воды выше 200 см, штормовые ветра западных румбов, отсутствие ледяного покрова) не фиксировалось. Опасные явления на акватории Финского залива в 2017 году не наблюдались. В то же

время летний сезон 2017 г. и весна 2018 г. характеризовались повышенным по сравнению со среднегодовыми значениями количеством атмосферных осадков, что усиливало эрозионное воздействие рек и временных водотоков. Следствием указанного комплекса факторов стало усиление активности склоновых (в Курортном районе – осыпных) (рис. 25) и эрозионных (рис. 26) процессов на фоне положительного баланса наносов в береговой зоне при временной стабилизации процессов абразии (рис. 27).



Рисунок 25. Осыпные процессы в пункте наблюдения «Курортный район»: А – в 2017 г., т. н. 17-ПК-14; Б – в 2018 г. т. н. 18-ПК-14

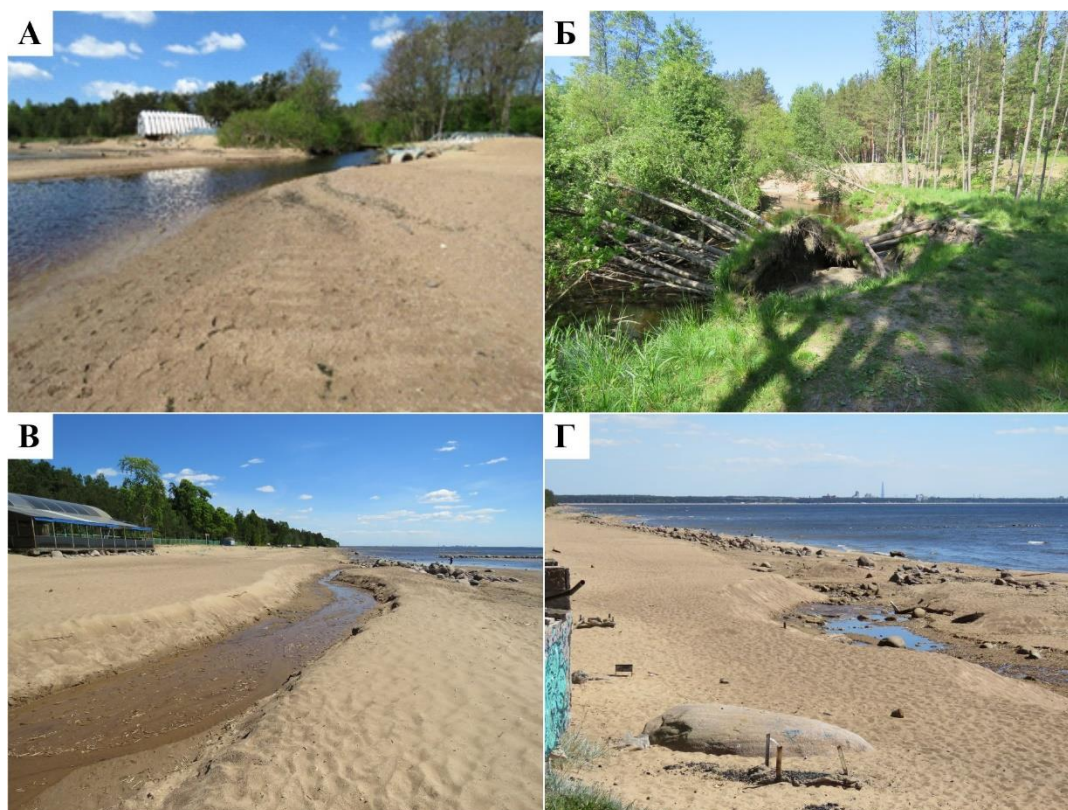


Рисунок 26. Эрозионные процессы в пункте наблюдения «Курортный район»: А, Б – т. н. 18-ПК-1; В – т. н. 18-ПК-10; Г – т. н. 18-ПК-14

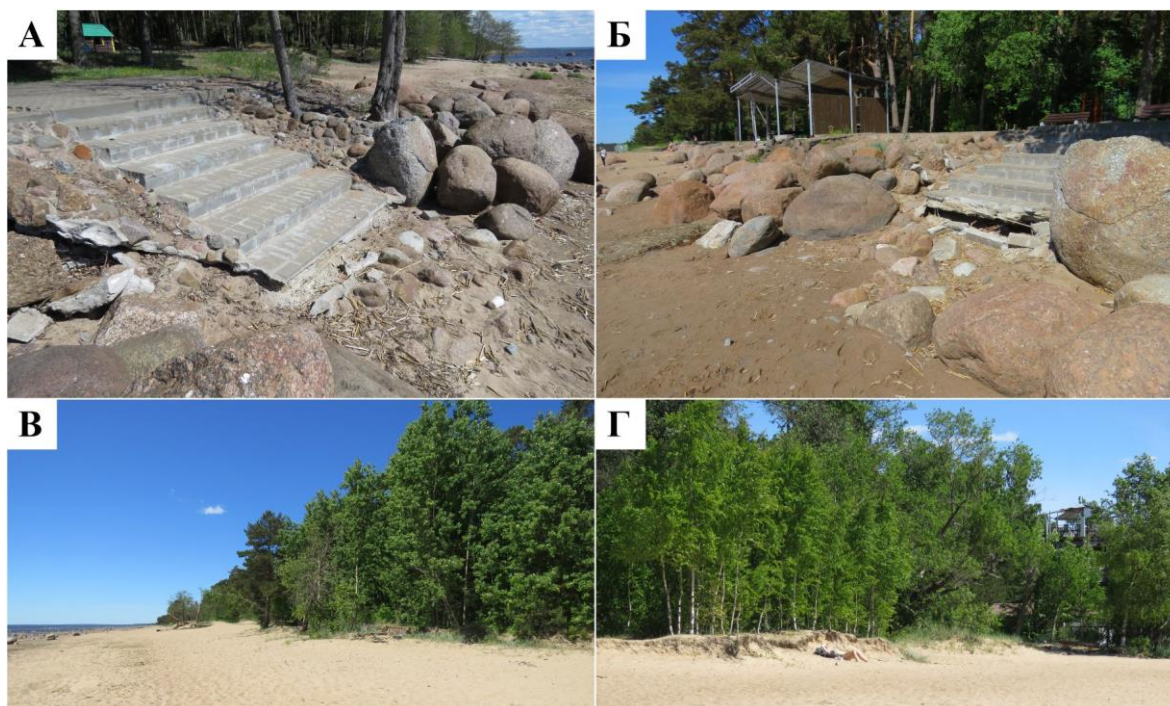


Рисунок 27. Абразионные процессы в пункте наблюдения «Курортный район»: А – т. н. 17-ПК-2; Б – т. н. 18-ПК-2; В, Г – т. н. 18-ПК-10

На ряде точек наблюдения процессы заносимости, играющие в данном случае, безусловно, положительную роль в целом, однако создающие проблемы (заносимость фарваторов) владельцам небольших портов и марин, непосредственно вызваны техногенным воздействием. Так, многолетние дноуглубительные работы по очистке фарватера Зеленогорского яхт-клуба в условиях упоминавшейся выше низкой штормовой активности привели к формированию на подводном береговом склоне аккумулятивных песчаных форм, значительному расширению пляжей и, соответственно, снижению воздействия опасных процессов на абразионный уступ (рис. 28).

Особенностью выполненного в мае 2018 г. цикла наблюдений стало выявление существенной роли льда в транспортировке осадочного материала в береговой зоне. При маршрутных обследованиях в Курортном районе в большинстве точек наблюдения были выявлены многочисленные следы ледового воздействия на субаэральную часть береговой зоны, включая эффект перемещения осадочного материала в тыловую часть пляжа (в том числе к подножиям абразионных уступов) (рис.



Рисунок 28. Процессы заносимости, т.н. 18-ПК-7. А – аккумулятивные песчаные формы на подводном береговом склоне, сформировавшиеся при размыве отвалов грунта из фарватера Зеленогорского яхт-клуба; Б, В – формирование пляжа на абразионном участке берега перед берегозащитными конструкциями; Г – дноуглубление фарватера лодочного кооператива

29). В начале осени 2018 года произошла активизация опасных ЭГП в береговой зоне восточной части Финского залива. Оперативные обследования берегов, выполнявшиеся после штормов и подъема уровня воды в заливе 13 сентября и 2 октября 2018 г., зафиксировали усиление опасных ЭГП. Во время наблюдений 13 сентября того же года было отмечено усиление абразионных и эоловых процессов.



Рисунок 29. Следы ледового воздействия на пляжи в пункте наблюдения «Курортный район»: А – т.н. 18-ПК-2; Б – т.н. 18-ПК-4; В – т.н. 18-ПК-5; Г – т.н. 18-ПК-12

Наиболее значительным было воздействие на берега шторма 26-27 сентября 2018 г. В течение двух суток западный и северо-западный ветер усиливался до 24 м/с, в 5:00 27 сентября были закрыты створы Комплекса защитных сооружений Санкт-Петербурга от наводнений (КЗС). По данным оперативных наблюдений 2 октября 2018 г., на значительном протяжении берегов Курортного района в авантоне сформировался активный абразионный уступ, затронувший в частности участок реконструированных коллекторов ОАО «Водоканал», а также приведший к обрушению лестницы в основании променада в пос. Репино (рис. 30).

На берегу в пос. Комарово проводилось повторное нивелировочное профилирование с целью определения динамики трансформации пляжа за последний год. Наблюдения по профилю 18-ПКПР-8а показывают, что бровка абразионного уступа осталась на прежнем месте относительно положения 2017 г., а перед его подножием сформировался небольшой песчаный вал. С 2015 г. уступ деградировал не более чем на 1 м (рис. 31). Профиль пляжа за период наблюдений остается преимущественно неизменным, имеющим выровненный слабовыпуклый профиль.

Участок берега в пределах ООПТ «Комаровский берег» не претерпел существенных изменений за прошедший год. Техногенная песчаная терраса, отсыпанная в 1988 г. в берегозащитных целях, в настоящий момент отступила на 2 м с 2015 г. Образованный в 2017 г. эрозионный врез небольшого водотока снивелировался и сместился ближе к подножию берегового уступа. На месте вреза образован песчаный береговой вал (рис. 32). Сравнение профилей показывает преобладание аккумулятивных процессов за прошедший год на этом участке берега.

Выполненное сравнение формы поперечного профиля береговой зоны в районе зоны отдыха «Пляжный Рай» (пос. Комарово) показывает, что отступление берегового уступа за прошедший год прекратилось.

За период с 2015 по 2018 г. бровка абразионного уступа отодвинулась в сторону суши на 2 м (рис. 33). Отсутствие сильных штормов благоприятствовало стабилизации положения кромки берегового уступа. Сравнение профилей 2017 и 2018 гг. показало наличие выполаживания профиля пляжа и смещение песчаных наносов из нижней части пляжа в верхнюю.



Рисунок 30. Последствия шторма и наводнения 26-27 сентября 2018 г. А, Б – т.н. 18-ПК-7; В – т.н. 18-ПК-12; Г – т.н. 18-ПК-15

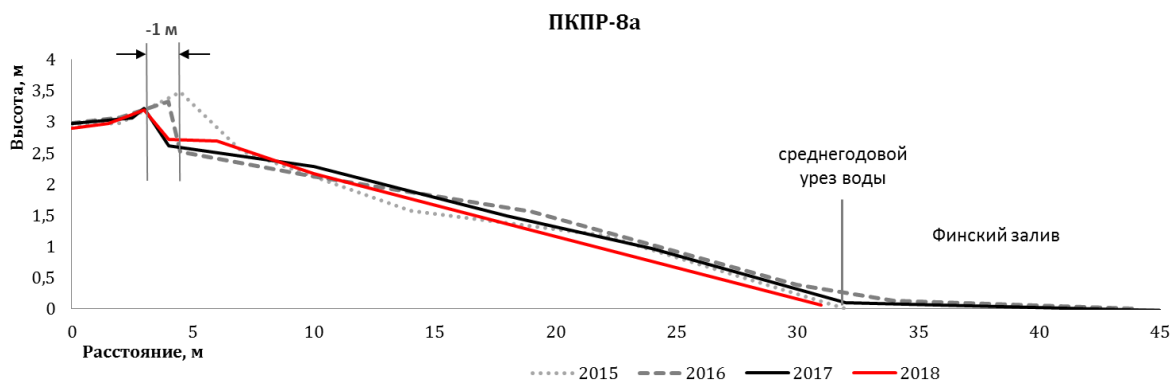


Рисунок 31. Изменение поперечного профиля пляжа № ПКПР-8а в пос. Комарово (ресторан «Макрель»)

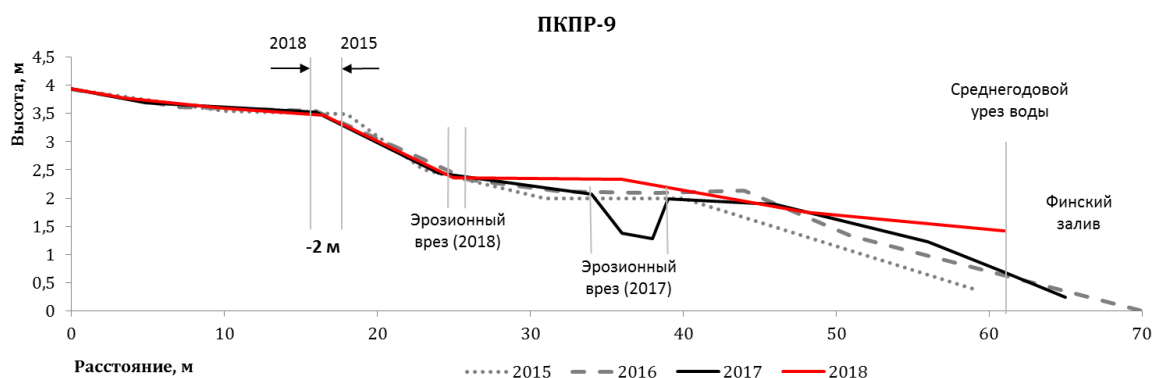


Рисунок 32. Изменение поперечного профиля пляжа № ПКПР-9 в пос. Комарово («Комаровский берег»)

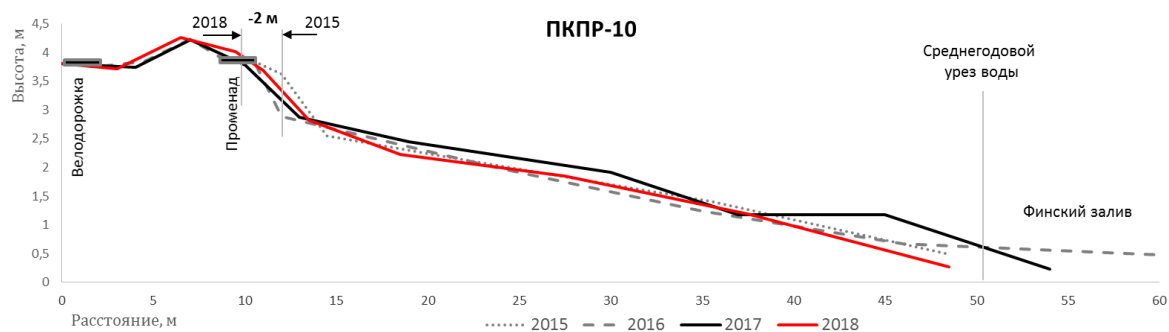


Рисунок 33. Изменение поперечного профиля пляжа № ПКПР-10 в пос. Комарово («Пляжный Рай»)

Один из немногих участков берега Курортного района с аномальной тенденцией к нарастанию расположен в пос. Репино, в локальной бухте. Здесь в течение многолетнего периода наблюдений с 2004 по 2014 г. существовал узкий песчаный пляж с активным абразионным уступом, размывом корней деревьев и частичным разрушением расположенных на берегу объектов инфраструктуры. В 2015 г. в результате избыточного поступления песчаного материала в береговую зону произошло образование песчаной аккумулятивной формы (косы), рост

которой происходил с запада на восток, и ее приращение к берегу в бухте пос. Репино. В результате произошло локальное расширение пляжа более чем на 15 м. Профилирование 2016 г. показало, что форма косы за год несколько изменилась: аккумулятивная форма стала положе и выдвинулась в сторону акватории на 25 м. Повторное профилирование 2017 г. показывает, что берег продолжает выдвигаться и, по сравнению с 2016 г., вырос на 13 м, а мощность пляжа увеличилась на 0,5 м. Всего с 2014 по 2017 г. берег на данном профиле выдвинулся на 50 м.

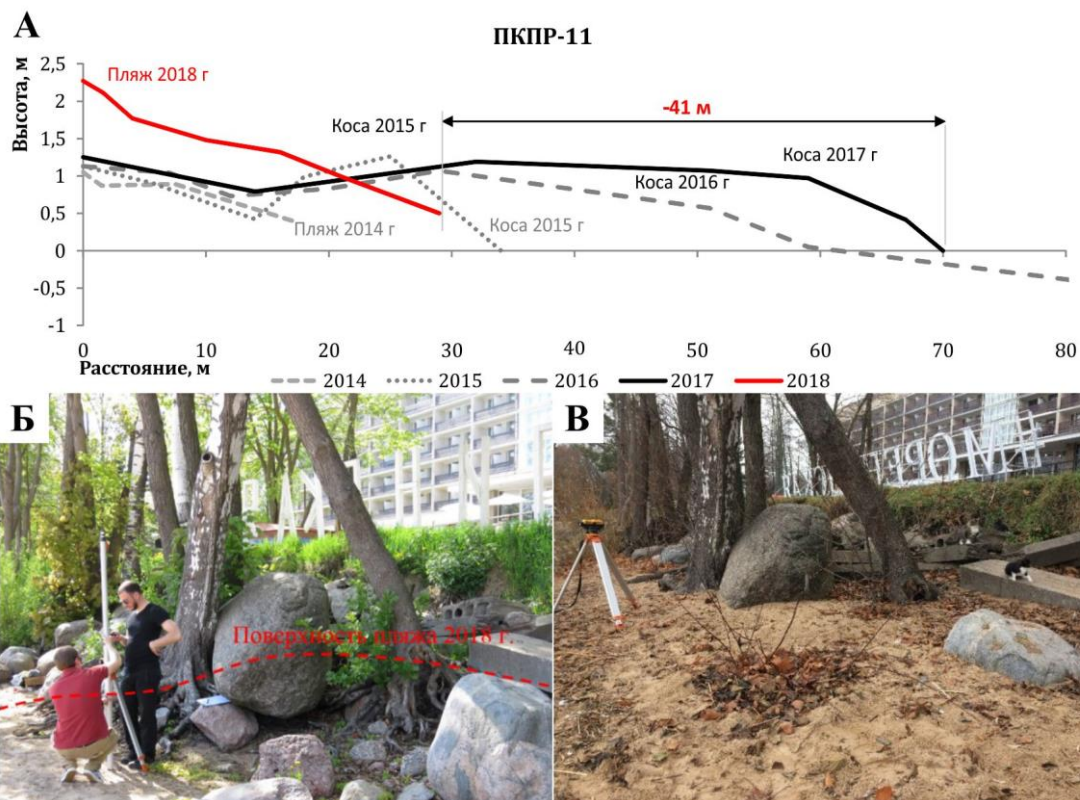


Рисунок 34. Изменение поперечного профиля пляжа ПКПР-11 в пос. Репино: А – сравнение результатов профилирования; Б – состояние пляжа в 2017 г., В – состояние пляжа в 2018 г.

Как отмечалось в отчете за 2017 г., нарастание песчаного тела в виде песчаной вдольбереговой волны (косы) является довольно эфемерным образованием. Мониторинговые наблюдения 2018 г. это подтвердили. По данным сравнения профилей, существовавшая с 2015 г. коса практически полностью деградировала, с общим смещением песчаного материала в тыловую часть пляжа (рис. 34). В результате поверхность пляжа вблизи берегового уступа поднялась на 1 м при деградации береговой линии на 41 м.

В пределах пункта наблюдений «Северная береговая зона в пределах Курортного района» по восточной части Финского залива на абразионно-осыпном склоне возле пос. Репино было выполнено повторное инженерно-геологическое описание разреза 18-КПР-I (рис. 35). Весь разрез сложен песками различной крупности, встречаются галька и валуны. Высота разреза небольшая – около 5 м. Серьезных изменений с 2017 года не произошло (рис. 36).

Отложения пляжевой ступени представлены крупнозернистыми песками с галечными включениями, на поверхности – валунно-галечные отложения. По мере приближения к уступу количество валунов растет. Вдоль уреза по берегу расположены остатки бетонной волноотбойной стенки в виде горизонтально лежащих блоков (рис. 58). Со стороны уступа за блоками наблюдается полоса тростника, маркирующая зону максимального заплеска. Бетонные блоки несколько снижают волновое воздействие на основание берегового уступа, однако вода достигает его при сильных штормах и в период нагона воды. Как было сказано выше, на период инструментальных наблюдений (июнь 2018 г.) значительных штормов зафиксировано не было. Сформировавшийся за период, прошедший с предыдущих сильных штормов (декабрь 2015 г.), широкий пляж (44 м) являлся естественной защитой основания уступа от абразионных процессов.

Профиль 18-КПР-I (2018 г.)
Пос.Репино (60,15293°с.ш.,29,89744°в.д.)

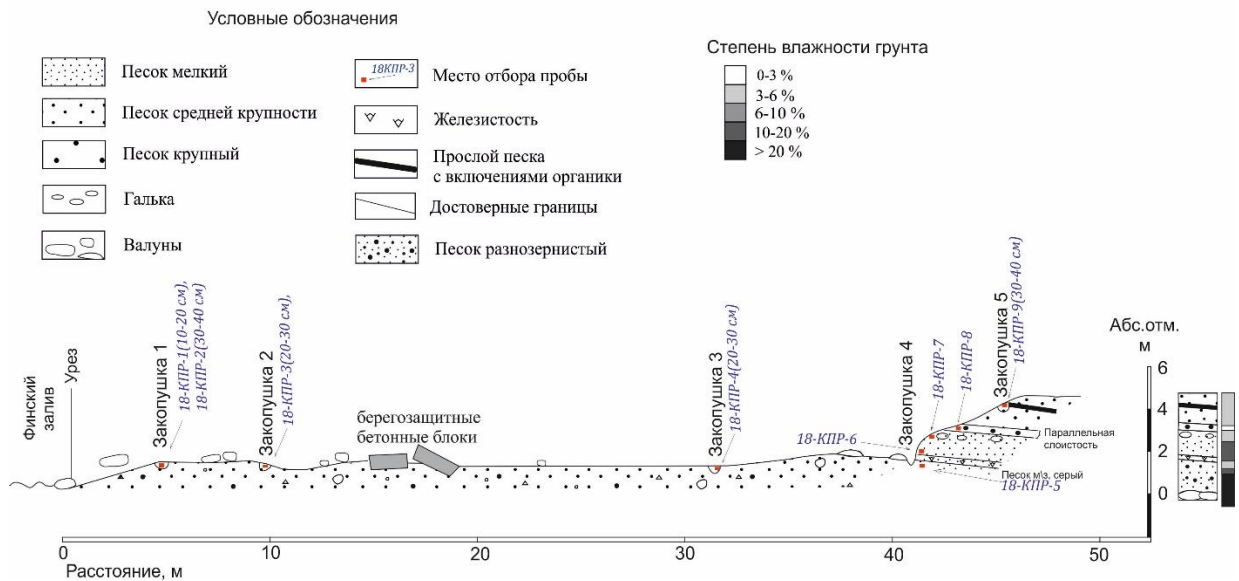


Рисунок 35. Разрез 18-КПР-I

Профиль 17-КПР-I (2017 г.)
Пос.Репино (60,15293°с.ш.,29,89744°в.д.)

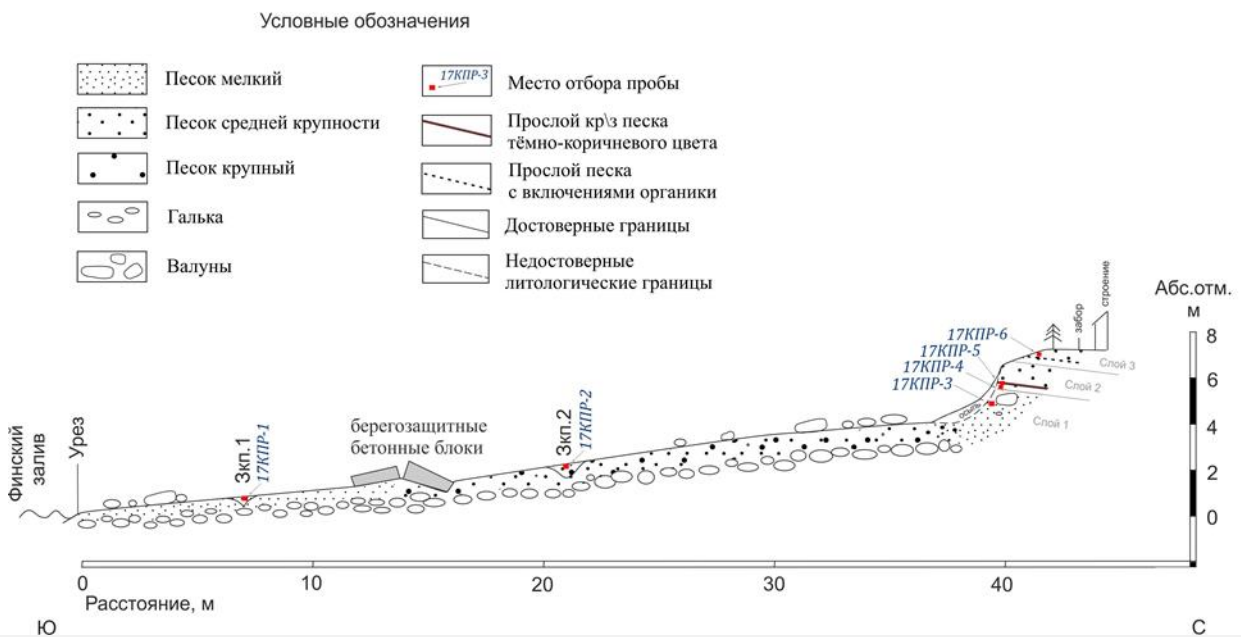


Рисунок 36. Разрез 17-КПР-I

Обнажение (уступ) сложено отложениями песчаного состава, от тонкозернистого до крупного. В толще встречено несколько крупных валунов, один из них служит хорошим ориентиром для наблюдения за интенсивностью абразионных и осыпных процессов, так как он наблюдался в том же месте в толще песчаных отложений в 2017 г.

В целом уступ разрушается незначительно в той части, где углы склона наиболее крутые. Выходы грунтовых вод не обнаружены.

Выполненное в субаквальной части пункта наблюдений НСАП позволило уточнить положение и строение захороненных переуглубленных долин

(рис. 37), а также зон смены условий осадконакопления (размыв, транзит, аккумуляция). Относительная глубина долин, прорезающих отложения венда, и, очевидно, заложенных задолго до последнего оледенения, превышает 40 м. Толща четвертичных отложений, заполняющих долины, характеризуется сложным инженерно-геологическим строением и сформирована, вероятно, переслаиванием морен различных стадий оледенения и межморенных отложений.

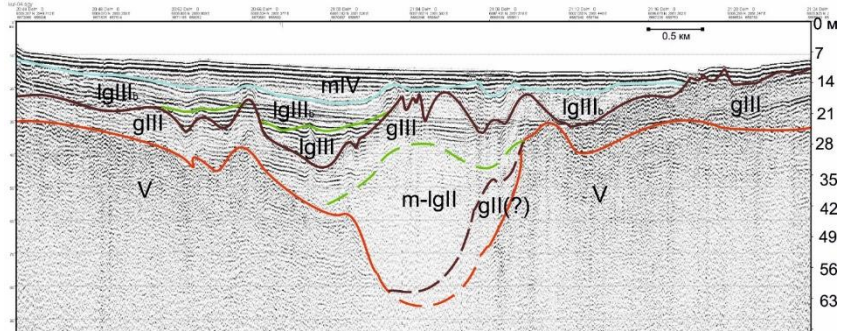


Рисунок 37. Профиль НСАП 18-kur-04: mIV – современные морские отложения (илы и пески); lgIII_b – глины Балтийского ледникового озера; lgIII – ленточные глины; gIII – морена (валдайское оледенение); m-lgII – межледниковые водные отложения; gII(?) – морена (довалдайская)

Выводы по состоянию геологической среды в пункте наблюдений «Северная береговая зона в пределах Курортного района»

Особенностью выполненного в мае 2018 г. цикла наблюдений в пункте наблюдений «Северная береговая зона в пределах Курортного района» стало выявление существенной роли льда в транспортировке осадочного материала в береговой зоне. При маршрутных обследованиях, выполненных в мае, в большинстве точек наблюдения были выявлены многочисленные следы ледового воздействия на субаэральную часть береговой зоны, в том числе эффект перемещения осадочного материала в тыловую часть пляжа (вплоть до подножия абразионных уступов).

До конца августа 2018 г. активизация опасных ЭГП в береговой зоне Курортного района не наблюдалась. Основными наблюдавшимися процессами были боковая эрозия и осыпные процессы. Ситуация изменилась с началом штормов в середине августа – начале сентября 2018 г. Сильные шторма 11 и 12 августа, 12 сентября и, в особенности, 26-27 сентября 2018 г. (СЗ ветер порывами до 24 м/с, створы КЗС были закрыты) привели к усилению абразионных процессов, которые спровоцировали активизацию комплекса ЭГП в целом. В то же время уровень активности опасных ЭГП не достиг наблюдавшегося осенью 2013 и 2015 гг.

Повторное нивелирование поверхности пляжа, выполненное в Курортном районе, показало, что за прошедший год существенного разрушения побережья не наблюдается. Отмечена общая тенденция

к перемещению небольшого (около 0.5 м) слоя песчаных наносов из нижней части пляжа к подножью берегового уступа. Заметные изменения коснулись пляжа в пос. Репино, где береговая линия отступила более чем на 40 м, достигнув положения, наблюдавшегося в 2015 г.

Наблюдения за прошедший год вновь показали, что проблема деградации берегов остается чрезвычайно актуальной. Негативные последствия природных процессов усиливаются в результате локальных, научно необоснованных мер по берегозащите, предпринимаемые владельцами прибрежных участков.

Проблема находится в фокусе внимания Комитета по природопользованию, охране окружающей среды и обеспечению экологической безопасности Администрации Санкт-Петербурга. Результаты мониторинга ВСЕГЕИ были использованы при разработке городской Программы берегозащиты. Законодательные и финансовые проблемы, препятствующие ее реализации, обсуждались в докладе зам. председателя Комитета И.А. Серебрицкого на Международном форуме «Финский залив – природная динамика и антропогенное воздействие». В докладе отмечалось, что «разрушение берегов, следствием которой является потеря ценных прибрежных территорий, включая пляжи, снижение их рекреационной значимости, причинение ущерба объектам экономики и инфраструктуры является в настоящее время крайне актуальной проблемой городского хозяйства».

Пункт наблюдений «Южная береговая зона в районе пос. Большая Ижора»

Состав наблюдательной сети. Виды наблюдений

Плановое маршрутное обследование южного берега Финского залива от пос. Лебяжье до пос. Большая Ижора проводилось в мае 2018 г. (рис. 38). Оперативное обследование прибрежной зоны выполнялось после штормов. Суммарная протяженность маршрутов составила 30 км. Выполнено 2 км георадарного профилирования. Работы были сконцентрированы на участках с проявлением опасных ЭГП. Наиболее распространенным видом ЭГП, проявленным в береговой зоне, является комплекс абразионных и эрозионных процессов, приводящий к отступанию уступов и значительной переработке берегов, а также группа обвално-осыпных процессов на западе участка. На участке развития береговых аккумулятивных форм проведена экспериментальная съемка с использованием квадрокоптера.

В субаквальной части пункта наблюдений на площади, примыкающей к аварийному участку бе-

рега с расположенным на нем шоссе Санкт-Петербург–Ручьи, в 2018 г. отобрано пять проб грунтов для изучения их физико-механических свойств, заверки результатов интерпретации ранее выполненного профилирования ГЛБО, уточнения литологической карты и карты-схемы опасных геологических процессов.

В пределах пункта наблюдений «Южная береговая зона Финского залива в районе пос. Большая Ижора» было выполнено повторное инженерно-геологическое описание и отбор проб грунтов на двух опорных разрезах – 18-ЛБР-I, 18-ЛБР-II. На разрезах отобрано 23 образца на гранулометрический анализ, пять монолитов на комплексное изучение физических и физико-механических свойств грунтов и 20 проб для определения естественной влажности. При проведении полевого описания разрезов для глинистых грунтов были измерены показатели сопротивления грунта вращательному срезу и удельное сопротивление пенетрации.

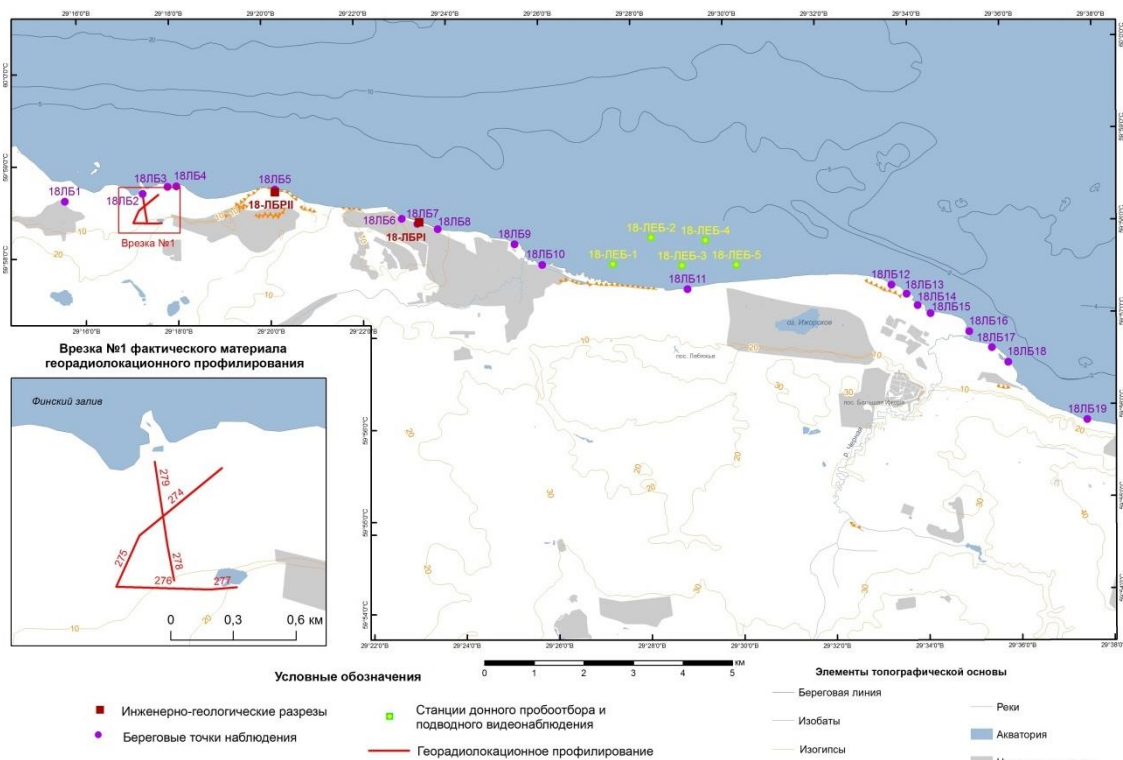


Рисунок 38. Схема фактического материала 2018 г. в пункте наблюдений «Южная береговая зона в районе пос. Большая Ижора»

Результаты мониторинга. Экзогенные геологические процессы

В районе пос. Чёрная Лахта широко развиты процессы зарастания подводного берегового склона водной растительностью. Локально наблюдаются процессы заболачивания низменного моренного побережья (от т. н. 18-ЛБ-1 до т. н. 18-ЛБ-3). Пляжи узкие, сложенные преимущественно грубо- и крупнозернистыми песками. Подстилающие пески моренные суглинки являются водоупором, в результате чего на пляжах наблюдается высачивание грунтовых вод (рис. 39), обогащенных окислами железа. На абразионных участках наличие пластичных суглинков в основании береговых уступов, как правило, способствует усилению размыва вышележащих песчаных голоценовых прибрежно-морских отложений, которыми сложены береговые террасы. В ходе маршрута 2018 г. на пляжах от т. н. 18-ЛБ-1 до т. н. 18-ЛБ-11 фиксировался ледонапорный вал из тростника и песка.

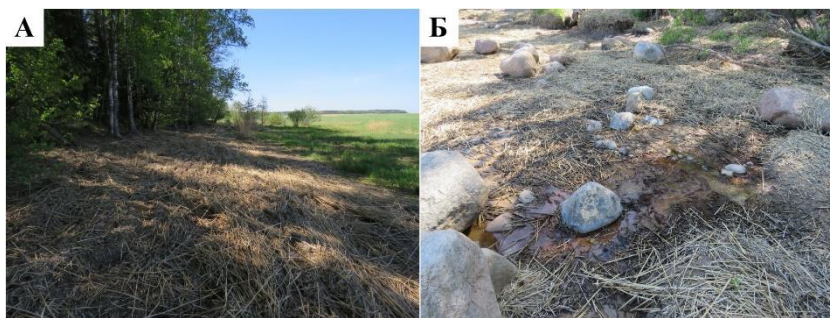


Рисунок 39. Состояние южной береговой зоны восточной части Финского залива на момент обследования: А – Зарастание подводного берегового склона водной растительностью и навалы сухого тростника на пляже в результате надвигания ледовых торосов в т. н. 18-ЛБ-2; Б – высачивание грунтовых вод на пляже в т. н. 18-ЛБ-3

Георадиолокационное профилирование выполнялось в районе пос. Красная Горка, на побережье, развивающимся под активным влиянием волновых процессов – переработки берегов и переноса песчаных наносов. Целью профилирования было выявление особенностей геологического строения побережья и определение мощности неустойчивых к размыву отложений, а также обнаружение структурных нарушений в грунте. Профилирование производилось от современной береговой линии (т. н. 18-ЛБ-2) по приморской низменности через две прибрежно-морские террасы и заходило на отмерший абразионный уступ, выработанный в комплексе моренных и водно-ледниковых отложений.

По результатам геолого-геофизической интерпретации разреза было выделено пять георадарных

комплексов (ГК), в пределах которых цветом выделены зоны, различающиеся по характеру записи, по-видимому, сформированные при немного отличных условиях (рис. 40). Первый (ГК1) комплекс характеризуется крайне низким уровнем зарегистрированного сигнала внутри комплекса и плохо коррелируемым интенсивным отражением от кровли. По геологическим данным эта толща может быть отнесена к моренным отложениям неоплейстоцена, которые широко развиты в этом районе. Практически полное отсутствие отражений внутри комплекса свидетельствует о существенном глинистом составе отложений, слагающих его. Кровля комплекса имеет неровную волнистую поверхность с наличием зон интенсивных отражений, что может быть интерпретировано как эрозионный горизонт, обогащенный валунно-галечным материалом. Второй (ГК2) комплекс перекрывает моренную поверхность в приморской низменности и выклинивается, примыкая к абразионному уступу, выработанному в ГК1 на юге площади профилирования.

ГК2 характеризуется наличием многочисленных наклонных, с падением в северном направлении, осей синфазности сравнительно высокой амплитуды. По характеру записи отложения ГК2 могут интерпретироваться как косослоистые пески, имеющие разнородный состав, с возможным обогащением грубообломочным материалом. По структурным особенностям и направленности залегания слоев данный комплекс можно отнести к прибрежно-морским отложениям. Мощность ГК2 варьирует от 1 до 5 м, утоньшаяся на возвышенностях подстилающего рельефа и увеличиваясь в его впадинах. Третий (ГК3) комплекс аналогичен по физическим свойствам ГК2 и выделяется по структурному несогласию. Граница между комплексами четкая и характеризуется повышением интенсивности сигнала вдоль контакта двух комплексов. Мощность ГК3 на валах не превышает 2 м, а на выровненных участках составляет в среднем около 1 м. Именно в отложениях этого комплекса выработаны две приморские террасы. Расположение внутренних отражающих границ позволяет с уверенностью отнести эти отложения к прибрежно-морским образованиям верхнего голоцена, маркирующим трансгрессивно-регрессивные события этого времени. Четвертый (ГК4) комплекс развит локально и представлен склоновыми обра-

зованиями, развитыми на отмершем клифе, выработанным в водно-ледниковых отложениях. На радарограммах комплекс проявлен серией наклонных осей синфазности, угол падения которых близок к крутизне склона. Его мощность не превышает 1 м. К пятому георадарному комплексу (ГК5), характер

записи в пределах которого схож с ГК2 и ГК3, отнесены современные пляжевые отложения, развитые в прибрежной полосе и образующие небольшой вал вдоль берега. Мощность пляжевых отложений не превышает 0.5 м, достигая 1 м на валу, развитом на границе пляжа и побережья.

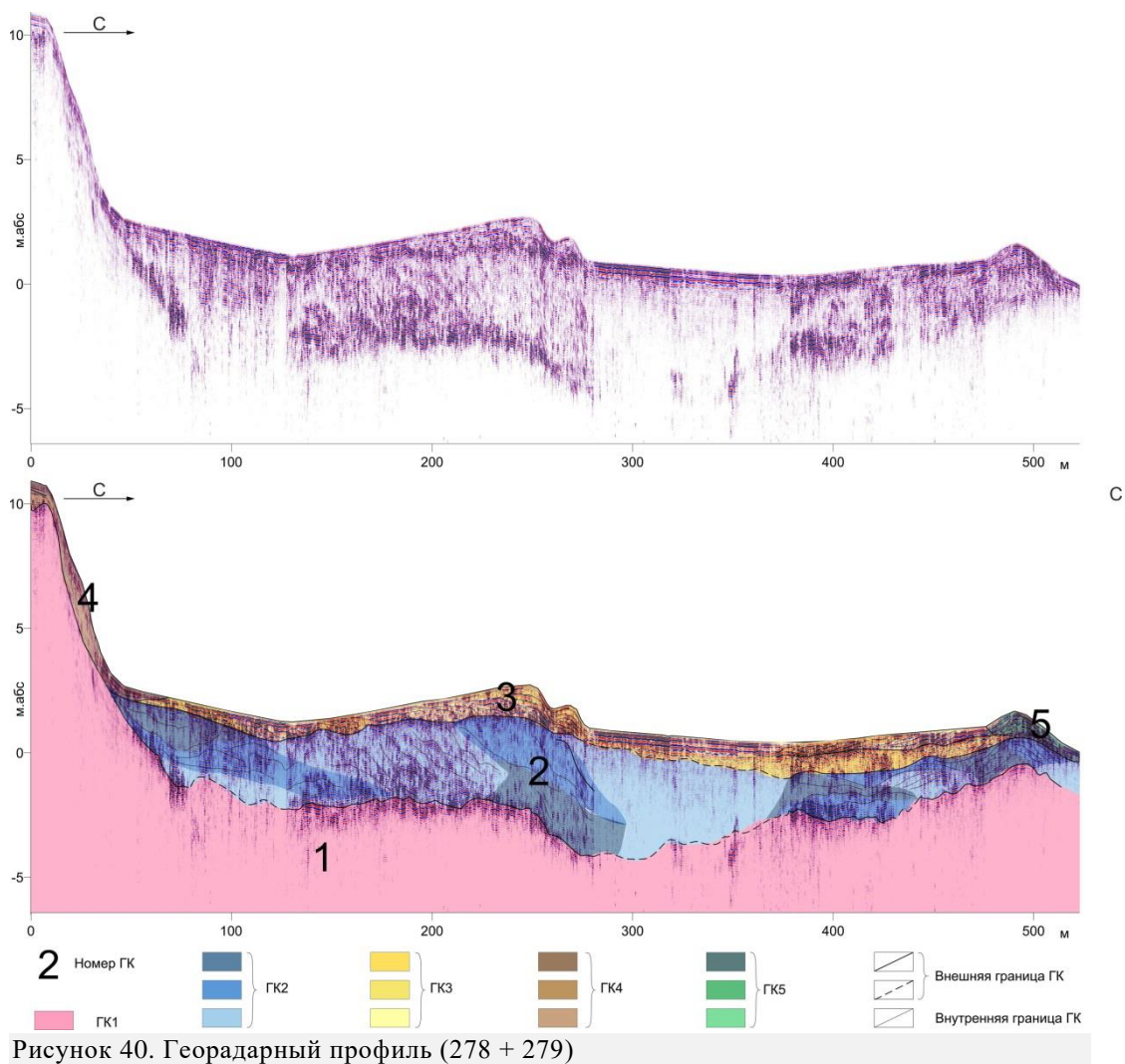


Рисунок 40. Георадарный профиль (278 + 279)

К востоку от пос. Чёрная Лахта наблюдается развитие абразионных процессов с разрушением побережья территории турбазы КМОЛЗ «Янтарный берег» (т. н. 18-ЛБ-3). Расположенные на песчаной литориновой террасе строения турбазы частично нависают над абразионным уступом высотой около 2 м. За прошедший год существенных разрушений берегового уступа не наблюдается, отдельно отмечается падение произрастающих на террасе деревьев на пляж (рис. 41). Вероятно, в условиях малого штормового воздействия за период 2017-2018 гг. на данном участке развитие ЭГП связано, в первую очередь, с осыпанием склона берегового уступа и возможной ледовой абразией.

Постройки турбазы «Янтарный берег» находятся в зоне опасного развития ЭГП.

На участке берега с развитыми осыпными процессами в пос. Форт Красная Горка, где береговые уступы высотой 20-25 м, выработанные в валунных супесях неоплейстоценовых отложений, активно разрушаются под действием абразионных и гравитационных ЭГП, за прошедший год активизация процессов не наблюдалась. С 2017 по 2018 г. не произошло увеличения объемов осыпного материала у подножья склона (рис. 42), однако были отмечены углубления эрозионных врезов, развитых на склоне как в результате эрозионной деятельности поверхностных вод под воздействием

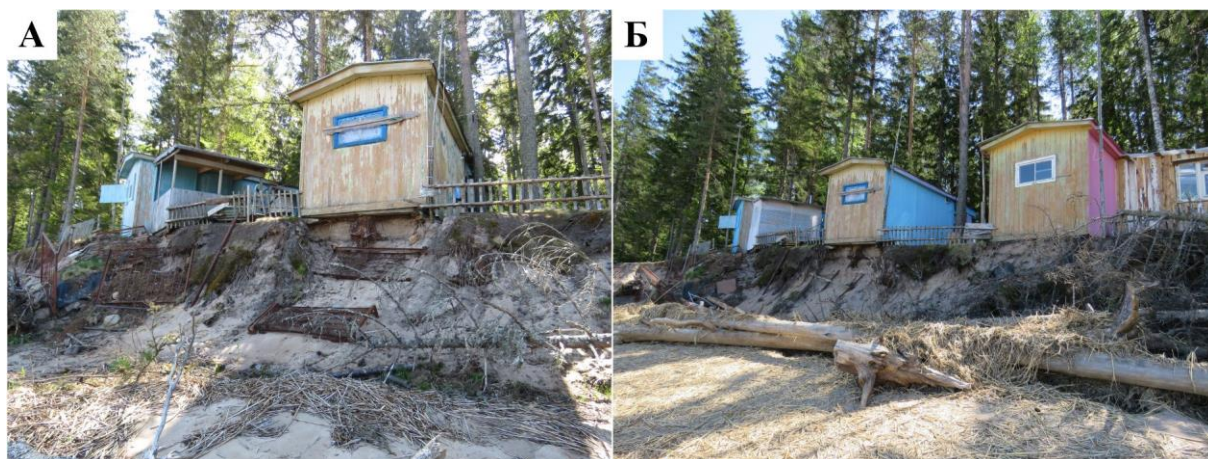


Рисунок 41. Развитие процессов разрушения побережья территории турбазы КМОЛЗ «Янтарный берег» с 2017 по 2018 г.: А – фото 06.07.2017 г.; Б – 24.05.2018 г.

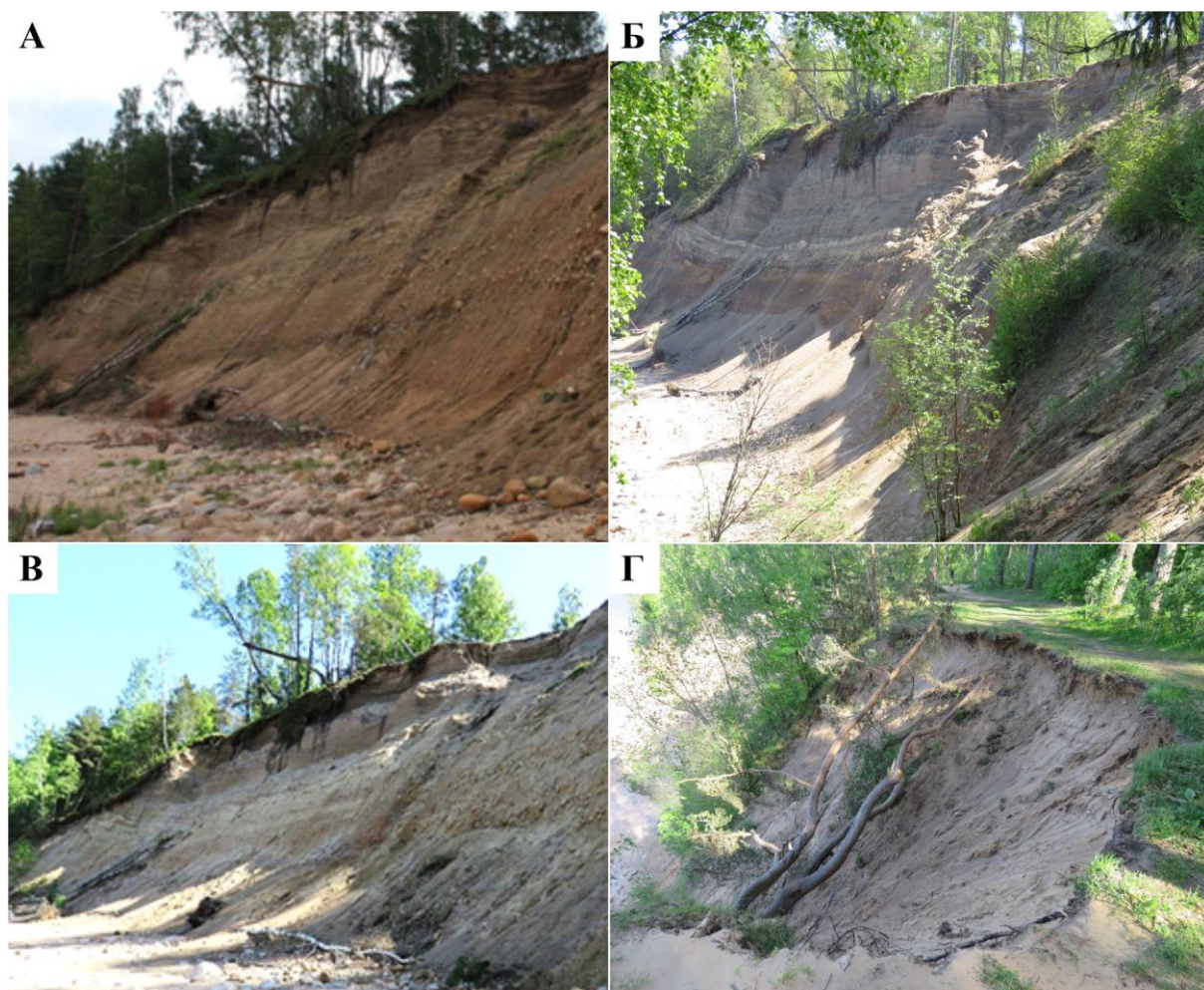


Рисунок 42. Развитие осыпных процессов в основании абразионного уступа района Форты Красная Горка за период с 2016 по 2018 гг.: А – фото 13.07.2016 г.; Б – фото 06.07.2017 г.; В – фото 24.05.2018 г.; Г – фото развития эрозионного вреза

атмосферных осадков, так и за счет выветривания склона. Отмечается обрушение наклоненных деревьев и сползание дерна по склону.

В западной части пос. Лебяжье, в районе Форты Красная Горка, в непосредственной близости абразионно-осыпного берегового уступа расположено дорожное полотно (рис. 43). На участке наблюдается



Рисунок 43. Развитие склоновых процессов вблизи дорожного полотна в районе пос. Форт Красная Горка, т. н. 18ЛББ. Фото 25.05.2018 г.

оползание дерна и кустарниковой растительности. Склон активен в верхней части, что обусловлено, по-видимому, стоком вод атмосферных осадков.

На одном из аварийных участков берега на западе пос. Лебяжье в период между наблюдениями 2017 и 2018 гг. произведены берегозащитные мероприятия частных территорий, расположенных на высокой (около 20 м) береговой террасе (рис. 44). Береговая зона существенно изменилась на этом отрезке берега за период наблюдений с 2013 по 2016 г. Укрепленный берег сохранил свою устойчивость по сравнению с незакрепленным склоном берегового уступа на соседнем участке, однако в результате осуществленного строительства пляж перед волноотбойной стенкой полностью исчез. Прошедшие шторма несколько раз разрушали шпунтованные и габионные сооружения, но оперативное их восстановление позволяло сохранить нетронутым береговой уступ. В 2017 г. начаты работы по укреплению берегового уступа к востоку от защищенного берега.

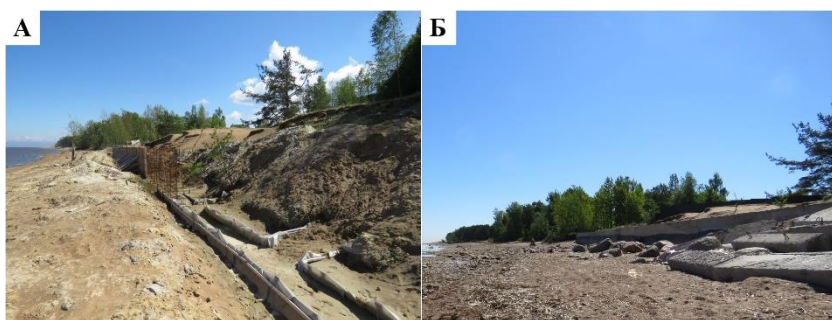


Рисунок 44. Осыпной абразионный уступ на западе пос. Лебяжье: А – начало возведения берегозащиты в 2017 г., фото 06.07.2017 г.; Б – вертикальная волноотбойная стенка, окончательно возведенная в 2018 г., фото 25.05.2018 г.

Сооружения, защищающие песчаную террасу высотой 2-3 м, представляют собой закопанные до уровня воды бетонные блоки, наращенные вверх армированной бетонной стенкой, идущей вровень с террасой. Жесткая конструкция волноотбойной

вертикальной стенки, вероятнее всего, будет подвергаться наибольшему ударному воздействию волн, разрушающихся в береговой зоне. Если проект берегозащиты не подразумевает создание перед стенкой искусственного волногасящего пляжа, то со временем вероятны негативные последствия такого строительства, выражающиеся в разрушении стенки, вымывании грунта из-за нее во время шторма, и полном размыве пляжа перед стенкой. На 2018 г.

стенка возведена полностью. Отсутствие штормов за прошедший период наблюдений не позволяет оценить эффективность сооружений.

Восточнее берегозащитных сооружений наблюдается абразионный берег с активно проявляющимися процессами разрушения береговой террасы, оползанием дерна, обрушением деревьев.

Состояние аварийного участка берега между пос. Лебяжье и пос. Большая Ижора, где шоссе Санкт-Петербург–Ручьи подходит вплотную к береговой зоне, на 2017 и 2018 г. остается стабильным (т. н. 18-ЛБ-11). Склон укреплен в основании гранитными блоками, выше откосы закрыты бетонными плитами. Состояние сооружений на момент наблюдений хорошее, однако подобный вид сооружений привел к полной деградации естественного пляжа. Восточнее прослеживается незакрепленный участок берега с абразионным уступом в песчаной береговой террасе высотой 3 м над уровнем моря (рис. 45).

В результате активизации штормовой активности в сентябре 2018 г. на данном участке произошло максимальное разрушение берегов в результате абразии, что повлекло за собой в свою очередь интенсификацию склоновых процессов (рис. 46).

Таким образом, проведенное летом 2018 г. обследование южного берега Финского залива от пос. Лебяжье до пос. Большая Ижора показало, что существенной переработки берегов волновыми процессами не наблюдалось. В западной части ключевого участка отмечено воздействие на берег ледовых торосов, что

вызвало перемещение тростника и песка в сторону тыловой части пляжа. В районе Форты Красная Горка интенсивное развитие склоновых процессов также не наблюдалось, однако было отмечено



Рисунок 45. Развитие процессов абразии на незакрепленном участке берега вблизи шоссе Санкт-Петербург–Ручьи, фото 25.05.2018 г.



Рисунок 46. Активизация абразионных и осыпных процессов после осенних штормов 2018 г. вблизи аварийного участка шоссе Санкт-Петербург–Ручьи

углубление эрозионных врезов на обнаженных частях склонов и развитие эолового выветривания песчаных отложений, слагающих береговой уступ.

Ситуация изменилась после сентября 2018 г., когда после серии штормов произошла активизация абразионных и обвально-осыпных процессов. На укрепленных аварийных участках берега в пос. Лебяжье наблюдалось стабильное состояние склонов высоких береговых уступов и отсутствие разрушения береговых террас. На участке возведения новых берегозащитных конструкций, представляющих собой волноотбойные стенки, проект берегозащиты должен предусматривать искусственный волногасящий пляж, в ином случае вероятны негативные последствия, выражающиеся в разрушении стенки, вымывании грунта из-за нее во время шторма и полном размыве пляжа перед стенкой.

На участке развития вдольбереговых аккумулятивно-абразионных прибрежно-морских форм в пос. Большая Ижора наблюдается развитие как процессов разрушения берега с обрушением деревьев и кустарников, так и локальным нарастанием песчаных кос, ведущих к занесению фарватера для маломерных судов в устье Чёрной речки.

Анализ космоснимков и GPS-трекинга с 2011 по 2018 г., проведенный на участке берега в пос. Большая Ижора, показывает, что развитие ЭГП продолжается. Выделяются участки активной абразии и

смещения береговой линии в сторону суши, также сохраняются участки повышенной аккумуляции с образованием песчаных кос, в том числе вблизи устья р. Чёрная с занесением ее фарватера. Направленность смещения береговой линии остается прежней с устойчивым трендом в восточном направлении (рис. 47).

Береговая зона на этом участке устойчиво развивается по принципу «вдольбереговых песчаных волн», идущих полосой вдоль берега шириной около 100 м. Эта полоса берега является самой динамичной зоной волновой переработки. К западу от устья р. Чёрная смещение песчаного выступа берегового контура на восток с 2011 г. по 2018 г. достигло 180 м, что в среднем составляет около 25 м в год. Крупная песчаная

коса, надвигающаяся на устье р. Чёрная с запада, в корневой части была размыва за 7 лет на 56 м, что в среднем составляет 8 м в год. За этот период ее дистальная часть выдвинулась более чем на 90 м. Такие же темпы береговой динамики наблюдаются для песчаной косы, расположенной к востоку от устья.

Охарактеризованный участок берега обладает повышенной скоростью трансформации берегового контура по сравнению с соседними. Учитывая высокую для Финского залива степень переработки берегов в пос. Большая Ижора, данный участок берега следует рассматривать как потенциально опасный для ведения любого вида деятельности в исследуемой береговой зоне. Любое ведение хозяйственного освоения на данном отрезке береговой зоны требует детального анализа развития ЭГП с учетом береговой литодинамики.

На берегу в пос. Лебяжье на незакрепленном аварийном участке берега «57 км шоссе Санкт-Петербург–Ручьи» проводилось повторное нивелировочное профилирование с целью определения интенсивности проявления абразионных процессов за последние годы. Наблюдения по профилю 18-ПРЛ-2 показывают, что положение бровки абразионного уступа с 2014 г. по 2017 г. оставалось без изменений, в 2018 г. абразионные процессы привели к деградации берегового уступа и смещению его в сторону шоссе на 5.5 м (рис. 48).

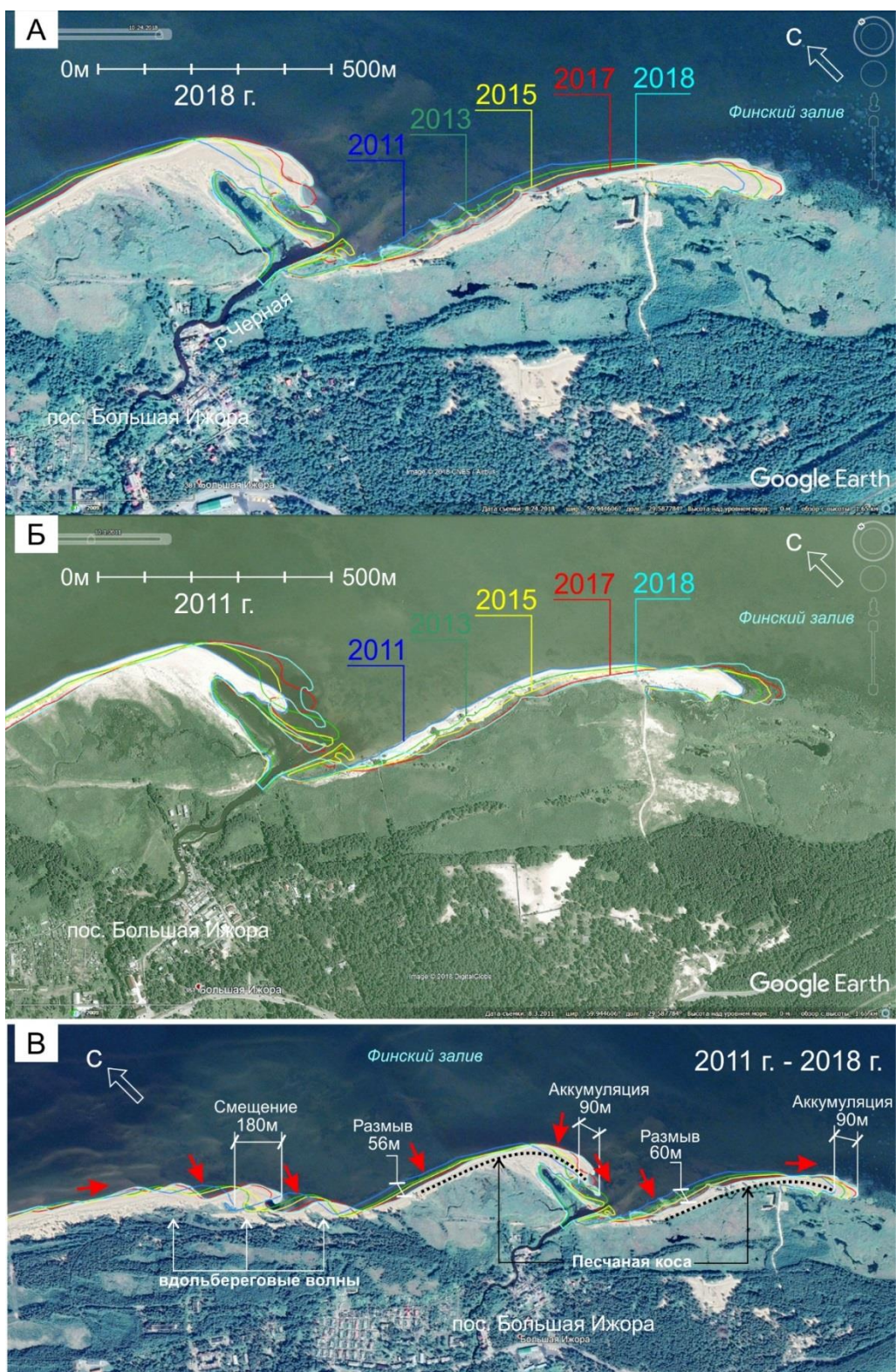


Рисунок 47. Анализ изменения береговой линии в пос. Большая Ижора с 2011 по 2018 г.: А – космоснимок 2018 г.; Б – космоснимок 2011 г.; В – интервалы смещения береговой линии с 2011 по 2018 г., стрелками указаны направления смещения

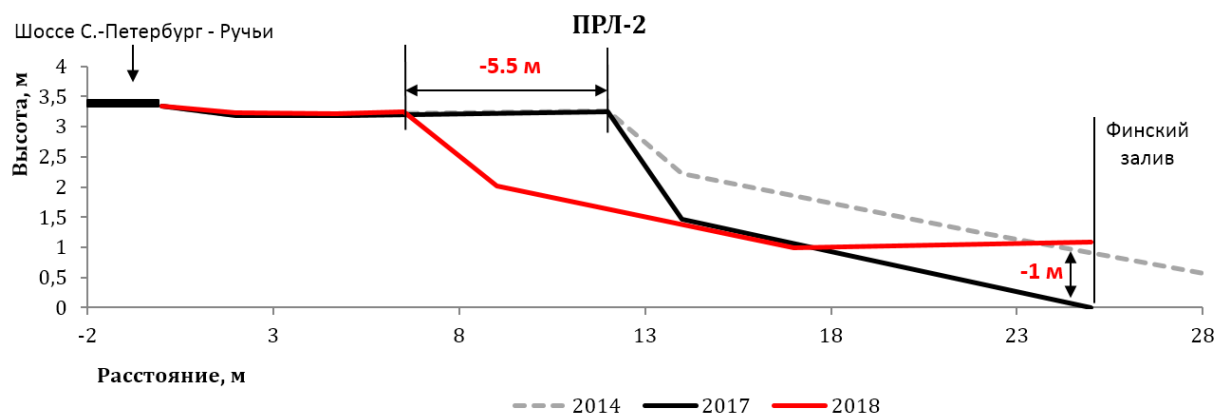


Рисунок 45. Изменение поперечного профиля пляжа № ПРЛ-2 в пос. Лебяжье

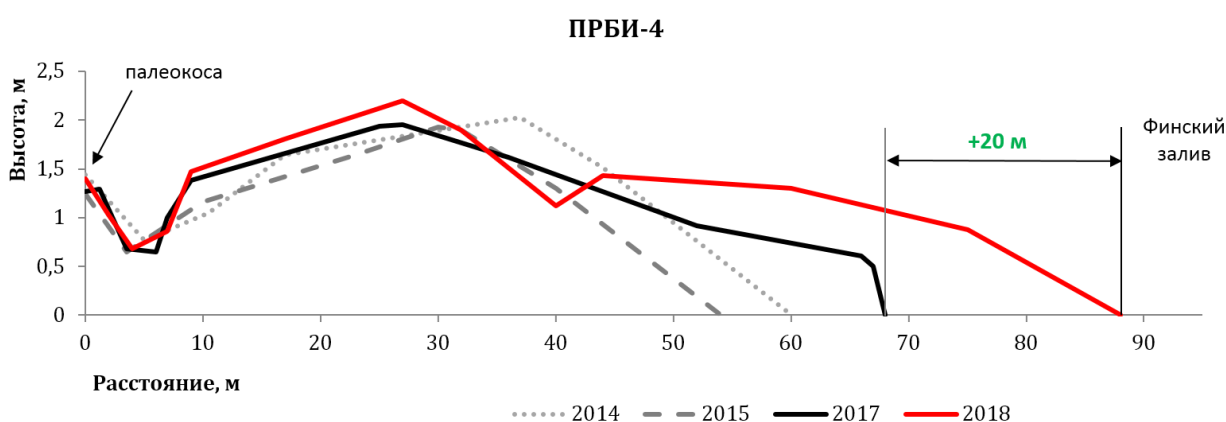


Рисунок 46. Изменение поперечного профиля пляжа № ПРБИ-4 в пос. Большая Ижора

Абразионный участок берега на всем протяжении находится в аварийном состоянии и требует принятия мер по его укреплению. Инструментальное наблюдение показывает, что за один год береговая терраса может сократиться более чем на 5 м. Учитывая, что расстояние до дорожного полотна составляет 6 м, при неблагоприятных условиях шоссе может быть разрушено уже в следующем году.

Нивелировочные профили, выполненные на динамичном участке берега в пос. Большая Ижора, отличаются пульсационным характером изменения: в течение нескольких лет направленность смещения берегового контура может меняться с положительной на отрицательную и наоборот. Профиль, выполненный по линии ПРБИ-4, с 2014 по 2015 г. находился на абразионном участке берега, скорость отступления берега составляла до 6 м в год; к 2017 г. тенденция изменилась на положительную, нарастание пляжа составило +14 м относительно 2015 г. Предположение о положительной динамике на данном отрезке берега, выдвинутое в

2017 г., подтвердилось (рис. 49). К 2018 г. произошло нарастание песчаного пляжа на 20 м, с увеличением мощности пляжевых наносов на 0,5 м. Ретроспективный анализ космоснимков также подтверждает установленную положительную динамику. Выявленная положительная тенденция, по видимому, будет сохраняться на протяжении нескольких лет.

Измерения по профилю № ПРБИ-6, выполненные в 2014, 2015 и 2017 гг., показывают, что на данном участке берега в настоящее время наблюдаются процессы расширения берегового вала (пляжа) и увеличение его мощности на 0,5 м с 2015 по 2017 г. Ранее (2014 – 2015 гг.) отмечался размыв пляжа и смещение песчаного вала в сторону лагуны, расположенной за валом. В 2018 г. продолжается перемещение песчаных наносов в сторону берега, отступление берега за последний год достигло 3 м (рис. 50). При этом отмечается общее выполаживание профиля пляжа и постепенное изменение его выпуклого профиля на выровненное; относительно 2017 г. береговая линия выдвинулась

в сторону залива на 2.5 м. Положительная динамика последних лет наблюдений обусловлена поступлением песчаного материала с соседнего участка берега (с запада) в виде песчаной вдольбереговой волны, нарастающая часть которой прикнула к ранее абразионному участку берега. Вероятнее всего, в ближайшие годы подобная тенденция сохранится, что окажет положительный эффект на сохранность берега на этом участке.

На абразионно-осыпном склоне в западной части пос. Красная Горка (в районе форта) было выполнено детальное инженерно-геологическое обследование разреза 18-ЛБР-II (рис. 51 – 53). Высота уступа 25 м. В гранулометрическом составе отложений преобладают пески различного грануломет-

рического состава, подчиненное положение занимают прослой супесей и грубообломочных отложений (гравий, галька, мелкие валуны).

Сопоставление с наблюдениями 2017 г. (рис. 53) показало, что верхний край уступа существенно отступил. Особенно это заметно в местах, где из-за отсутствия оборудованных спусков люди спускаются к урезу воды по склону. В результате этого в верхней части уступа происходит локальное обрушение отложений. Для дальнейшего отслеживания изменений на этом участке были проведены замеры расстояния от края склона до крупных деревьев, которые используются как реперные точки. Верхняя часть уступа, как и весь склон, подвержена воздействию дождевых и талых вод. На участке разреза это особенно заметно, так как прослеживается отчетливый врез, по которому выносятся материал.

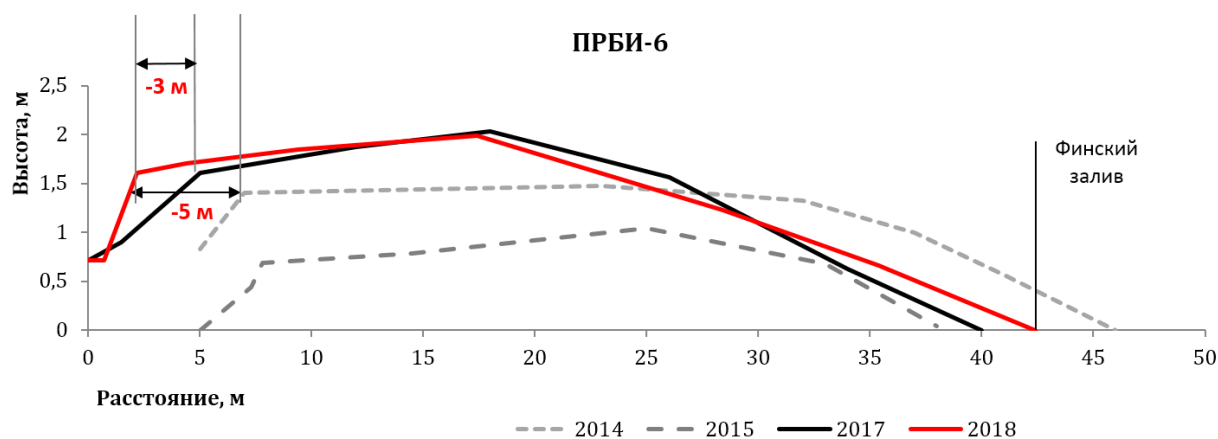


Рисунок 50. Изменение поперечного профиля пляжа № ПРБИ-6 в пос. Большая Ижора



Рисунок 47. Общий вид обнажения у Форта Красная Горка

Профиль 18-ЛБР-II (2018 г.)
у пос. Лебяжье, форт «Красная горка» (59,97720°с.ш., 29,33638°в.д.)

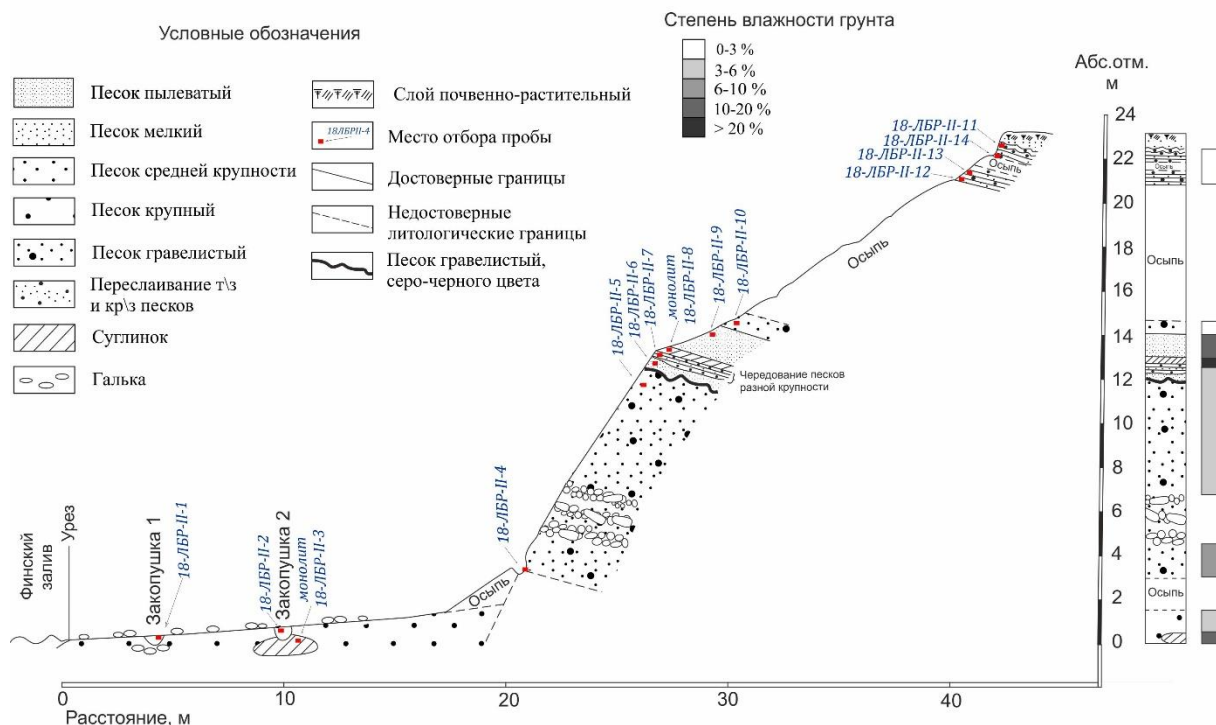


Рисунок 48. Разрез 18-ЛБР-II (2018 год)

Профиль 17-ЛБР-II (2017 г.)
у пос. Лебяжье, форт «Красная горка» (59,97720°с.ш., 29,33638°в.д.)

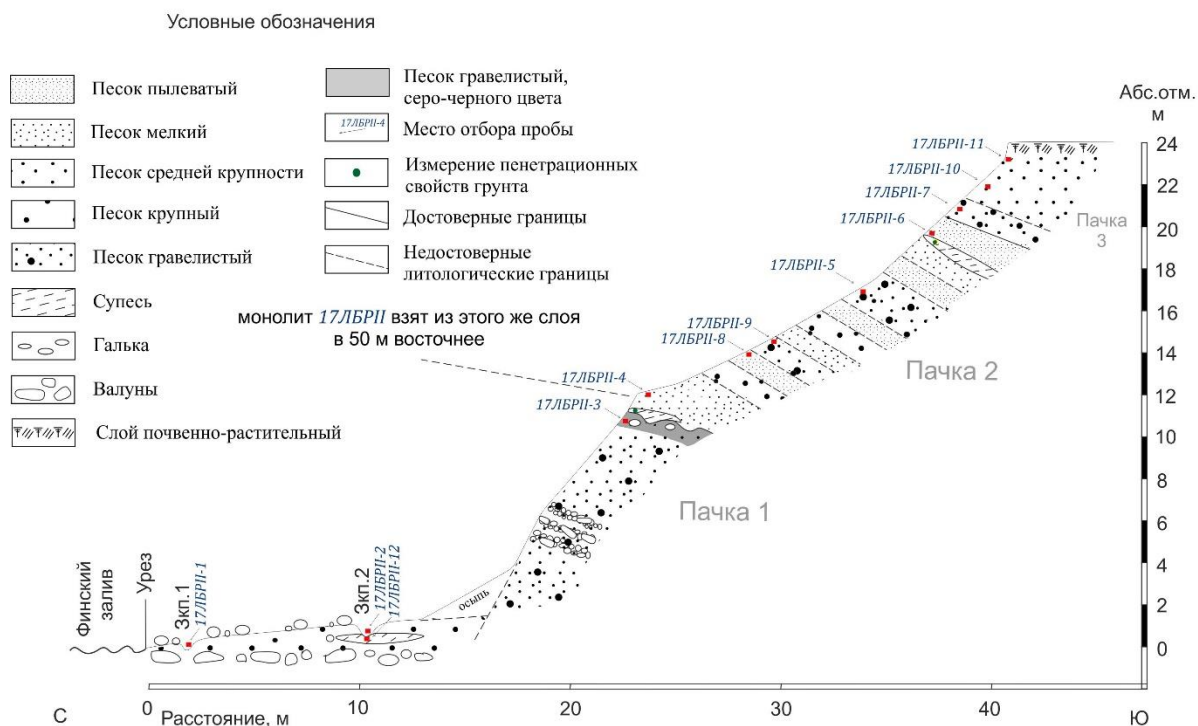


Рисунок 49. Разрез 17-ЛБР-II (2017 год)

По всей ширине пляжа (17 м) встречаются окатанные валуны различного размера (до 1 м в диаметре). В стенке обнажений средний размер валунов меньше, чем на пляже. Во время работы на обнажении сверху вниз по склону активно осыпается песок и небольшие камни, что связано с воздействием сильного ветра, дуящего с моря.

Нижняя часть уступа до перегиба представлена в основном коричневым гравийным песком со следами ожелезнения, с небольшим количеством глинистого наполнителя (глинистые примазки). Во всей толще встречаются валуны диаметром до 40 см и галька. Наиболее отчетливо выражены 3 прослоя. Залегают почти горизонтально. Между валунами небольшие линзы глинистых отложений (до 10 см). Рассеянные по всей толще валуны мельче, чем в прослоях.

Верхняя часть уступа сложена преимущественно песчаными отложениями, подчиненное значение имеют тонкие прослои глинистых пород. По некоторым из них высачивается влага, что, очевидно, во время дождей и таяния снега оказывает большое влияние на устойчивость склона. Толща над перегибом имеет меньший угол откоса, что объясняется более рыхлым состоянием песчаных отложений и меньшим количеством цементированных плотных пород.

В самой верхней части уступа – на участке, недоступном для зачистки склона, видны прослои валунно-галечного материала.

Второй исследованный разрез (18-ЛБР-1) в пределах пункта наблюдений, на котором выполнялись инженерно-геологические обследования, расположен на абразионно-осыпном склоне в пос. Лебяжье (рис. 54 – 56). Высота уступа 17 м. Существенных изменений за прошедший год склон не претерпел. Визуально значительные отличия не зафиксированы. Разрез представляет собой крутой обрыв, протягивающийся вдоль уреза воды. Склон практически полностью покрыт оплывшими породами. Ширина пляжа составляет 22 м. На момент наблюдений, по сравнению с данными 2017 г., она увеличилась почти на 10 м. Вероятно, это было связано со снегом воды, вызванного ветрами южных и восточных румбов. Пляжевая ступень покрыта слоем пород глинистого состава, очевидно, оплывших с верхних слоев. Присутствуют валуны диаметром до 0.5 м. С запада в результате размыва

шлейфа оползневых отложений формируется небольшая коса. На рассматриваемом участке склон не задернован. Нижняя часть уступа сложена тонко- и мелкозернистыми песками коричневого цвета. В некоторых местах видны небольшие глинистые примазки и следы ожелезнения (наибольшая концентрация вблизи границы песка и слоя оплывших сверху глинистых отложений, перекрывающих большую часть уступа). В толще над песками преобладают отложения глинистого состава. Контакт между тонкозернистым песком и серыми супесями четкий, изломанный, неровный, со следами ожелезнения.

В верхней части уступа супесь сменяется хаотично переслаивающимся песчаниками, глинистыми породами, валунами и галькой. В толще серо-коричневых песчаников встречаются незначительные по мощности прослои и линзы песка и суглинка. Контакты прослоев и линз, как правило, постепенные и нечеткие. В самой верхней части – цементированный песчаник со следами оползания, трещиноватый, выветрелый с включениями валунов и гальки диаметром до 20 см и глинистым наполнителем (прослои и линзы). Углы склона в этой части разреза наиболее крутые, это связано с высокой плотностью и цементацией отложений. Влажность наполнителя от подножия до верха уменьшается, вероятно, из-за грунтовых вод.

Исследуемые уступы достигают максимальной высоты (до 25 м) и крутизны в восточной части Финского залива. На рассматриваемом участке в наиболее концентрированном виде наблюдается комплекс всех опасных ЭГП, зафиксированных в береговой зоне. Комплекс осыпных, обвальных и оползневых процессов периодически активизируется под воздействием дождевых и талых вод, в результате чего происходит перемещение масс грунта вниз по склону. В пределах пляжевой ступени формируются шлейфы склоновых накоплений. Триггером начала следующего цикла склоновых процессов является волновая абразия, так как ширина пляжа недостаточна, чтобы ослабить воздействие волн на основание уступа. Дополнительным негативным фактором является антропогенное воздействие – прежде всего, активное перемещение людей по склонам, вызывающее осыпание пород и уменьшающее устойчивость склона в целом.

Профиль 17-ЛБР-I (2017 г.)
Пос.Лебяжье (59,97083°с.ш.,29,38806°в.д.)

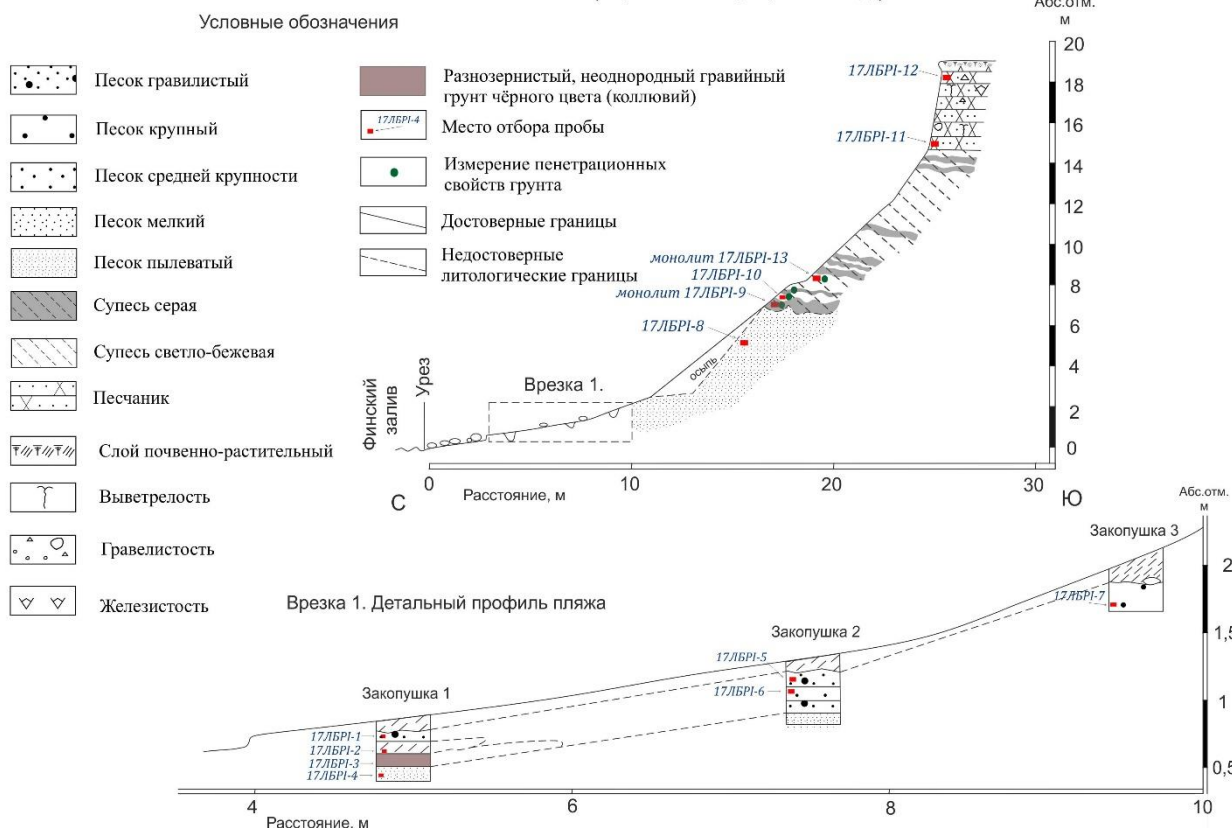


Рисунок 50. Разрез 17-ЛБР-I (2017 год)

Профиль 18-ЛБР-I (2018 г.)
пос.Лебяжье, (60,15292°с.ш.,29,89747°в.д.)

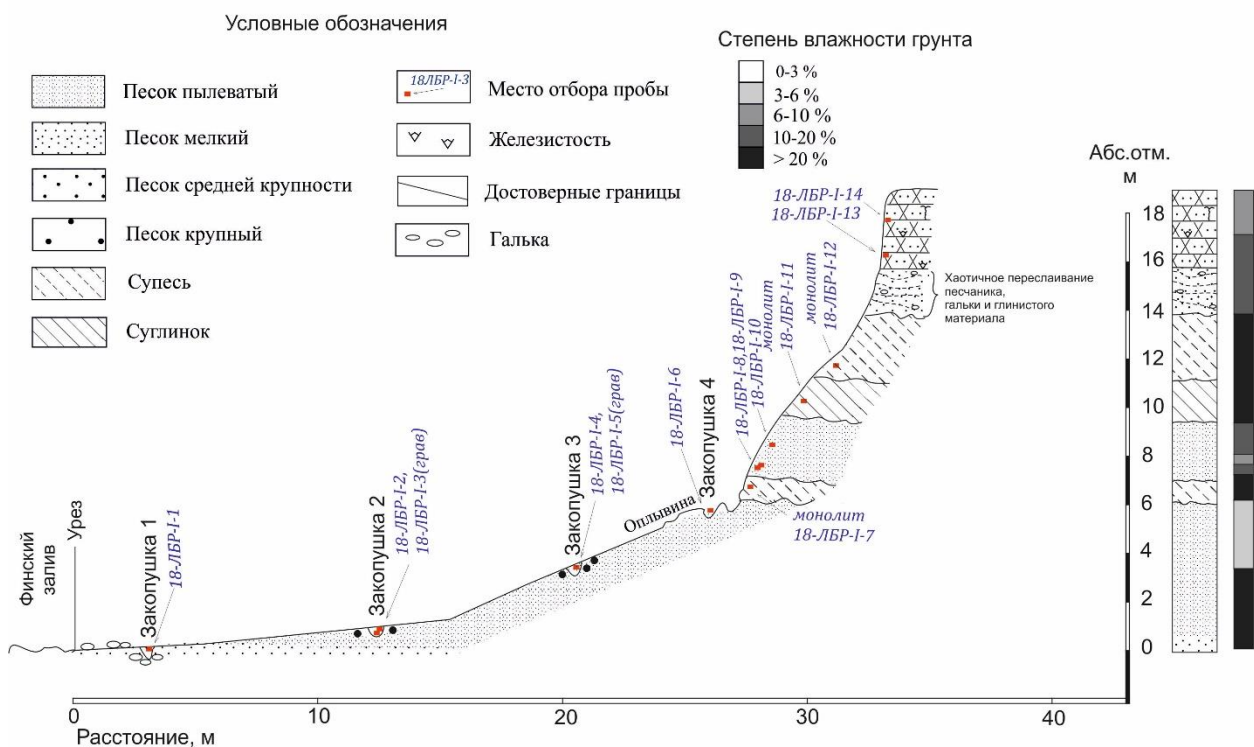


Рисунок 51. Разрез 18-ЛБР-I (2018 год)



Рисунок 52. Общий вид обнажения в пос. Лебяжье по линии разреза в 2017 г.

Выводы по состоянию геологической среды в пункте наблюдений «Южная береговая зона в районе пос. Большая Ижора»

Проведенное обследование южного берега Финского залива от пос. Лебяжье до пос. Большая Ижора показало, что в весенне-летний период существенная переработка берегов волновыми процессами не отмечалась. В западной части пункта наблюдений отмечено воздействие на берег ледовых торосов, что вызвало перемещение тростника и песка в сторону тыловой части пляжа. В районе Форта Красная Горка интенсивного развития склоновых процессов не наблюдались, однако отмечалось углубление эрозионных врезов на обнаженных частях склонов и развитие эолового выветривания песчаных отложений, слагающих береговой уступ.

На укрепленных аварийных участках берега в пос. Лебяжье летом наблюдалось стабильное со-

стояние склонов высоких береговых уступов и отсутствие разрушения береговых террас. На участке возведения новых берегозащитных конструкций, представляющих собой волноотбойные стенки, проект берегозащиты должен предусматривать искусственный волногасящий пляж, в ином случае вероятны негативные последствия, выражающиеся в разрушении стенки, вымывании грунта из-за нее во время шторма и полном размыве пляжа перед стенкой.

Ситуация изменилась после серии штормов сентября 2018 г., когда произошла резкая активизация абразионных и обвальнo-осыпных процессов.

На участке развития вдольбереговых аккумулятивно-абразионных прибрежно-морских форм в пос. Большая Ижора наблюдается развитие как процессов разрушения берега с обрушением деревьев и кустарников, так и локальным нарастанием песчаных кос, ведущих к занесению фарватера для маломерных судов в устье Чёрной речки.

Пункт наблюдений «Копорский залив»

Состав наблюдательной сети. Виды наблюдений

Основной задачей работ в пункте наблюдений «Копорский залив» было исследование динамики развития кольцевых структур (покмарков) на поверхности дна в зоне предположительной подводной разгрузки подземных вод. В 2018 г. выполнена сеть профилей ГЛБО (25 профилей общей протяженностью 50 км), покрывающая зону наибольшего скопления покмарков и позволяющая оценить газово-флюидные проявления в различных фациальных зонах участка (рис. 57).

Для уточнения геологического строения участка и генезиса покмарков пройдено 10 профилей НСАП общей протяженностью 40 км. Для определения физических и физико-механических

свойств грунтов выполнено 10 станций отбора проб грунтов. На 10 станциях осуществлен комплексный отбор проб грунтов и придонных вод для изучения газовой составляющей грунтов, выявления возможных геохимических и гидрохимических аномалий, обусловленных проявлениями газо-флюидной разгрузки, и определения физико-механических свойств грунтов. На этих станциях были отобраны 20 проб поверхностных грунтов для определения физических и физико-механических свойств, 9 проб грунтов для определения газового состава, 20 проб грунтов для определения химического состава, 5 проб придонной воды. Пробы грунта отбирались как внутри покмарков, так и вне их. Выполнено три станции фототелепрофилирования.

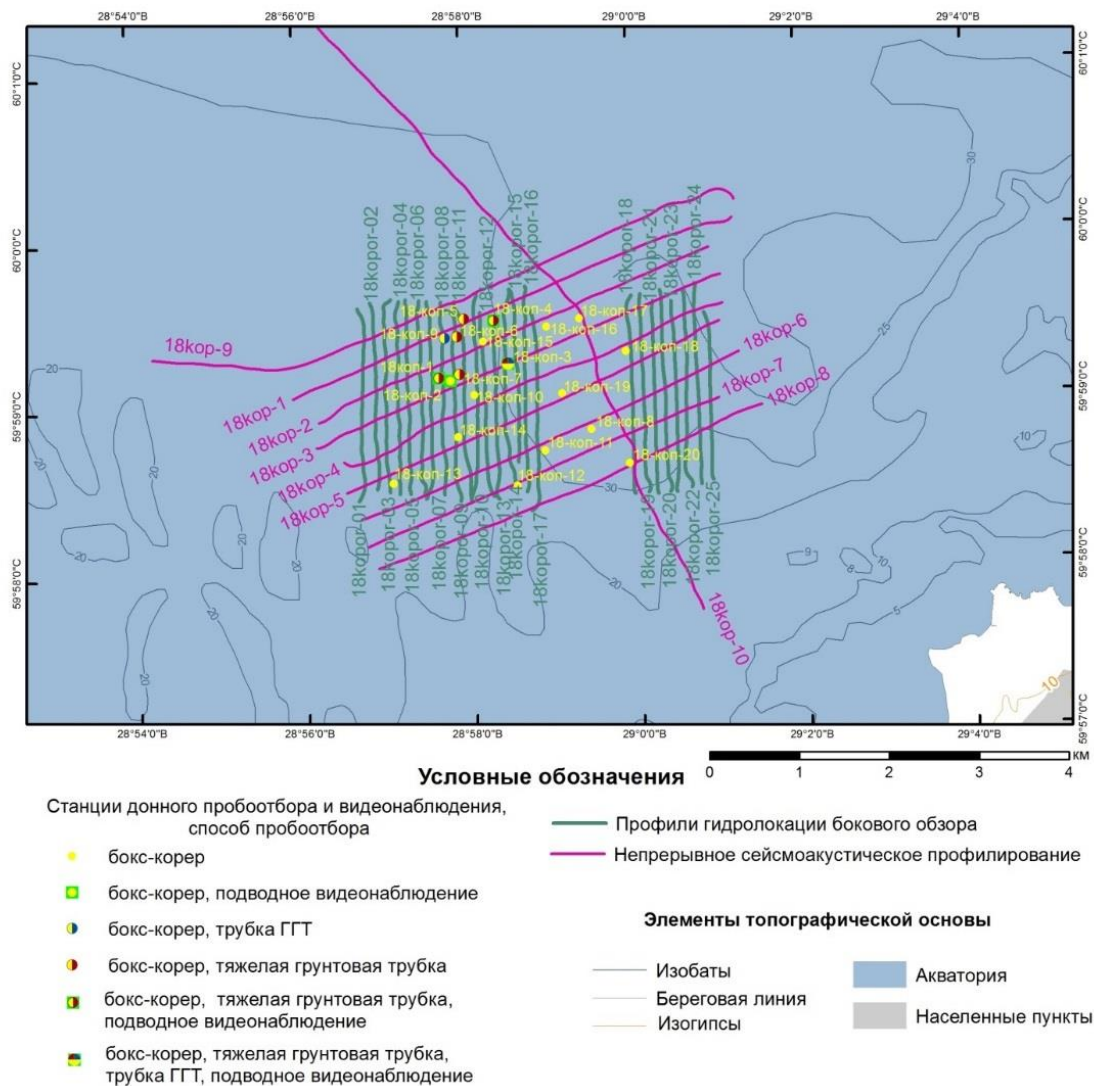


Рисунок 53. Карта фактического материала полевых работ, выполненных в пункте наблюдений «Копорский залив» в 2018 г.

Экзогенные геологические процессы

В предыдущие годы мониторинга для данного пункта наблюдений были выполнены съемки ГЛБО и многолучевым эхолотом, позволившие выявить и закартировать поле покмарков. Как и ранее, в 2018

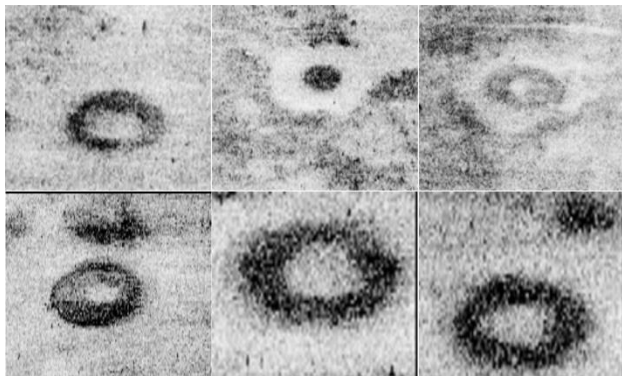


Рисунок 54. Покмарки различных генераций (диаметр от 8 до 16 м по внешнему контуру) на сонораграммах (пункт наблюдений «Копорский залив», 2018 г.)

году на площади пункта наблюдений зафиксированы многочисленные покмарки диаметром от первых метров до 15-18 м. На рис. 54 показаны примеры покмарков, выявленные при проведении профилирования методом ГЛБО в 2018 г.

Сопоставление записей отдельных профилей ГЛБО показывает унаследованность, по крайней мере, зон скоплений покмарков (рис. 55). На записях НСАП (профили 18кор-1 и 18кор-9), полученных по северной периферии пункта наблюдений, довольно отчетливо прослеживаются приповерхностные отрицательные микроформы рельефа, перекрытые и сnivelированные с поверхности современными донными осадками. Глубина таких микроформ рельефа достигает 1-1.5 м, а диаметр – 20-30 м (рис. 56). Можно предположить, что и эти, недавно погребенные формы микрорельефа, представляют собой реликтовые покмарки. На профилях НСАП в остальной части полигона выявлены аналогичные формы рельефа, но встречаются они в единичных количествах.

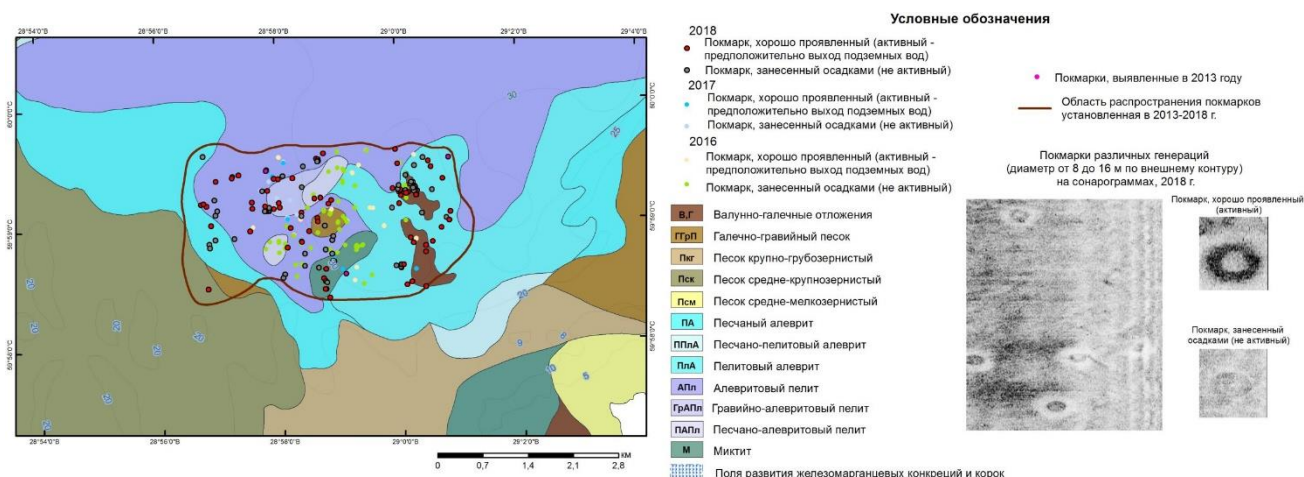


Рисунок 55. Распределение покмарков на поверхности дна в пределах пункта наблюдений «Копорский залив», установленное по результатам ГЛБО профилирования в 2016-2018 гг.

промоины (?), перекрытые современными осадками

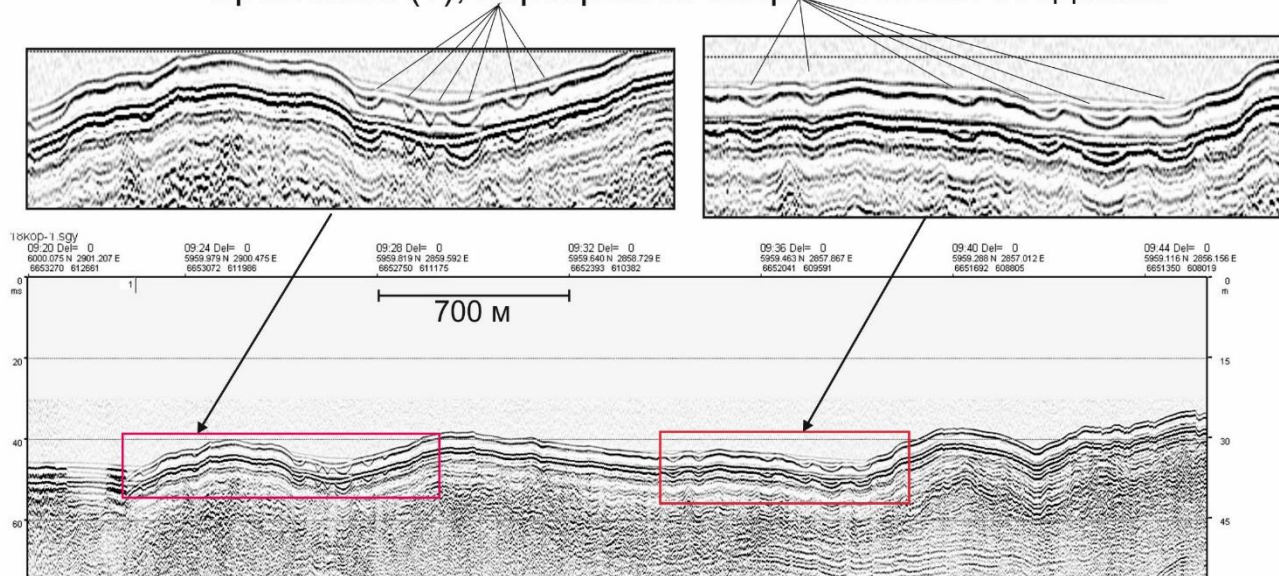


Рисунок 56. Профиль НСАП 18kop-1 с погребенными промоинами («реликтовыми покмарками» (?))

В составе поверхностных грунтов в пределах поля развития покмарков преобладают песчаные алевриты и алевропески (супеси, пески пылеватые). Преимущественно эти грунты представляют собой покровные или палимпсестовые образования, развитые по размываемым отложениям Балтийского ледникового озера. В зависимости от глубины размыва этих отложений изменяется и состав покрова, так как вниз по разрезу ледниково-озерных отложений увеличивается доля алевро-песчаной составляющей. Локально на поверхности дна распространены маломощные алевропелитовые илы (обычно не более 50-60 см), обогащенные органикой. Физико-механические свойства грунтов с глубиной меняются довольно хаотично, нет ярко выраженной закономерности. Плотность грунтов в точке 18-коп-3т немного ниже, чем в двух других, и колеблется в пределах 1.4-1.55 г/см³, как и консистенция (около 3). В точке 18-коп-7т максимальная плотность грунта достигает 1.62 г/см³ на глубине 167-190 см. Консистенция колеблется в пределах 1.8-3. Испытания на сопротивление срезу лабораторной крыльчаткой показали, что наименьшие показатели установлены у грунтов в точке пробоотбора 18-коп-3-т.

Газогеохимические исследования

При изучении закономерностей распределения метана и его гомологов в донных отложениях пункта наблюдения «Копорский залив» использовались результаты работ как 2018, так и 2013 г.

Определения метана и его гомологов в 2018 г. приведены в таблице 2, результаты гидрохимических исследований – в таблице 3, статистические параметры распределения концентраций метана и его гомологов в таблице 4.

Изотопные исследования являются основным методическим подходом к исследованию генезиса и источников газов в природных системах. Соотношения стабильных изотопов углерода ¹³C и ¹²C изменяются в зависимости от условий образования метана и углекислого газа (минеральная матрица, тип рассеянного органического вещества, глубина, температура, в том числе влияние магматических и вулканических очагов и др.) [Шакиров и др., 2012]. Из результатов измерений и теоретических расчетов известно, что углерод метана изотопически утяжеляется (растет величина ¹³C) по мере увеличения глубины его генерации.

В свою очередь доказано, что углерод метана, поднимаясь в верхнюю часть осадочной толщи, характеризуется уменьшением доли ¹³C за счет процессов фракционирования в ходе окислительно-восстановительных реакций и смешения с микробальным газом [Шакиров и др., 2012; Matsumoto, 2011]. Диагностическими признаками различных генетических типов метана являются такие параметры, как значение изотопного состава углерода $\delta^{13}\text{C}(\text{CH}_4)$, содержание суммы гомологов метана, соотношение содержания метана (C1) к сумме его гомологов (C2).

Таблица 2. Концентрации метана и его гомологов в донных грунтах пункта наблюдения «Копорский залив» (ppm в воздушном зазоре)

Проба	Метан CH ₄ (C1)	Этан C ₂ H ₆	Этилен C ₂ H ₄	Пропан C ₃ H ₈	Пропилен C ₃ H ₆	i-бутан i-C ₄ H ₁₀	n-бутан n-C ₄ H ₁₀	Бутен-1 C ₄ H ₈	i-бутилен i-C ₄ H ₈	i-пентан i-C ₅ H ₁₂	n-пентан n-C ₅ H ₁₂	Σ гомологов (C2)	C1/C2*
18-коп-3т-1 забой	26.86	0.31	0.56	0.22	0.19	0.09	0.13	0.03	0.11	0.33	0.11	2.09	12.9
18-коп-3т-2 верх	29.77	0.28	1.04	0.23	0.46	0.10	0.13	0.07	0.35	0.31	0.06	3.02	9.9
18-коп-4т-1 забой	21.93	0.18	0.41	0.12	0.15	0.07	0.08	0.02	0.21	0.17	0.06	1.47	14.9
18-коп-4т-2 верх	103.02	0.21	0.71	0.10	0.42	0.08	0.06	0.04	0.12	0.20	0.03	1.99	51.8
18-коп-5т верх	28.87	0.13	0.49	0.07	0.19	0.03	0.06	0.04	0.19	0.42	0.03	1.64	17.6
18-коп-6т-1 забой	161.94	0.46	0.55	0.14	0.22	0.09	0.04	0.07	0.19	0.42	0.04	2.22	72.9
18-коп-6т-2 верх	12.46	0.12	0.75	0.10	0.41	0.04	0.07	0.04	0.15	0.10	0.06	1.84	6.8
18-коп-7т-1 забой	14.95	0.26	0.71	0.26	0.32	0.11	0.16	0.03	0.15	0.34	0.11	2.46	6.1
18-коп-7т-2 верх	8.02	0.15	0.83	0.13	0.39	0.02	0.03	0.04	0.21	0.16	0.04	2.01	4.0
18-коп-9н-2	26213.4	0.33	1.13	2.43	0.43	0.17	0.76	0.04	0.42	0.38	0.18	6.25	4193.8

C1/C2* – соотношение содержания метана (C1) к сумме содержания его гомологов (C2)

Таблица 3. Сопоставление средних медианных концентраций химических элементов в придонной воде в кратерах покмарков и фоновых пробах (ppm)

B	Na	Mg	K	Ca	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	As	Sr	Cd	Ba	Pb	U
Фоновые воды															
321.3	910883	118233.3	36366.6	33000	0.15	0.02	0.64	1.44	2.67	0.61	787.3	0.04	20.03	0.28	0.11
Придонные воды покмарков															
369.0	1108300	143000.0	37600.0	36400	0.40	0.03	0.81	1.52	1.93	0.80	931.0	0.03	20.50	0.31	0.06

Таблица 4. Статистические параметры распределения метана и его гомологов в донных грунтах пункта наблюдения «Копорский залив» (ppm в воздушном зазоре)

	N	Среднее арифметическое	Среднее медианное	Минимум	Максимум	Стандартное отклонение
CH ₄	9	45.31	26.86	8.02	161.94	52.11
C ₂ H ₆	9	0.23	0.21	0.12	0.46	0.11
C ₂ H ₄	9	0.67	0.71	0.41	1.04	0.19
C ₃ H ₈	9	0.15	0.13	0.07	0.26	0.07
C ₃ H ₆	9	0.30	0.32	0.15	0.46	0.12
i-C ₄ H ₁₀	9	0.07	0.08	0.02	0.11	0.03
n-C ₄ H ₁₀	9	0.09	0.07	0.03	0.16	0.05
C ₄ H ₈	9	0.04	0.04	0.02	0.07	0.02
i-C ₄ H ₈	9	0.19	0.19	0.11	0.35	0.07
i-C ₅ H ₁₂	9	0.27	0.31	0.10	0.42	0.12
n-C ₅ H ₁₂	9	0.06	0.06	0.03	0.11	0.03

Диапазон границ $\delta^{13}\text{C}$ для метана различного генезиса остается дискуссионным. По данным Э.М. Прасолова (1990), близповерхностный «биогенный» метан, образующийся за счет жизнедеятельности микробов в современных условиях, является наиболее изотопно легким. Величина $\delta^{13}\text{C}$ в этом случае варьирует в интервале (от -90 до -60 ‰). Газовые залежи характеризуются более тяжелым изотопным составом метана. Величина $\delta^{13}\text{C}$ для различных типов месторождений углеводородов, как правило, варьирует в интервале (от -55 до -35 ‰). Изотопный состав высокотемпературного глубинного метана меняется в интервале $\delta^{13}\text{C}$ (от -25 до -15 ‰).

По данным [Иванов и др., 1992], в океане обычно выделяют три основных типа метана согласно изотопному составу углерода:

- современный биогенный метан осадков с $\delta^{13}\text{C}$ = от -58.2 до -87.0 ‰;

- ископаемый метан осадочных отложений различного возраста, поступающий в океан в составе сипов – холодных источников с $\delta^{13}\text{C}$ = от -43 до -71 ‰;

- абиогенный метан гидротермальных флюидов рифтовых зон с $\delta^{13}\text{C}$ = от -15 до -18.2 ‰.

Г.В. Калмычков с соавторами (2006) со ссылкой на работу [Гинсбург и др., 1994] выделяет на генетических диаграммах поля бактериального ($\delta^{13}\text{C}$ от -60 до -80 ‰), термогенного ($\delta^{13}\text{C}$ от -20 до -55 ‰) и эндогенного ($\delta^{13}\text{C}$ от -10 до -25 ‰) происхождения.

Важно отметить, что ряд исследователей указывает на смешение различных по генезису газов в природных системах [Леин, 2004; 2009; Шакиров и др., 2012 и др.], что приводит к изменению изотопного состава газа (как правило, облучению изотопного состава метана за счет микробной переработки).

Максимальные содержания метана установлены в поверхностных грунтах колонки 18-КОП-4, которая была отобрана в пределах площади развития илов. Относительно высокие концентрации метана, заметно превышающие его концентрацию на фоновых станциях, также установлены в грунтах забоя колонки (глубина по разрезу – 172 см) станции 18-КОП-6, отобранной внутри покмарка, где вскрыты глины Балтийского ледникового озера, которые обычно характеризуются крайне низким содержанием органического вещества.

Исследования 2013 г. также выявили повышенные концентрации метана в нижней части разреза покмарков ПМ-7 и ПМ-12 (таблица 5).

Сумма содержания гомологов метана (тяжелых углеводородов – ТУ) в попутных газах нефтяных

месторождений, как правило, близка к 20 %, для газовых залежей сумма гомологов составляет приблизительно 5 %, хотя отмечены залежи, где их суммарная концентрация может составлять и менее 0.1 % (Прасолов, 1990).

Таблица 5. Концентрация метана в донных грунтах покмарка в ppm по работам 2013 года

Ст. ПМ-12		Ст. ПМ-11		Ст. ПМ-7	
0-2 см	16.81	0-1 см	9.02	0-1 см	32.45
2-5 см	16.26	2-6 см	13.58	2-4 см	245.90
7-8 см	33.26	8-13 см	7.83	4-6 см	1059.89
18-20 см	507.82	29-34 см	12.95	10-12 см	5659.44
				25-27 см	12988.14
				33-35 см	10839.72

Содержание гомологов метана в грязевых вулканах, как правило, также около 0.1 % (Войтов и др., 1988). По существующим представлениям, содержание в газовых флюидах тяжелых гомологов метана менее 0.0n об. % является свидетельством его биогенного происхождения (Леин, Иванов, 2005). Сумма гомологов метана в донных грунтах двух опробованных горизонтов в кратере покмарка 18-КОП-6 составляет 1.84 ppm = 0.000184 % и 2.2 ppm = 0.00022 % (таблица 3). Сходные значения были получены и в 2013 году (станции ПМ-12, ПМ-11, ПМ-7), когда было установлено, что сумма (Σ) гомологов в каждой из отобранных проб составляет <0,0001 %. Таким образом, общее содержание суммы гомологов метана указывает на биогенный (бактериальный) генезис метана.

В то же время по соотношению содержания метана к сумме его гомологов (C1/C2) в донных отложениях двух горизонтов грунтов, опробованных в кратере покмарка (станция 18-КОП-6), отношение CH_4/Σ гомологов варьирует в диапазоне от 72.9 до 4.0. Согласно диаграмме, приведенной в работе Калмычкова и др. [2006], эти параметры не соответствуют характеристикам современных биогенных углеводородных газов, а скорее отвечают газам термогенного происхождения. Сходные показатели были получены и для грунтов, опробованных в покмарках в 2013 г. (станции ПМ-12, ПМ-11, ПМ-7).

Изотопный состав метана изученных покмарков ($\delta^{13}\text{C}$) колеблется в интервале от -68.34 до -61.13 ‰. Указанные параметры в целом попадают в область современного биогенного (бактериального) метана шельфов от -58.2 до -87.0 ‰ [Иванов и др., 1992]. В то же время аналогичные параметры $\delta^{13}\text{C}$,

несколько «утяжеленные» по сравнению с типичным бактериальным метаном, установлены для грязевых вулканов озера Байкал от -57.6 до -66.6 ‰) (генезис метана определен как смешанный или бактериально-термогенный) [Калмычков и др., 2006], холодных газовых сипов Чёрного моря от -62.4 до -70.5 ‰) (генезис метана определен как биогенный, дигенетический, однако сипы приурочены к тектонически активным зонам морского дна) [Леин, Иванов, 2005], континентального склона Новержского моря (-60.0 ‰) (генезис определен как смешанный – термогенный и диагенетический) [Леин, 2004] и др. Таким образом, нельзя исключать наличие в составе метана термогенной компоненты.

Гидрохимические исследования

В Копорском заливе с целью комплексного изучения выявленных покмарков были проведены гидрохимические исследования. Отбор проб придонной воды проводился непосредственно в пределах «кратера» покмарка. Для определения фоновых значений были отобраны пробы придонной воды вне расположения «кратеров».

Сопоставление фоновых характеристик выборок, характеризующих придонные воды в кратере покмарков и «фоновые» воды (таблица 5), показало, что по своему химическому составу придонные воды, отобранные в кратерах покмарков, отличаются от придонных вод, отобранных вне кратеров. Средние концентрации В, Na, Mg, Cr, Co, Ni, Sr в придонных водах кратеров покмарков превышают их средние концентрации в фоновых пробах придонной воды. Придонные воды вне кратеров имеют несколько повышенную концентрацию Zn, Cd, U. Для остальных определяемых элементов концентрации в придонных водах, отобранных в кратерах покмарков и вне их, близки между собой. Особый интерес в данном случае представляют элементы-индикаторы вод Вендского водоносного комплекса В, Ba, Sr [Яхнин и др., 2005]. Согласно данным, приведенным в таблице 5, средние медианные концентрации В и Sr в водах, отобранных в кратерах покмарков, превышают их средние концентрации на фоновых станциях, при этом концентрация Ba в обоих случаях приблизительно равны.

В то же время, согласно ранее проведенным исследованиям изотопного состава придонных вод ($\delta^{2}\text{H}$, $\delta^{18}\text{O}$), отобранных на площади развития покмарков в 2013 г., можно предположить подток подземных вод Ломоносовского или четвертичного горизонтов [Неевин и др., 2015]. Обращает на себя

внимание то, что концентрации определяемых химических элементов в придонных водах всех обследуемых покмарков близки между собой. Это позволяет предположить, что их значительная часть находится в активной фазе развития. В противном случае для старых частично занесенных осадками покмарков химический состав вод соответствовал бы фоновым для акватории значениям.

Литохимические исследования

Отбор проб донных грунтов для литохимических исследований также проводился непосредственно в пределах тела «кратера» покмарка. Для определения фоновых значений были отобраны пробы осадков вне «кратеров». Следует отметить, что обследовались хорошо проявленные, активные покмарки. Статистические параметры распределения химических элементов в покмарках и на фоновых станциях приведены в таблице 6.

При сопоставлении характеристик выборок, характеризующих донные грунты в кратерах покмарков и вне их на «фоновых» станциях, можно отметить, что для ряда элементов характерно некоторое повышение их концентраций в покмарках (Al_2O_3 , CaO, Fe_2O_3 , K_2O , Na_2O , P_2O_5 , Sr, MnO, Zr, Nb, La, Y, Yb, Be, Mo, Pb, Ga). Для другой группы химических элементов некоторое повышение концентраций характерно для грунтов вне покмарков (MgO, Ba, TiO_2 , V, Cr, Co, Ni, Sc, Ce, Li, Cu, Zn, Ag, В, Cd). Используя один из методов математической статистики – сравнение по средним и дисперсиям, было выявлено, что значимое различие между содержаниями химических элементов в покмарках и вне их (фон) установлено только для Sr. Повышенные концентрации этого элемента в грунтах, отобранных в покмарках, являются косвенным подтверждением предположения, что образование покмарков в пределах Копорского залива связано с разгрузкой вод Вендского водоносного комплекса.

Выводы по состоянию геологической среды в пункте наблюдений «Копорский залив»

Анализ сопоставления распределения покмарков, выявленных по данным ГЛБО в 2016, 2017 и 2018 гг., позволяет сделать вывод о том, что процесс формирования этих кольцевых структур в пункте наблюдения «Копорский залив» продолжает оставаться активным. Об этом свидетельствует факт появления на площади наблюдений новых покмарков, не отмеченных в 2016-2017 гг. Частично покмарки 2018 г. совпадают с выявленными в 2016 и 2017 гг.

Таблица 6. Сопоставление средних и дисперсий содержания химических элементов в донных грунтах кратеров покмарков и фоновых станций

Покмарки			Фоновые станции		
Элементы	Среднее медианное	Стандартное отклонение	Элементы	Среднее медианное	Стандартное отклонение
Al ₂ O ₃ , %	11.00	4.36	Al ₂ O ₃ , %	10.00	2.33
MgO, %	0.63	0.55	MgO, %	0.83	0.41
CaO, %	2.36	0.51	CaO, %	1.48	0.44
Fe ₂ O ₃ , %	5.61	1.74	Fe ₂ O ₃ , %	3.93	1.65
K ₂ O, %	4.96	0.24	K ₂ O, %	4.22	0.86
Na ₂ O, %	2.20	0.19	Na ₂ O, %	1.90	0.36
P ₂ O ₅ , %	0.20	0.08	P ₂ O ₅ , %	0.17	0.13
Sr, %	0.05	0.02	Sr, %	0.02	0.02
Ba, %	0.05	0.01	Ba, %	0.06	0.01
TiO ₂ , %	0.44	0.26	TiO ₂ , %	0.48	0.14
MnO, %	0.08	0.10	MnO, %	0.07	0.09
V, ppm	37.00	35.10	V, ppm	47.00	20.42
Cr, ppm	36.00	53.45	Cr, ppm	41.00	26.33
Co, ppm	10.00	2.62	Co, ppm	12.00	3.09
Ni, ppm	24.00	22.14	Ni, ppm	27.00	11.50
Zr, ppm	328.00	100.68	Zr, ppm	252.00	102.38
Nb, ppm	12.00	0.58	Nb, ppm	11.00	2.46
Sc, ppm	7.27	9.21	Sc, ppm	8.42	3.94
Ce, ppm	91.00	35.02	Ce, ppm	92.00	19.46
La, ppm	61.00	14.22	La, ppm	58.00	14.18
Y, ppm	30.00	7.21	Y, ppm	25.00	5.59
Yb, ppm	2.75	0.64	Yb, ppm	2.47	0.56
Be, ppm	2.23	1.28	Be, ppm	2.01	0.53
Li, ppm	68.00	21.70	Li, ppm	75.00	25.12
Mo, ppm	2.32	2.13	Mo, ppm	1.40	1.23
Cu, ppm	12.00	14.07	Cu, ppm	17.00	7.58
Pb, ppm	18.00	4.58	Pb, ppm	11.00	3.63
Zn, ppm	46.00	50.96	Zn, ppm	48.00	35.07
Ag, ppm	0.06	0.01	Ag, ppm	0.10	0.06
Ga, ppm	15.00	8.50	Ga, ppm	14.00	3.74
B, ppm	33.00	7.55	B, ppm	34.00	6.76
Cd, ppm	0.50	1.38	Cd, ppm	0.50	5.32

Часть покмарков, выявленных в 2016-2017 гг., на записи ГЛБО 2017 г. не установлены, что может свидетельствовать об их занесенности поверхностными осадками. Можно констатировать, что процесс формирования покмарков носит активный, но пульсационный характер.

Гидрохимические исследования придонных вод, отобранных в пункте наблюдений «Копорский

залив» в 2018 г., показали, что придонные воды покмарков характеризуются повышенными по отношению к фоновым для акватории значениям ряда химических элементов. По крайней мере, два элемента индикатора вод Гдовского водоносного горизонта (B, Sr) имеют повышенные концентрации в придонных водах кратеров покмарков. В таком случае с определенной долей вероятности можно

предположить, что образование покмарков в пределах Копорского залива связано с разгрузкой Вендского водоносного комплекса (Гдовский горизонт) по системе малоамплитудных разломов и зон трещиноватости. Этому отчасти противоречат данные по изотопному составу придонных вод ($\delta^{2}\text{H}$, $\delta^{18}\text{O}$), полученные в 2015 г., которые свидетельствуют о возможности подтока подземных вод Ломоносовского или четвертичного горизонтов [Несвин и др., 2015].

Метан, выделенный в грунтах, опробованных в пункте наблюдений «Копорский залив», может иметь два источника. В илистых современных грунтах, локально развитых в пределах площади пункта наблюдений, это прежде всего современный «биогенный» (бактериальный) метан. В отложениях Балтийского ледникового озера метан и другие углеводородные газы, вероятно, поступают в составе подземных вод, то есть имеют более глубинное происхождение.

Пункт наблюдений «Район острова Гогланд»

Состав наблюдательной сети. Виды наблюдений

Задачами работ в пункте наблюдений «Район острова Гогланд» является характеристика зон развития газонасыщенных грунтов, проявлений разгрузки газов и связанных с ними просадок грунта.

В 2018 году для уточнения распространения газонасыщенных осадков на площади и в разрезе, а также для выяснения возможной трансформации подводных линейных ложбин во времени было проложено два профиля НСАП общей длиной 20 км (рис. 57). Отбор грунтов произведен на 25 станциях для определения физических и физико-

механических свойств грунтов, в том числе на 10 станциях комплексного пробоотбора грунтов и придонных вод, для изучения газовой составляющей грунтов, выявления возможных геохимических аномалий, обусловленных проявлениями газо-флюидной разгрузки, и определения физико-механических свойств грунтов. На этих 10 станциях были отобраны 20 проб грунтов для определения физических и физико-механических свойств, 20 проб грунтов для определения газового состава, 20 проб грунтов для определения химического состава и 5 проб придонной воды.

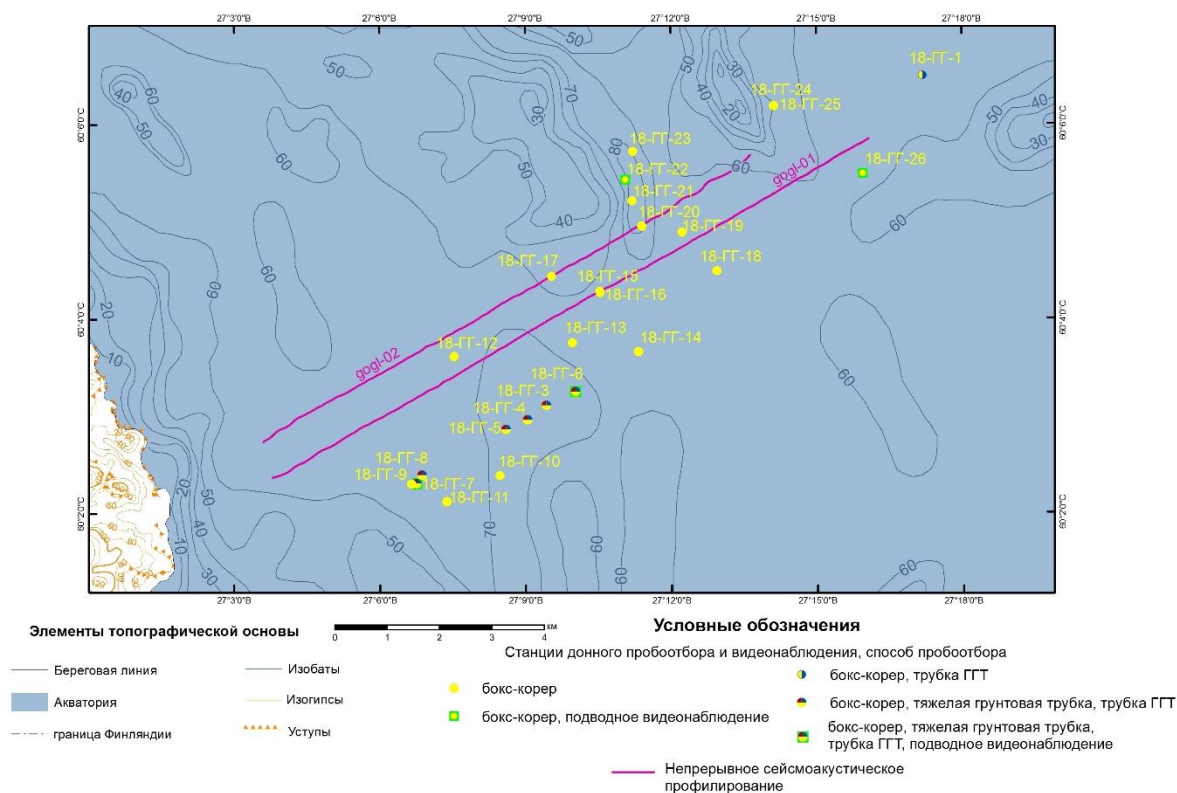


Рисунок 57. Схема фактического материала 2018 г. в пункте наблюдений «Район о-ва Гогланд»

Экзогенные геологические процессы

В ходе работ 2016-2017 гг. в пределах пункта наблюдений было выявлено широкое распространение толщ газонасыщенных алевропелитовых илов, в пределах развития которых на поверхности дна были установлены многочисленные протяженные узкие линейные, иногда ветвящиеся, отрицательные формы рельефа. Полученная площадная информация показала, что протяженность этих ложбин-провалов в пределах зон распространения газонасыщенных илов может достигать нескольких километров, поперечное сечение (ширина) измеряется десятками метров, иногда превышая 100-120 м, относительная глубина – до 5 м, при этом они прослеживаются по разрезу до глубины вплоть до 20-25 м, что свидетельствует об унаследованности их положения во времени. В то же время детальный анализ материалов НСАП позволил выявить захороненные ложбины аналогичной формы, в настоящее время занесенные пелитово-алевритовыми илами (рис. 58 – 60). На профилях НСАП хорошо видна V-образная форма сечения ложбин (рис. 58).

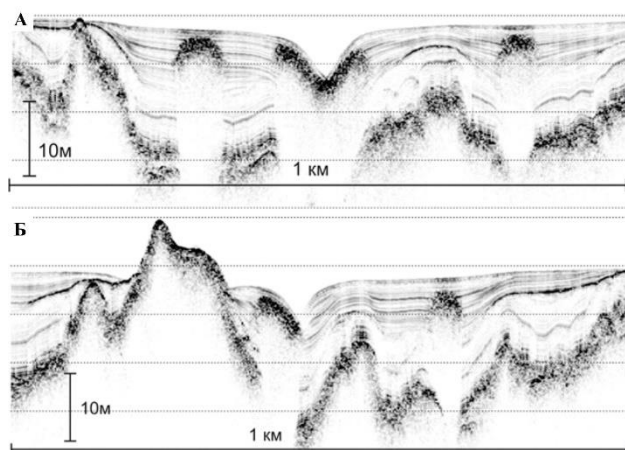


Рисунок 58. Примеры профилей, секущих ложбины в газонасыщенных отложениях: А – профиль 2017-001; Б – профиль 2017-002

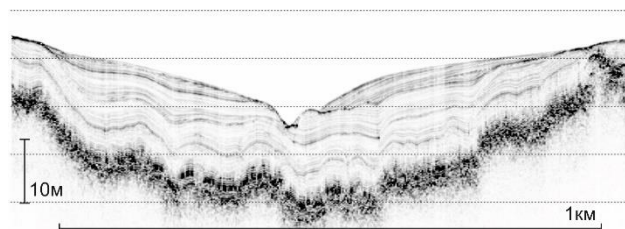


Рисунок 59. Примеры профилей, секущих ложбины вне газонасыщенных отложений, профиль 2017-003

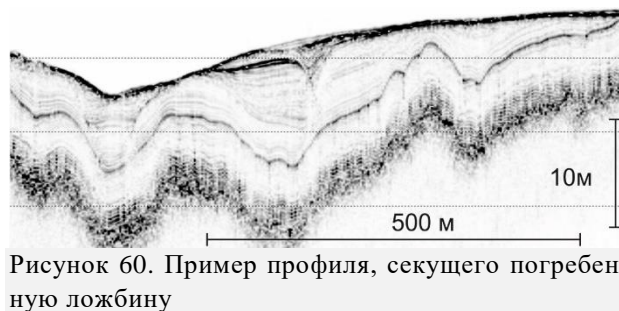


Рисунок 60. Пример профиля, секущего погребенную ложбину

По периферии положительных форм донного рельефа, представляющих собой в основном моренные и флювиогляциальные гряды, были также выявлены подводные ложбины, вероятно, образованные за счет действия контуритовых течений. Относительная высота моренных гряд может достигать 30-40 м.

Анализ пространственного расположения ложбин показал, что как линейные, так и изогнутые («контуритовые») ложбины секут поверхность дна как в пределах зон современного накопления илов, так и вне их. Выдвинутая в 2017 г. гипотеза о том, что механизм их образования обусловлен вероятным выходом газов в толщу воды и проседанием поверхности дна, нуждается в дополнительной проверке. Эти линейные ложбины и максимальные концентрации метана в приповерхностных осадках приурочены к осевым частям межморенных ложбин, где мощность надморенной толщи достигает наибольших значений (до 60 м), а мощность голоценовых илов превышает 10 м (рис. 61, 62).

Вторым типом мезорельефа дна являются кратерообразные структуры (покмарки диаметром до 15 м и гигантские кратеры в ледниково-озерных и ледниковых отложениях диаметром до 120 м), описанные в бюллетене за 2017 г.

Газогеохимические исследования

Газогеохимические работы 2018 года являются продолжением цикла исследований 2016-2017 гг. с увеличением детальности в пределах полигона съемки методом многолучевого эхолотирования, выполненной летом 2017 г. с борта НИС «Академик Николай Страхов» (совместный рейс с АО ИО РАН).

Как показали исследования 2018 г., распределение метана и его гомологов в донных осадках пункта наблюдения «Район о-ва Гогланд» крайне неоднородно и характеризуется значительной дисперсией (концентрации ppm в воздушном зазоре приведены в таблице 7, а статистические параметры распределения – в таблице 8). На ряде станций в

пределах участка исследований фиксируются чрезвычайны

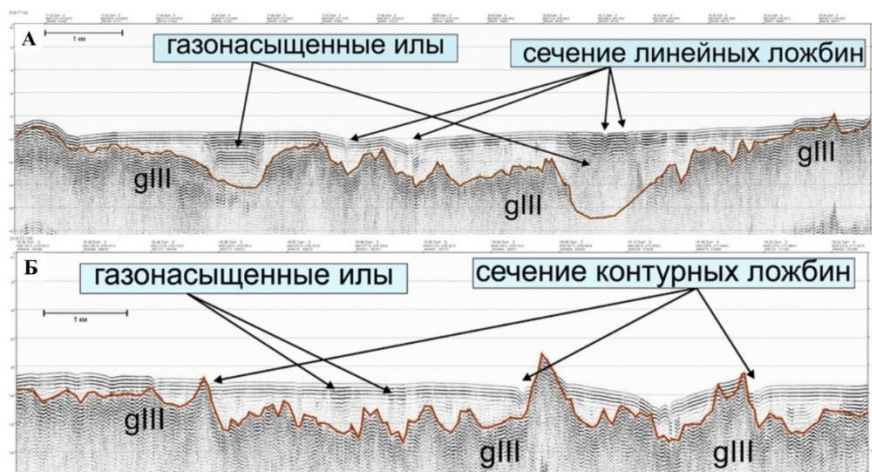


Рисунок 61. Профили НСАП в пункте наблюдений «Район о-ва Гогланд»: А – профиль 18gog1-01; Б – профиль 18gog1-02. gIII – морена

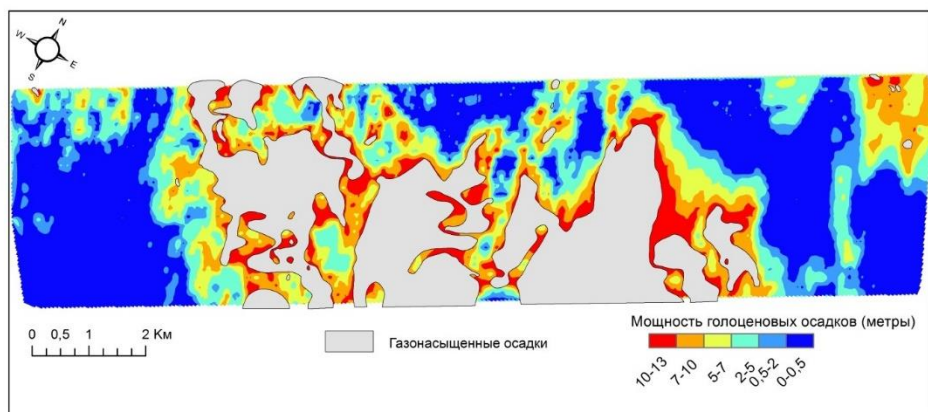


Рисунок 62. Схема распределения мощности голоценовых илов пункта наблюдений «Район о-ва Гогланд»

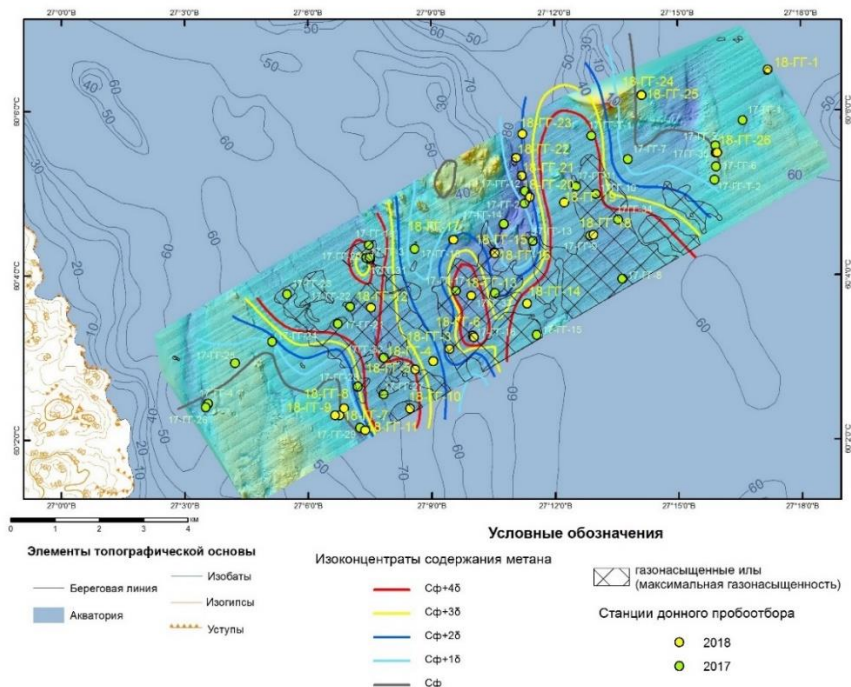


Рисунок 63. Схема распределения метана в пределах пункта наблюдений «Район о-ва Гогланд»

высокие содержания метана, достигающие 324 928 ppm, при минимальных отмеченных значениях 9 ppm.

По результатам работ 2017 и 2018 гг. составлена схема распределения метана в пределах участка исследований (рис. 63), на которой вынесены

изоконцентраты метана, положение станций опробования и выделены точки с высокоаномальными концентрациями метана. В качестве батиметрической основы использована схема-мозаика многолучевого эхолотирования.

Таблица 7. Концентрации метана и его гомологов в донных осадках пункта наблюдения «Район о-ва Гогланд» (ppm в воздушном заоре)

Проба	Метан CH ₄ (C1)	Этан C ₂ H ₆	Этилен C ₂ H ₄	Пропан C ₃ H ₈	Пропилен C ₃ H ₆	i-бутан i-C ₄ H ₁₀	n-бутан n-C ₄ H ₁₀	Бутен-1 C ₄ H ₈	i-бутилен i-C ₄ H ₈	i-пентан i-C ₅ H ₁₂	n-пентан n-C ₅ H ₁₂	∑ гомологов (C2)	C1/C2
18-ГГ-1н-2	213.68	1.09	2.22	1.20	0.68	0.09	0.30	0.05	0.40	0.65	0.35	7.04	30.3
18-ГГ-2н-2	17.20	0.18	0.48	0.17	0.18	0.07	0.12	0.02	0.13	0.20	0.04	1.60	10.8
18-ГГ-3т-1	324928.98	2.11	1.39	1.36	0.68	0.12	1.04	0.02	0.39	0.14	0.13	7.39	43965.6
18-ГГ-3т-2	39736.18	0.14	0.97	2.04	0.43	0.08	0.40	0.03	0.78	0.55	0.23	5.67	7013.6
18-ГГ-4т-1	6753.62	0.60	1.09	0.63	0.41	0.13	0.17	0.07	0.28	0.17	0.24	3.79	39.7
18-ГГ-4т-2	255.02	0.89	2.18	1.53	0.82	0.14	0.36	0.14	0.85	0.23	0.21	7.36	1780.1
18-ГГ-5т-1	206629.67	0.00	1.11	1.73	0.85	0.22	0.76	0.05	0.67	0.08	0.08	5.54	37276.9
18-ГГ-5т-2	7235.24	0.41	1.27	2.00	0.45	0.22	0.61	0.04	0.91	0.52	0.19	6.61	1095.0
18-ГГ-6т-1	196415.52	0.00	1.14	1.40	0.67	0.09	1.10	0.06	0.64	0.21	0.16	5.47	448.5
18-ГГ-6т-2	101854.20	2.65	0.82	1.36	0.48	0.16	0.93	0.99	-0.01	0.14	0.00	7.53	13519.15
18-ГГ-7т-1	25.27	0.20	1.07	0.14	0.26	0.08	0.14	0.07	0.20	0.19	0.08	2.43	10.4
18-ГГ-7т-2	12.58	0.43	1.56	0.47	0.69	0.13	0.17	0.05	0.57	0.99	0.31	5.38	2.3
18-ГГ-8т-1	1650.12	0.48	1.30	0.22	0.46	0.07	0.14	0.01	0.15	0.17	0.07	3.07	537.9
18-ГГ-8т-2	43.19	0.50	0.99	0.59	0.44	0.07	0.20	0.07	0.36	0.17	0.33	3.73	11.6
18-ГГ-10	141500.23	3.10	0.55	1.69	0.37	0.10	0.68	0.80	0.00	0.58	0.24	8.11	17441.9

18-ГГ-11	23.47	0.48	1.14	0.41	0.34	0.13	0.25	0.03	-0.15	0.15	0.35	3.15	7.5
18-ГГ-12	64061.57	0.15	0.58	1.13	0.37	0.00	0.23	0.33	0.85	0.41	0.35	4.40	14569.1
18-ГГ-14	230.77	0.64	2.02	0.63	0.49	0.11	0.20	0.03	0.30	0.62	0.29	5.33	43.3
18-ГГ-15	1492.45	1.16	1.73	1.03	0.57	0.18	0.34	0.03	0.40	0.30	0.48	6.22	239.9
18-ГГ-16	468.35	1.43	2.64	1.46	0.82	0.23	0.42	0.11	0.54	0.15	0.33	8.13	57.6
18-ГГ-17	41.98	0.70	2.19	0.69	0.68	0.13	0.24	0.06	0.36	0.51	0.17	5.72	7.3
18-ГГ-20	1331.24	1.45	2.63	0.57	0.57	0.11	0.23	0.03	0.31	0.52	0.11	6.55	203.4
18-ГГ-21	135.59	0.84	1.50	1.00	0.79	0.15	0.23	0.08	0.64	0.27	0.42	5.93	22.9
18-ГГ-23	71322.08	0.00	1.03	2.23	0.64	0.11	0.64	0.05	0.90	0.30	0.08	6.00	11896.7

Рассматривая представленную схему и сопоставляя ее с результатами геофизических исследований, можно констатировать, что высокие концентрации метана в донных осадках приурочены к областям распространения мощных толщ газонасыщенных илов (рис. 63), поля распространения которых, как правило, оконтуриваются изоконцентрациями содержания метана на уровне $> C_{\phi}+4\delta$. С уменьшением мощности илов или степени их газонасыщенности содержание метана в осадках заметно понижается. В районах выхода морены концентрация метана резко падает и выходы ледниковых отложений характеризуются достаточно низкими содержаниями метана в осадках.

Для выявления возможной парагенетической взаимосвязи зон подводной разгрузки метана с линейными провалами (ложбинами) был выполнен анализ содержания метана и его гомологов (по результатам трехлетнего мониторинга) в различных морфологических участках дна: 1) ложбины в пределах зон газонасыщенных илов, 2) ложбины вне пределов зон газонасыщенных илов, 3) зоны газо-

насыщенных илов вне пределов ложбин и 4) подводные кратеры вне зон газонасыщенных илов или ложбин (рис. 64). Проведенный анализ показал, что высокие концентрации метана в донных отложениях фиксируются только в толще газонасыщенных илов, вне зоны газонасыщенных отложений (в том числе в пределах ложбин и кратеров) содержание метана в донных осадках на один-два порядка ниже (рис. 64). При этом не выявлено значимых различий в содержании метана полей газонасыщенных илов в пределах и вне подводных ложбин.

Таким образом, на данном этапе исследований взаимосвязи газопроявлений с ложбинами не установлено.

Обращает на себя внимание достаточно заметная дифференциация содержаний метана по глубине опробования. Как правило, в нижней части опробованного разреза донных отложений наблюдается значительное увеличение концентрации метана, что, очевидно, связано с диффузией метана из верхней части разреза в придонную воду. Примеры распределения содержания метана по разрезу приведены на рис. 65.

Таблица 8. Статистические параметры распределения метана и его гомологов в донных осадках и отложениях пункта наблюдения «Район о-ва Гогланд» (ppm)

	Количество наблюдений	Среднее арифметическое	Среднее медианное	Минимум	Максимум	Стандартное отклонение
Метан CH ₄	33	35371.86	230.77	9.43	324928.98	76411.08
Этан C ₂ H ₆	33	0.64	0.43	0.00	3.10	0.76
Этилен C ₂ H ₄	33	1.07	1.07	0.02	2.64	0.78
Пропан C ₃ H ₈	33	0.82	0.63	0.03	2.23	0.67
Пропилен C ₃ H ₆	33	0.42	0.44	0.01	0.85	0.28
i-бутан i-C ₄ H ₁₀	33	0.11	0.11	0.00	0.23	0.05
n-бутан n-C ₄ H ₁₀	33	0.33	0.23	0.04	1.10	0.29
Бутен-1 C ₄ H ₈	33	0.11	0.05	0.00	0.99	0.21
i-бутилен i-C ₄ H ₈	33	0.39	0.36	-0.15	0.91	0.27
i-пентан i-C ₅ H ₁₂	33	0.41	0.30	0.08	0.99	0.26
n-пентан n-C ₅ H ₁₂	33	0.18	0.16	0.00	0.48	0.14
Углекислый газ CO ₂ , %	33	0.33	0.08	0.00	2.18	0.51
Кислород O ₂ , %	33	16.59	18.34	2.30	21.41	4.37
Азот N ₂ , %	33	70.61	71.98	55.01	73.79	4.01

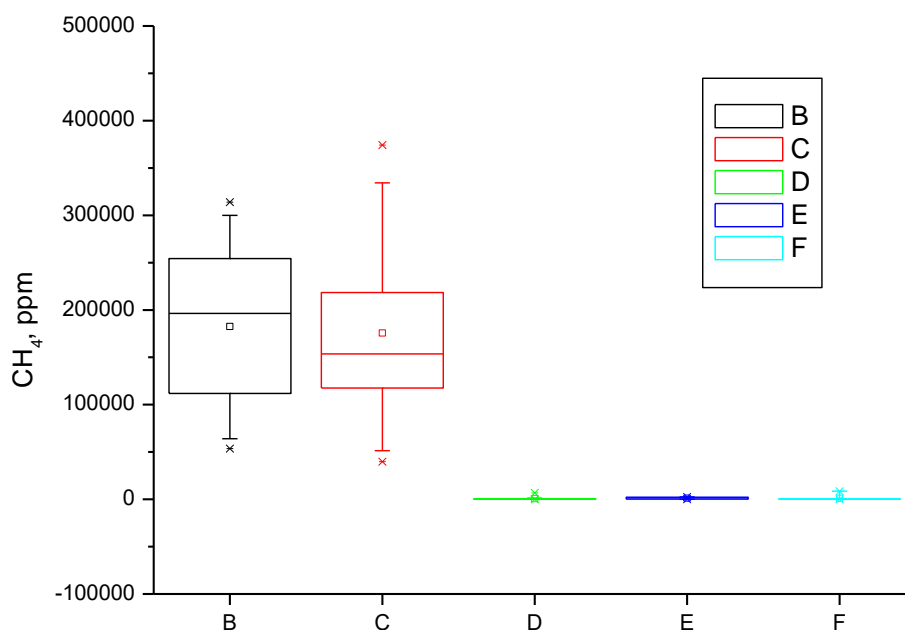


Рисунок 64. Содержание метана в образцах, отобранных: В – в ложбинах в зонах газонасыщенных осадков; С – вне ложбин в газонасыщенных осадках; D – вне ложбин вне

газонасыщенных осадков; Е – в ложбинах вне газонасыщенных осадках; F – в зонах отсутствующего покрова голоценовых илов (подводные обнажения ледниковых или водно-ледниковых отложений) в пределах ложбин или кратеров

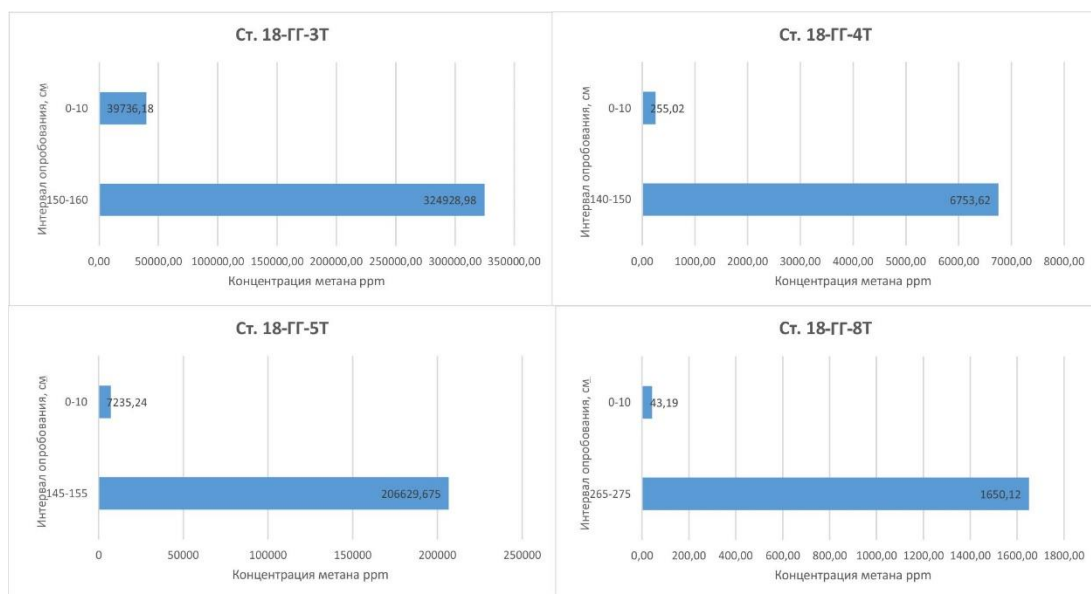


Рисунок б5. Примеры распределения концентраций метана по разрезу донных отложений

Содержанию метана в придонной воде свойственна высокая природная дисперсия и неоднородность в распределении по площади (таблица 9). Как и для донных осадков, высокие концентрации метана в придонной воде отмечаются на участках распространения полей интенсивно газонасыщенных илов. В районах подводных обнажений морены концентрация метана в воде резко падает. Максимальная концентрация метана отмечена на станции 18-ГГ-6, где его содержание в придонной воде составляет 591.0 ppm (при содержании его в донных осадках 101 854.2 ppm). Обращает на себя внимание слабая корреляция между содержанием

Таблица 9. Статистические параметры распределения кислорода, азота, углекислого газа, метана и его гомологов в придонной воде пункта наблюдения «Район о-ва Гогланд» (ppm)

	Количество наблюдений	Среднее арифметическое	Среднее медианное	Минимум	Максимум	Стандартное отклонение
Метан CH ₄	8	106.26	26.70	9.43	591.00	200.07
Этан C ₂ H ₆	8	0.13	0.12	0.05	0.29	0.07
Этилен C ₂ H ₄	8	0.07	0.07	0.02	0.11	0.03
Пропан C ₃ H ₈	8	0.10	0.09	0.03	0.25	0.07
Пропилен C ₃ H ₆	8	0.02	0.02	0.01	0.04	0.01
i-бутан i-C ₄ H ₁₀	8	0.09	0.07	0.04	0.20	0.05
n-бутан n-C ₄ H ₁₀	8	0.10	0.10	0.04	0.22	0.06
Бутен-1 C ₄ H ₈	8	0.02	0.02	0.00	0.05	0.02
i-бутилен i-C ₄ H ₈	8	0.27	0.26	0.14	0.43	0.11
i-пентан i-C ₅ H ₁₂	8	0.63	0.60	0.29	0.98	0.25
n-пентан n-C ₅ H ₁₂	8	0.05	0.05	0.00	0.14	0.04
Углекислый газ CO ₂ , %	8	0.68	0.66	0.01	2.18	0.74
Кислород O ₂ , %	8	16.95	17.92	13.34	20.04	3.01
Азот N ₂ , %	8	72.49	72.61	70.79	73.79	0.93

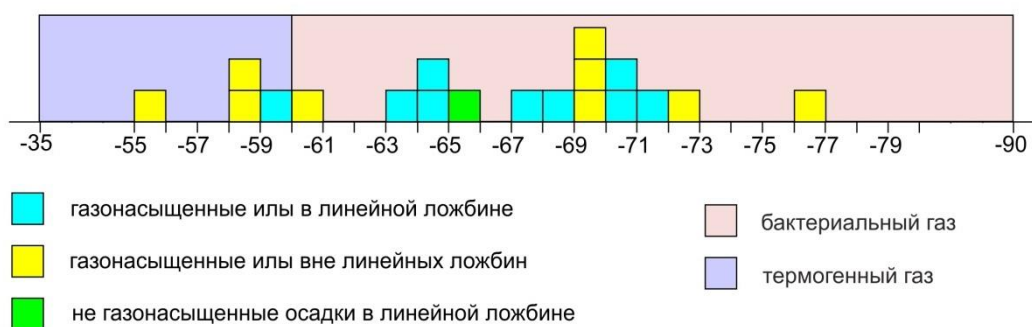


Рисунок 66. Изотопный состав метана грунтов, отобранных в пределах подводных ложбин и вне их, с учетом зон распространения газонасыщенных осадков

метана в донных осадках и придонных водах. Так, на станции 18-ГГ-5т содержание метана в донных осадках составляет 7235.2 ppm, а в придонной воде – 9.43 ppm. В тоже время на станции 18-ГГ-4т-2 содержание метана в донных осадках составляет

255.0 ppm, а в придонной воде – 43.3 ppm. Очевидно, подобное обусловлено различной возможностью эманации метана из осадков в воду за счет разницы в инженерно-геологических и физических свойствах осадков.

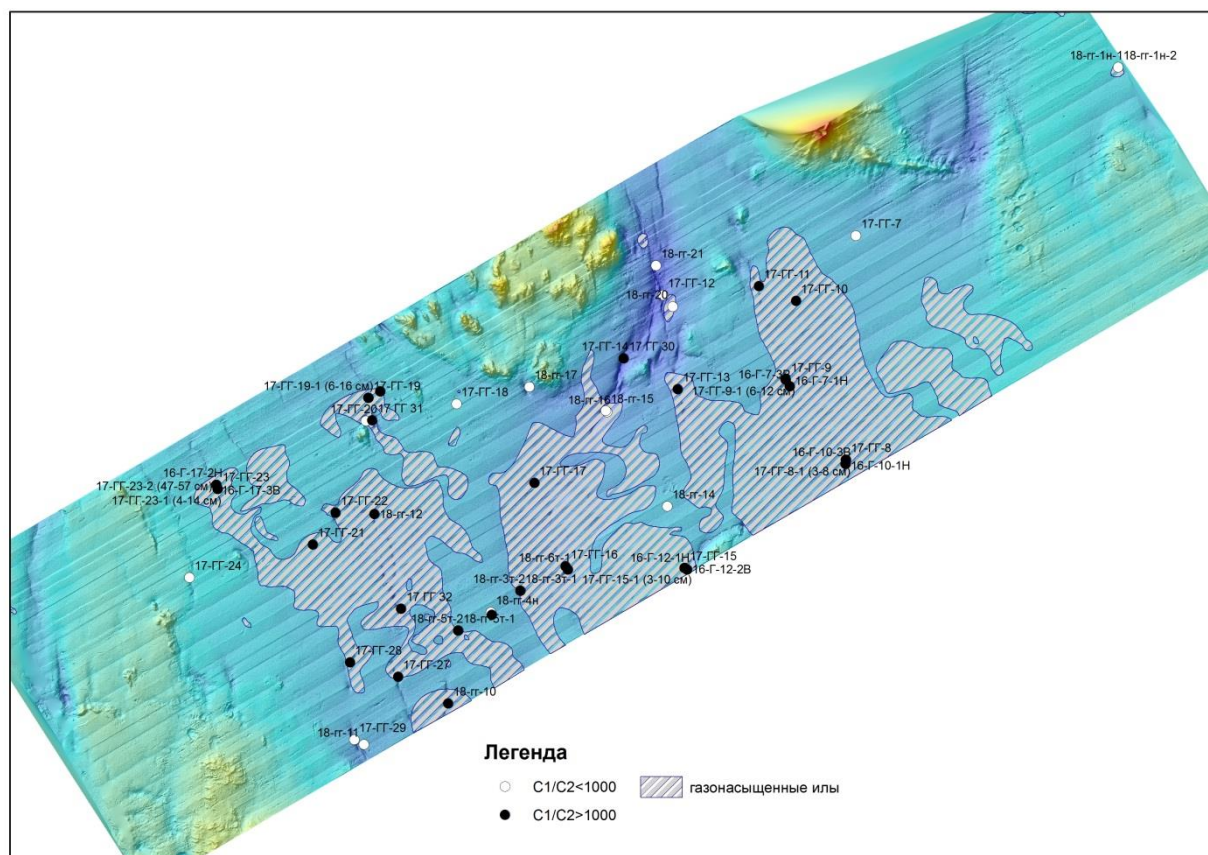


Рисунок 67. Схема распределения значения коэффициента C1/C2 (соотношение концентрации метана и его гомологов) в поверхностных грунтах (2016-2018 гг.)

Таблица 10. Изотопный состав углерода в пробах донных осадков и отложений в районе о. Гогланд

№ п/п	Номер станции	Концентрация метана, ppm		¹³ C ‰ PDB
		CH ₄		CH ₄
1	18-ГГ-6т-2	101854.20		-61.4
2	18-ГГ-10	141500.23		-62.9
3	18-ГГ-12	64061.57		-68.6
4	18-ГГ-23	71322.08		-70.7
5	18-ГГ-3т-1	324928.98		-72.3
6	18-ГГ-3т-2	39736.18		-73.2
7	18-ГГ-5т-1	206629.67		-76.1
8	18-ГГ-5т-2	7235.24		-62.5
9	18-ГГ-6т-1	196415.52		-64.9

Изотопный состав метана ($\delta^{13}\text{C}$) в пробах донных отложений, отобранных в 2018 г., в пределах пункта наблюдений «Район о-ва Гогланд» (таблица 10) находится в интервале значений от -61.4 до -76.1 ‰, что, как и для результатов, полученных для пункта наблюдений «Копорский залив», позво-

ляет предполагать его низкотемпературный, малоглубинный (бактериальный) генезис. Однако анализ всего массива данных по изотопному составу метана, полученных в 2016-2018 гг. (среднее значение -66.2 ‰, минимальное -55.9 ‰, максимальное -76.8 ‰) также не исключает примеси термогенной компоненты (рис. 66).

Таблица 11. Содержание метана и его гомологов в придонной воде пункта наблюдения «Район о-ва Гогланд» (ppm)

Проба	Метан CH ₄ (C1)	Этан C ₂ H ₆	Этилен C ₂ H ₄	Пропан C ₃ H ₈	Пропилен C ₃ H ₆	i-бутан i-C ₄ H ₁₀	n-бутан n-C ₄ H ₁₀	Бутен-1 C ₄ H ₈	i-бутилен i-C ₄ H ₈	i-пентан i-C ₅ H ₁₂	n-пентан n-C ₅ H ₁₂	∑ ГОМОЛО- ГОВ (C2)
18-ГГ-1н-1	11.26	0.29	0.11	0.25	0.04	0.20	0.22	0.05	0.43	0.96	0.14	2.69
18-ГГ-2н-1	10.64	0.17	0.02	0.13	0.03	0.09	0.10	0.02	0.31	0.98	0.04	1.89
18-ГГ-3н-1	41.87	0.11	0.05	0.09	0.02	0.06	0.06	0.02	0.40	0.56	0.03	1.42
18-ГГ-4н	43.39	0.05	0.07	0.03	0.01	0.04	0.04	0.02	0.22	0.55	0.06	1.09
18-ГГ-5н	9.43	0.13	0.10	0.09	0.02	0.13	0.10	0.02	0.19	0.35	0.03	1.17
18-ГГ-6н	591.00	0.12	0.07	0.08	0.04	0.06	0.10	0.02	0.14	0.63	0.06	1.32
18-ГГ-7н	11.52	0.11	0.08	0.08	0.01	0.08	0.10	0.04	0.30	0.75	0.07	1.60
18-ГГ-8н	130.95	0.06	0.05	0.06	0.01	0.05	0.04	0.00	0.17	0.29	0.00	0.68

Следует также отметить, что для 14 из 32 образцов, проанализированных в 2018 г., соотношение C1/C2 не соответствует бактериальному (биогенному) метану [Калмычков и др., 2006] (рис. 67). Сумма гомологов метана в газовой составляющей проб осадков колеблется от $0.74 \times 10^{-4} \%$ до $8.13 \times 10^{-4} \%$ (Таблица 8), а в пробах придонной воды от $0.74 \times 10^{-4} \%$ до $2.6 \times 10^{-4} \%$ (Таблица 11).

Соотношение O₂/N₂ в пробах донных осадков в пределах полей газонасыщенных илов колеблется в интервале 0.16-0.30, в среднем составляя 0.23. В районах выхода морены это соотношение колеблется в интервале 0.221-0.253, в среднем составляя 0.243. В донных отложениях, слагающих тела подводных кратероподобных структур, это соотношение минимально и находится в диапазоне 0.006-0.120 со средним 0.120. Полученное соотношение O₂/N₂ в донных осадках ниже, чем в воздухе (≈ 0.268), и значительно ниже, чем их стандартное соотношение в морской и пресной воде, которое зависит от многих параметров, но в целом меняется в диапазоне 0.52-0.654. Таким образом, наблюдается значительный дефицит кислорода. Для газонасыщенных илов такое отличие, вероятно, обусловлено протекающими в осадках микробиологическими процессами, а именно – анаэробным окислением метана. В подводных кратероподобных структурах выявлены скопления железо-марганцевых конкреций (ЖМК), которые главным образом представлены

гидроокислами железа и марганца. Можно предположить, что дефицит кислорода в данном случае связан с образованием и развитием ЖМК.

Статистические параметры распределения химических элементов в пробах донных отложений и осадков, расположенных в районе о. Гогланд, представлены в таблице 12.

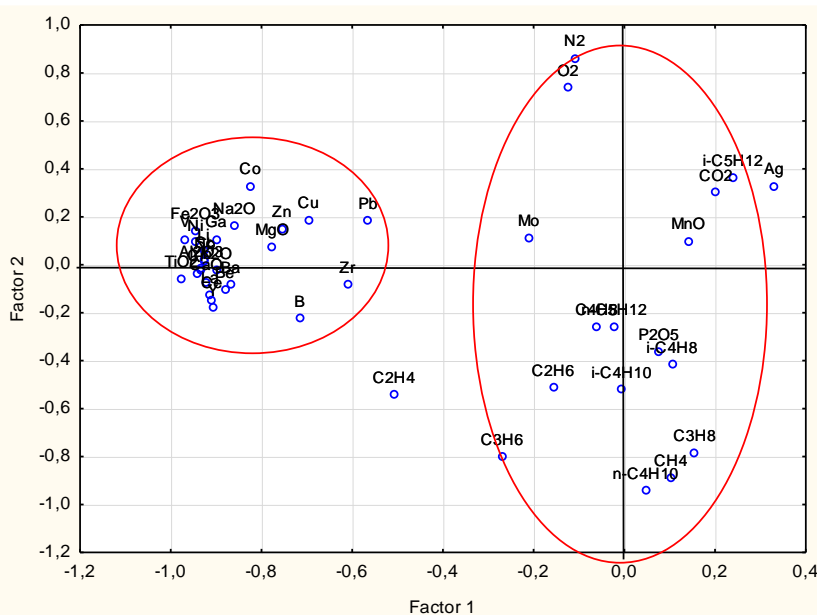


Рисунок 68. Диаграмма факторных нагрузок

Для выявления обобщенных закономерностей в распределении метана, его гомологов, а также изучаемой группы химических элементов в донных осадках был использован факторный анализ методом главных компонент в R-модификации. На рисунке 68 представлена диаграмма факторных нагрузок, где уверенно фиксируется наличие двух четко выраженных ассоциаций. Первая – это тесно связанная ассоциация рудно-породообразующих

Таблица 12. Статистические параметры распределения химических элементов в пробах донных отложений и осадков, расположенных в районе о. Гогланд

Элемент	Количество наблюдений	Среднее арифметическое	Среднее медианное	Минимум	Максимум	Стандартное отклонение
Al ₂ O ₃	17	11.01	9.85	6.63	19.00	3.46
MgO	17	1.34	1.22	0.85	1.91	0.32
CaO	17	1.06	0.97	0.63	1.62	0.29
Fe ₂ O ₃	17	4.93	5.04	2.29	8.74	1.87
K ₂ O	17	3.15	3.03	1.82	4.79	0.81
Na ₂ O	17	1.55	1.62	0.79	2.13	0.43
P ₂ O ₅	17	0.18	0.13	0.08	0.40	0.13
Ba	17	0.04	0.04	0.03	0.06	0.01
TiO ₂	17	0.56	0.58	0.33	0.83	0.15
MnO	17	0.26	0.09	0.05	1.73	0.42
V	17	77.53	78.00	45.00	129.00	25.15
Cr	17	75.41	71.00	36.00	128.00	29.88
Co	17	16.37	16.00	7.64	27.00	5.92
Ni	17	43.76	42.00	19.00	78.00	17.09
Zr	17	126.59	122.00	69.00	203.00	32.90
Nb	17	12.37	12.00	8.64	16.00	2.32
Sc	17	13.52	12.00	8.44	23.00	4.70
Ce	17	98.88	93.00	55.00	158.00	30.89
La	17	62.59	56.00	37.00	98.00	19.30
Y	17	27.41	26.00	19.00	38.00	5.95
Yb	17	2.51	2.35	1.70	3.86	0.60
Be	17	2.38	2.15	1.45	4.23	0.76
Li	17	83.47	78.00	40.00	161.00	32.96
Mo	17	6.98	5.06	1.01	23.00	6.11
Cu	17	24.47	26.00	12.00	35.00	7.94
Pb	17	38.92	25.40	20.20	75.20	20.44
Zn	17	71.47	60.00	5.00	152.00	37.53
Ag	17	0.10	0.10	0.04	0.15	0.05
Ga	17	12.79	10.00	7.02	28.00	5.71
B	17	48.35	53.00	32.00	70.00	10.13
Cd	17	2.99	1.55	0.27	16.30	4.45

элементов, вторая также достаточно тесно связанная ассоциация углеводородов, азота, кислорода, двуокиси углерода, Mo, Mn, P₂O₅.

Известно, что глубинные газовые флюиды, как правило, обогащены широким кругом химических элементов, в том числе рядом металлов. Общий источник поступления метана и металлов в донные осадки должен приводить к образованию ассоци-

тивных связей, которые в свою очередь зафиксировались бы факторным анализом. В данном случае результаты факторного анализа показывают отсутствие связи между углеводородами и основными определяемыми химическими элементами. Полученные результаты являются аргументом в пользу того, что углеводороды группы метана в данном случае не выявили присутствия глубинных флюидов в составе газов.

Таблица 13. Статистические параметры распределения химических элементов в пробах придонной воды, расположенных в районе о. Гогланд (ppm)

Элемент	N наблюдений	Среднее арифметическое	Среднее медианное	Минимум	Максимум	Стандартное отклонение
B	7	1053	1060	988	1080	32.14
Na	7	2220914	2223500	2104800	2274000	55438.96
Mg	7	290771	292500	276300	297100	6760.11
K	7	91729	92500	87000	93400	2262.53
Ca	7	102214	103300	95800	104600	3098.08
Cr	7	0.5	0.4	0.2	0.8	0.25
Co	7	0.1	0.1	0.0	0.1	0.02
Ni	7	0.8	0.9	0.7	1.1	0.15
Cu	7	0.0	0.0	0.0	0.1	0.04
Zn	7	125.2	134.0	54.3	176.0	42.55
As	7	1.3	1.3	1.2	1.4	0.06
Sr	7	1741	1760	1680	1780	34
Cd	7	1.7	0.9	0.2	4.1	1.65
Ba	7	24.4	23.7	22.8	27.1	1.68
Pb	7	0.2	0.2	0.1	0.3	0.08
U	7	0.3	0.3	0.2	0.3	0.03
Hg	7	0.005	0.003	0.003	0.013	0.004
Cl	7	437.4	442.0	423.0	453.0	13.39

Гидрохимические исследования

Статистические параметры распределения химических элементов в пробах придонной воды, расположенных в районе о. Гогланд, представлены в таблице 13.

Пробы придонной воды в пункте наблюдения «Район о-ва Гогланд» отобраны в пределах полей газонасыщенных илов. Существенные различия в содержаниях определяемых химических элементов между указанными площадями с различными геолого-геохимическими условиями не установлены.

В 2017 году при изучении гранулометрического состава и физико-механических свойств грунтов уклон делался в сторону площадных исследований. Была выявлена зависимость многих свойств, таких как консистенция, плотность, пористость и др., от содержания газа в поверхностных отложениях.

В 2018 году производились лабораторные испытания трех кернов с целью выяснения изменчивости физико-механических свойств грунтов по разрезу и влияния на них концентраций метана. В грунтах всех трех станций пробоотбора содержание газа довольно большое, причем в забое труб (18-ГГ-3Т-1, 18-ГГ-5Т-1, 18-ГГ-6Т-1) оно существенно выше, чем в поверхностных грунтах (18-ГГ-3Т-2, 18-ГГ-5Т-2, 18-ГГ-6Т-2). Вероятно,

это взаимосвязано с более открытой пористостью в приповерхностной части разреза (таблица 14), приводящей к выходу метана в придонные слои воды. На поверхности дна, в частности на станции 18-ГГ-6, широко развиты белесоватые бактериальные маты, наблюдающиеся как на подводных фотографиях (рис. 69), так и на ненарушенной поверхности в пробах грунтов, отобранных с помощью трубок ГГТ. Можно предположить, что они связаны с жизнедеятельностью метанооксилирующих бактерий. Во всех трех кернах коэффициент пористости уменьшается по мере увеличения глубины по разрезу. Вниз по разрезу отмечается также уменьшение показателя консистенции IL (в керне станции 18-ГГ-3-Т от 8 до 2.4-2.6) и увеличение значения сопротивления срезу. Плотность грунтов по разрезу меняется слабо и колеблется в пределах 1.15-1.25 г/см³.

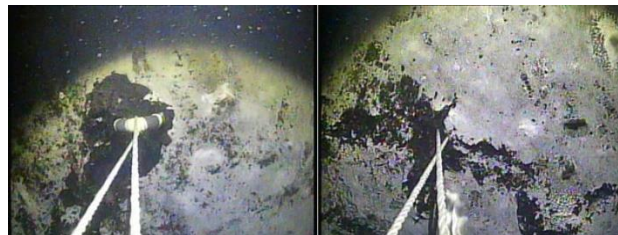


Рисунок 69. Белесоватые бактериальные маты на поверхности дна (ст. 18-ГГ-6ТВ)

Все грунты имеют слабые прочностные свойства. По результатам проведения испытаний на сопротивление срезу лабораторной крыльчаткой, наименьшие показатели были получены для грунтов с высоким коэффициентом пористости. Так, в точке 18-ГГ-6т на интервале 0-35 см сопротивление срезу составила 0.4 кПа, что является наименьшим показателем при наибольшем из всех полученных коэффициентов пористости 8.572. Для грунтов, отобранных в точке 18-ГГ-4-Т, были определены основные физические характеристики. Результаты испытаний указаны в таблице 15.

При описании колонки 18-ГГ-4-т были проведены испытания полевым пенетрометром для сравнения характеристик сопротивления пенетрации по всей длине колонки. В целом можно отметить, что, за некоторыми исключениями, способность отложений сопротивляться пенетрации увеличивается по мере приближения к забою трубы. Ослабленные участки наблюдаются в приповерхностном слое, а также на интервале 65-85 см. Наиболее плотные грунты начинаются с глубины 1 м.

Таблица 14. Результаты испытаний на определение физико-механических свойств грунтов ст. 18-ГГ-5-Т, 18-ГГ-6-Т, 18-ГГ-3-Т пункта наблюдений «Район о-ва Гогланд»

№ т.н.	Глубина отбора проб, см	Влажность на границе		Число пластичности Ip	Потери при прокаливании, д.е. 350°C	Природная влажность W, д.е.	Плотность грунта ρ , г/см ³	Плотность частиц грунта ρ_s , г/см ³	Коэффициент пористости e	Коэффициент водонасыщенности Sr	Показатели консистенции		Лабораторная крыльчатка, сопротивление срезу, кПа	Примечания
		текучести WL, д.е.	раскатывания Wp, д.е.								IL	СВ		
18-ГГ-5-Т	0-30	1.202	0.921	0.281	0.054	2.135	1.22	2.63	5.758	0.98	4.32	1.78	1.5	ил глинистый
18-ГГ-5-Т	30-53	1.164	0.988	0.176	0.052	2.1	1.24	2.64	5.6	0.99	6.32	1.71	1.4	ил глинистый
18-ГГ-5-Т	53-76	1.229	0.836	0.393	0.051	2.09	1.22	2.64	5.687	0.97	3.19	1.5	1.8	ил глинистый
18-ГГ-5-Т	76-99	1.178	0.838	0.34	0.054	1.955	1.24	2.63	5.267	0.98	3.29	1.43	3.6	ил глинистый
18-ГГ-5-Т	99-122	1.24	0.939	0.301	0.057	1.894	1.25	2.63	5.089	0.98	3.17	1.3	2.4	ил глинистый
18-ГГ-5-Т	122-145	1.277	0.922	0.355	0.061	1.949	1.24	2.62	5.231	0.98	2.89	1.43	3.2	ил глинистый
18-ГГ-6-Т	0-35	1.395	1.074	0.321	0.074	3.144	1.13	2.61	8.572	0.96	6.45	2	0.4	ил глинистый
18-ГГ-6-Т	35-60	1.187	0.802	0.385	0.056	2.055	1.19	2.63	5.752	0.94	3.25	1.5	3.6	ил глинистый
18-ГГ-6-Т	60-85	1.416	1.044	0.372	0.06	2.23	1.19	2.63	6.139	0.96	3.19	1.63	2.6	ил глинистый
18-ГГ-6-Т	85-110	1.34	1.04	0.3	0.064	2.325	1.18	2.62	6.383	0.95	4.28	1.63	2.6	ил глинистый
18-ГГ-3-Т	0-30	1.034	0.913	0.121	0.057	1.922	1.24	2.63	5.197	0.97	8.34	1.4	2.4	ил суглинистый
18-ГГ-3-Т	30-53	1.099	0.946	0.153	0.044	2.285	1.2	2.74	6.501	0.96	8.75	1.6	2.4	ил суглинистый
18-ГГ-3-Т	53-76	1.291	1.119	0.172	0.056	2.164	1.21	2.63	5.877	0.97	6.08	1.27	2.1	ил глинистый
18-ГГ-3-Т	76-99	1.149	0.863	0.286	0.059	2.181	1.21	2.63	5.914	0.97	4.61	1.63	3.1	ил глинистый
18-ГГ-3-Т	99-122	1.248	0.782	0.466	0.057	1.884	1.24	2.63	5.117	0.97	2.36	1.6	4.6	ил глинистый
18-ГГ-3-Т	122-145	1.258	0.853	0.405	0.056	1.906	1.23	2.63	5.214	0.96	2.6	1.43	3.1	ил глинистый

Таблица 15. Результаты испытаний на определение физико-механических свойств грунтов ст. 18-ГГ-4Т

№ т.н.	Глубина отбора проб, см	Влажность на границе		Число пластичности Ip	Потери при прокаливании, д.е. 350°C	Природная влажность W, д.е.	Показатели консистенции IL	Примечания
		текучести WL, д.е.	раскатывания Wp, д.е.					
18-ГГ-4-Т	0-15	1.101	0.728	0.373	0.053	2.051	3.55	ил глинистый
18-ГГ-4-Т	15-30	1.125	0.732	0.393	0.06	2.034	3.31	ил глинистый
18-ГГ-4-Т	30-39	1.147	0.742	0.405	0.058	1.956	3	ил глинистый
18-ГГ-4-Т	39-46	1.099	0.722	0.377	0.055	1.996	3.38	ил глинистый
18-ГГ-4-Т	46-55	1.264	0.759	0.505	0.066	1.996	2.45	ил глинистый
18-ГГ-4-Т	55-65	1.124	0.779	0.345	0.068	1.995	3.52	ил глинистый
18-ГГ-4-Т	65-75	1.218	0.835	0.383	0.07	2.201	3.57	ил глинистый
18-ГГ-4-Т	75-85	1.256	0.831	0.425	0.074	2.306	3.47	ил глинистый
18-ГГ-4-Т	85-90	1.319	0.834	0.485	0.066	2.266	2.95	ил глинистый
18-ГГ-4-Т	90-100	1.178	0.836	0.342	0.066	2.197	3.98	ил глинистый
18-ГГ-4-Т	100-115	1.151	0.739	0.412	0.069	1.995	3.05	ил глинистый
18-ГГ-4-Т	115-135	1.284	0.713	0.571	0.073	2.187	2.58	ил глинистый
18-ГГ-4-Т	135-143	1.244	0.805	0.439	0.072	1.924	2.55	ил глинистый

Выводы по состоянию геологической среды в пункте наблюдений «Район о-ва Гогланд»

1. Геологическое строение пункта наблюдений «Район о-ва Гогланд» характеризуется значительной расчлененностью поверхности ледниковых отложений, формирующей подводные поднятия и впадины (седиментационные бассейны), где мощность послеледниковых отложений достигает 60 м, а мощность голоценовых илов – более 10 м. По данным анализа материалов НСАП осевые части седиментационных бассейнов характеризуются широким развитием газонасыщенных илов.

2. Анализ результатов многолучевого эхолотирования позволил выявить многочисленные протяженные линейные, иногда ветвящиеся отрицательные формы рельефа (длиной до нескольких километров, поперечным сечением (шириной) – десятки метров (до 100-120 м), относительной глубиной около 5 м). Детальный анализ материалов НСАП позволил выявить захороненные ложбины с аналогичными морфометрическими параметрами, в настоящее время занесенные пелитово-алевроитовыми илами. Выделяются также ложбины, огибающие положительные формы донного рельефа, представляющие собой в основном моренные и флювиогляциальные гряды. Эти изогнутые ложбины, вероятно, образованы за счет действия контурировых течений. Вторым типом мезорельефа дна являются кратерообразные структуры (покмарки) диаметром до 15 м и гигантские кратеры в ледниково-

озерных и ледниковых отложениях диаметром до 120 м).

3. Проведенный анализ показал, что высокие концентрации метана фиксируются только в толще газонасыщенных илов. Вне зоны развития газонасыщенных отложений (в том числе в пределах ложбин и кратеров) содержание метана в донных осадках на один-два порядка ниже. При этом не выявлено значимых различий в содержании метана полей газонасыщенных илов в пределах и вне подводных ложбин. Таким образом, на данном этапе исследований взаимосвязи газопроявлений с ложбинами не установлено. Генезис ложбин также остается неясным.

4. Изотопный состав метана ($\delta^{13}\text{C}$) в пробах донных отложений, отобранных в 2018 г. в пределах пункта наблюдений «Район о-ва Гогланд», находится в интервале значений от -61.4 до -76.1 ‰, что, как и для результатов, полученных в пункте наблюдений «Копорский залив», позволяет предполагать его низкотемпературный, малоглубинный (бактериальный) генезис. Однако анализ всего массива данных по изотопному составу метана, полученных в 2016-2018 гг. (среднее значение -66.2 ‰, минимальное -55.9 ‰, максимальное -76.8 ‰), не исключает примеси термогенной компоненты. Вопрос требует дальнейшего изучения с расширением спектра изотопных методов исследований.

РАЙОН РАБОТ «РОССИЙСКИЙ СЕКТОР ЮГО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ БАЛТИЙСКОГО МОРЯ (КАЛИНИНГРАДСКИЙ ШЕЛЬФ)»



Геолого-геофизические работы были выполнены на 3 пунктах наблюдений. На двух прибрежных ключевых участках «Основание Куршской косы» и «Северное побережье Самбийского п-ова» работы включали профилирование методами ГЛБО, а также отбор грунтов с использованием бокс-корера и подводное фототелепрофилерование. В пункте наблюдений «Западное побережье Самбийского полуострова» в акватории было выполнено только профилирование методом ГЛБО. Работы, предполагающие контакт с донной поверхностью, в частности донный пробоотбор, в 2018 г. здесь по-прежнему не были разрешены. Всего было выполнено 90 км ГЛБО, поверхностный отбор проб и образцов донных грунтов был осуществлен на 10

станциях, подводное фототелепрофилерование – на пяти станциях.

Береговые обследования в районе работ «Калининградский шельф» были проведены в пунктах наблюдения «Северное побережье Самбийского полуострова», «Западное побережье Самбийского полуострова» и «Основание Куршской косы». Выполнялось плановое инженерно-геологическое обследование территорий с изучением инженерно-геологических опорных разрезов, вдольбереговые маршруты протяженностью 40 км, нивелировки по опорным профилям, наблюдения за интенсивностью экзогенных геологических процессов и техногенеза в береговой зоне.

Пункт наблюдений «Северное побережье Самбийского полуострова»

Состав наблюдательной сети. Виды наблюдений

Плановое маршрутное береговое инженерно-геологическое обследование (15 км) территорий и инженерно-хозяйственных объектов, подверженных негативному воздействию опасных ЭГП в пункте наблюдения «Северное побережье Самбийского полуострова» проводилось в июне 2018 г. (рис. 70). Оперативные наблюдения в прибрежной зоне пункта наблюдений были выполнены 14-15 ноября 2018 г. после прохождения экстремального шторма. Было выполнено повторное инженерно-геологическое описание и отбор проб на двух опорных разрезах: 18-ССР-II (вблизи дер. Филино) и 18-ССР-I (близ порта г. Пионерский). В ходе работ выполнялось описание геологического строения берегового уступа и пляжа, сопровождающиеся отбором образцов отложений, фиксацией элементов залегания пород и крутизны склонов обнажений. На разрезах было отобрано 14 образцов на гранулометрический анализ и три монолита на комплексное изучение физических и физико-механических свойств грунтов. Каждая проба песка сопровождалась отбором проб на влажность для более точного построения колонок в дальнейшем. Для слоев грунтов, из которых были отобраны монолиты, а также для наиболее выраженных и мощных прослоев глинистых грунтов при полевом описании были проведены испытания карманным пенетрометром и сдвигомером-крыльчаткой.

В субаквальной части пункта наблюдений ГЛБО выполнялось на 1-й площадке (4 профили

субпараллельно береговой линии общей протяженностью 30 км), протягивающейся от молв порта Пионерский до западных окраин г. Светлогорск. Данные профили повторяют площади, для которых профилирование ГЛБО уже выполнялось ранее. Задачей повторных исследований было изучение возможных изменений литодинамической обстановки и распределения донных грунтов в 2017-2018 гг. в связи с масштабными берегозащитными работами вдоль берега восточной окраины г. Светлогорск и реконструкцией порта Пионерский. Для интерпретации данных геофизической съемки, уточнения карт-врезок: литологической и опасных ЭГП, а также определения физико-механических свойств грунтов выполнен отбор грунтов на пяти станциях. На этих же станциях выполнено фототелепрофилерование для более объективной характеристики распределения донных грунтов.

Эзогенные геологические процессы

Результаты полевых обзорных инженерно-геологических обследований, выполненных в июне 2018 г. на северном побережье Самбийского полуострова, выявили интенсивное проявление комплекса склоновых процессов на установленных ранее участках их развития. На участке берега от бухты в пос. Филино до променада в г. Светлогорск практически на всем протяжении абразионные уступы характеризуются активным развитием оползней, осыпей, а на отдельных участках и обвалов (рис. 71).

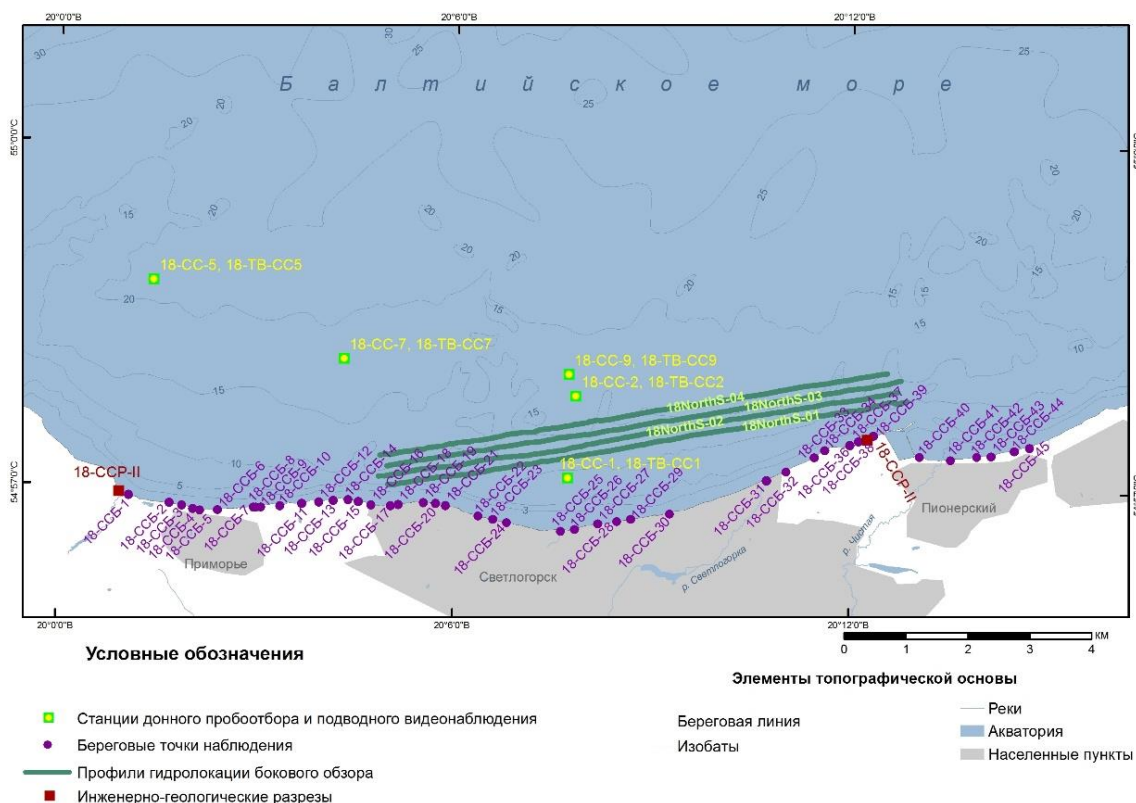


Рисунок 70. Карта фактического материала в пункте наблюдений «Северное побережье Самбийского полуострова»

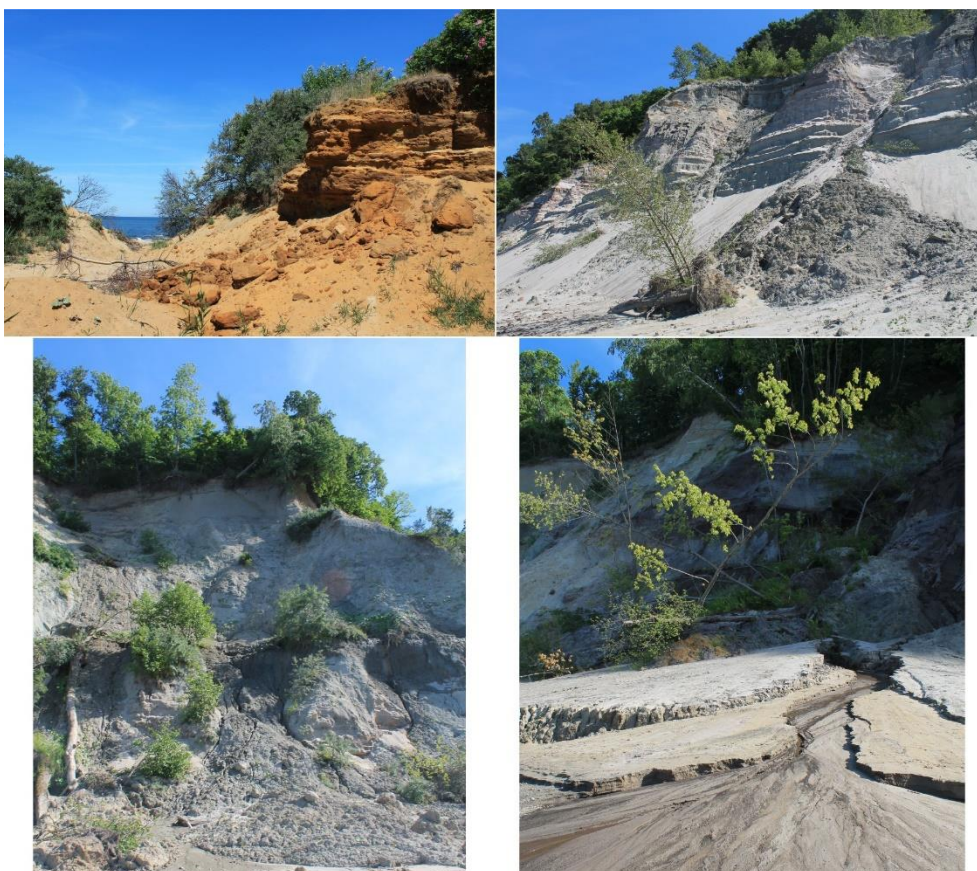


Рисунок 71. Склоновые процессы северного побережья Самбийского п-ва. Фото 7-8 июня 2018 г.

Водонасыщенность осадочных отложений приводит к формированию делювиально-пролювиальных образований на пляже. Пролувиальные конусы образуют шлейфы на пляже. В точке с координатами 54.94645 с. ш.; 20,10333 в. д. (конус длиной 45 м, шириной 13 м и высотой около 3 м) ручей формирует эрозионный уступ в теле конуса высотой до 0.7 м. Осадки, слагающие конус, представлены тонким переслаиванием глинистых и алевроито-глинистых слоев мощностью 1-3 мм, отдельные прослойки обогащены дисперсным органическим веществом, осадки серые и темно-серые хорошо сортированные. На протяжении всего участка береговой зоны склоны подвергаются активной эрозии.

В 2018 г. продолжается разрушение берегозащитных сооружений (как старых бетонных сооружений, так и недавно возведенных габионов в основании склонов). В 2017 году аварийная ситуация сложилась на восточном крае променада перед ФГБУ «Государственный комплекс «Янтарь», где возведение вертикальной проницаемой бетонной стенки в основании променада спровоцировало полный размыв песчаного пляжа перед променадом и подмыв основания укрепленного склона, в результате чего возникли провалы крупных блоков грунта и формирование активного абразионного уступа на расстоянии до 2-3.5 м от края променада.

Под угрозой оказались подземные коммуникации, парковые дорожки, элементы декора (фонари) и устойчивость склона в целом. В момент наблюдений в 2017 году (14.07.2017) водолазами велись аварийные работы (обшивка мористого края основания променада сплошной волноотбойной стенкой из толстого пластика, укрепленного на 2 рядах металлических горизонтальных конструкций). В отчете 2017 г. был дан прогноз, что выбранный метод в долгосрочной перспективе приведет к усилению прикорневого размыва сооружения и усугубит сложившуюся ситуацию.

Наблюдения 2018 г. подтвердили правильность предположения о малоэффективной берегозащите этого участка береговой зоны. Непроницаемая волноотбойная стенка из прочного пластика, которая возводилась на момент наблюдений в 2017 году и

крепилась на металлическом каркасе, разрушена почти целиком: остались только незначительные фрагменты пластиковой стенки и металлические крепления, также в значительной степени разрушенные; пляж на этом участке береговой зоны практически отсутствует, абразионные процессы на склоне за променадом продолжаются (рис. 72).

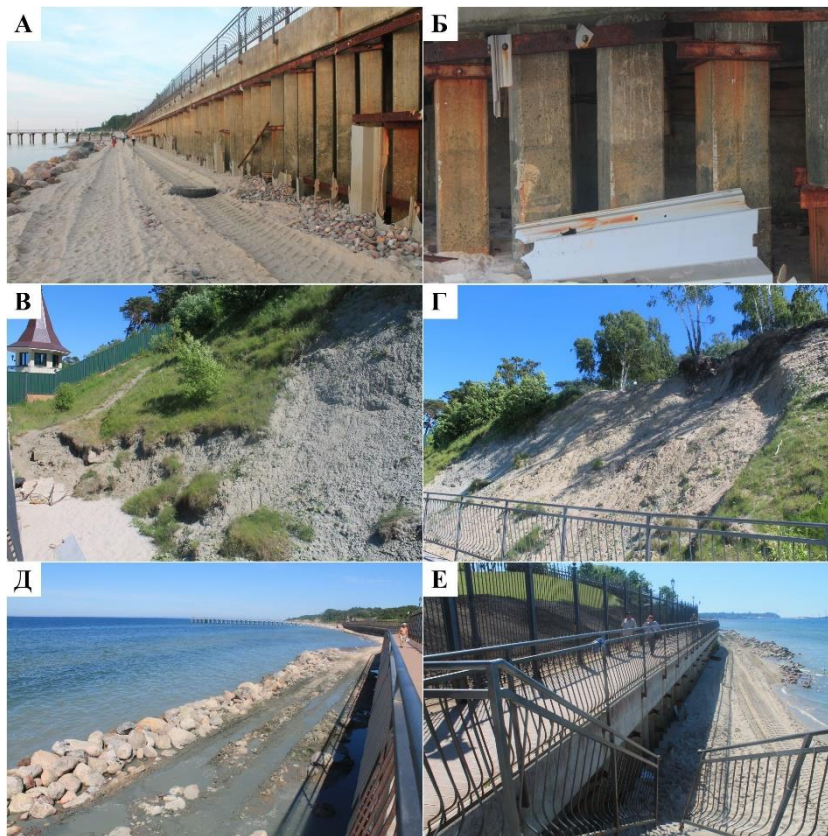


Рисунок 72. Абразионные процессы в восточном конце променада в г. Пионерский, 2018 г.: А, Б – разрушение волноотбойной стенки перед пирсом в Пионерской бухте; абразионные процессы на склоне в восточной части променада: В – т. н.18-ККБ-43, Г – т. н.18-ККБ-43; деградация пляжей в восточной части Пионерской бухты: Д – т. н. 18-ККБ-44, Е – т. н. 18-ККБ-45

На момент наблюдений в 2018 году (7-8 июня) в восточной части променада пляж был закрыт на ремонтно-восстановительные работы по созданию новых берегозащитных бун из двух рядов бревен лиственницы с валунной отсыпкой между ними, одновременно велись работы по планированию склонов в районе ФГБУ «Государственный комплекс «Янтарь» с засыпанием склонов до самого променада и укреплением их защитной сеткой (рис. 73, 74).

Возведенные летом берегозащитные сооружения (22 бунны по 50 м длиной и продольный каменный вал) были испытаны на прочность осенним штормом 2018 г.; шторм произошел 23-24 октября,



Рисунок 73. Ремонтно-восстановительные работы в восточной части Пионерской бухты в 2018 г.



Рисунок 74. Планирование склонов за променадом в восточной части Пионерской бухты в 2018 г.

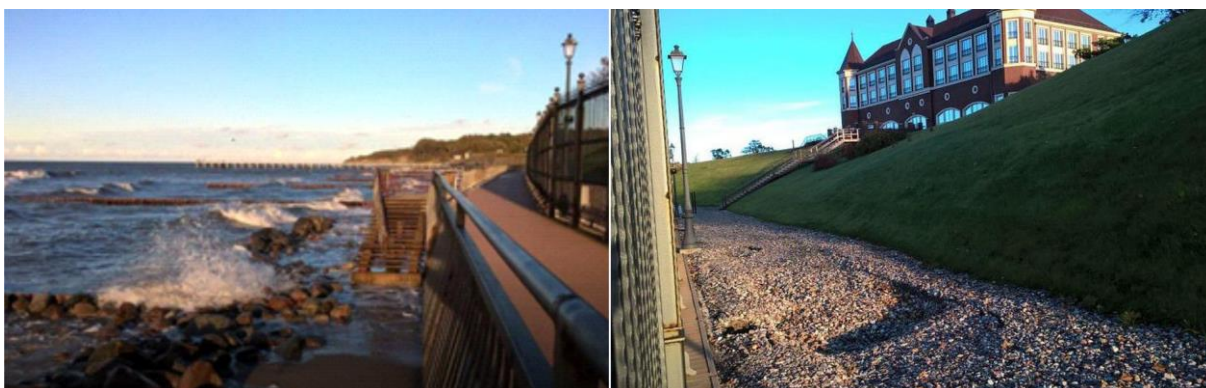


Рисунок 75. Полная деградация песчаного пляжа и провалы грунта на территории резиденции в восточной части Пионерской бухты в результате шторма 23-24 октября 2018 года (фото О. Гончаровой, <https://www.kaliningrad.kp.ru/daily/26890/3935229>)

порывы ветра (ССЗ) достигали 23 м/с, а высота волн – 3 м (<https://rp5.ru/Архив>). В результате шторма пляж был размыв, металлические ограждения променада смещены, а на территории резиденции появились провалы (рис. 75). Таким образом, созданные берегозащитные сооружения без отсыпки искусственного пляжа оказались неэффективны.

К середине ноября пляж частично восстановился, но шторм оставил

следы разрушения на береговых склонах (рис. 76).



Рисунок 76. Восстановление пляжа после шторма (А) и оползневые процессы на склонах (Б) в Пионерской бухте после шторма 23-24 октября 2018 года (фото А.В. Крека, 14 ноября 2018 г.)

Таблица 16. Результаты испытаний на определение физико-механических свойств грунтов пункта наблюдений «Северное побережье Самбийского п-ова»

№ монолита	Влажность на границе		Число пластичности Ip	Потери при прокаливании, д.е. 350 °С	Природная влажность W, д.е.	Плотность грунта ρ, г/см ³	Плотность частиц грунта ρ _р , г/см ³	Коэффициент пористости e	Коэффициент водонасыщенности Sr	Показатели консистенции		Удельное сцепление с, МПа	Угол внутреннего трения φ, градус	Примечания
	текуче-сти WL, д.е.	раскаты-вания W _p , д.е.								IL	СВ			
18-ССР-I-2	0,264	0,175	0,089	0,026	0,198	2,05	2,71	0,584	0,92	0,26	0,19	0,03	12	Сугл. тпл бурый, неоднород., с вкл. серой глины и песка
18-ССР-I-8	0,395	0,224	0,171	0,038	0,242	1,9	2,75	0,798	0,83	0,11	-0,04	0,095	17	глина п/твердая серо-кор.
18-ССР-II-9	0,205	0,138	0,067	0,015	0,162	2,11	2,7	0,487	0,9	0,36	0,12	0,032	26	супесь пласт. зелено-бурая с ед.вкл. древе-свы

Таблица 17. Результаты проведения полевых испытаний пенетрометром и сдвигомером-крыльчаткой в пункте наблюдений «Северное побережье Самбийского п-ова»

Обнажение	Положение в разрезе	Сопротивление грунта вращательному срезу, кг/см ²	Удельное сопротивление пенетрации, кг/см ²
18-ССР-I	Слой с монолитом 18-ССР-I-2	0,4	1
18-ССР-I	Слой с монолитом 18-ССР-I-8	1,4	4,6
18-ССР-II	Тонкий слой суглинков под монолитом 18-ССР-II-9	1,1	2,4
18-ССР-II	Слой с монолитом 18-ССР-II-9	1,9	5,1

Профиль 18-ССР-I (2018 г.)
 близ порта г. Пионерский. Калининградская область (54,95753°с.ш.,20,20427°в.д.)

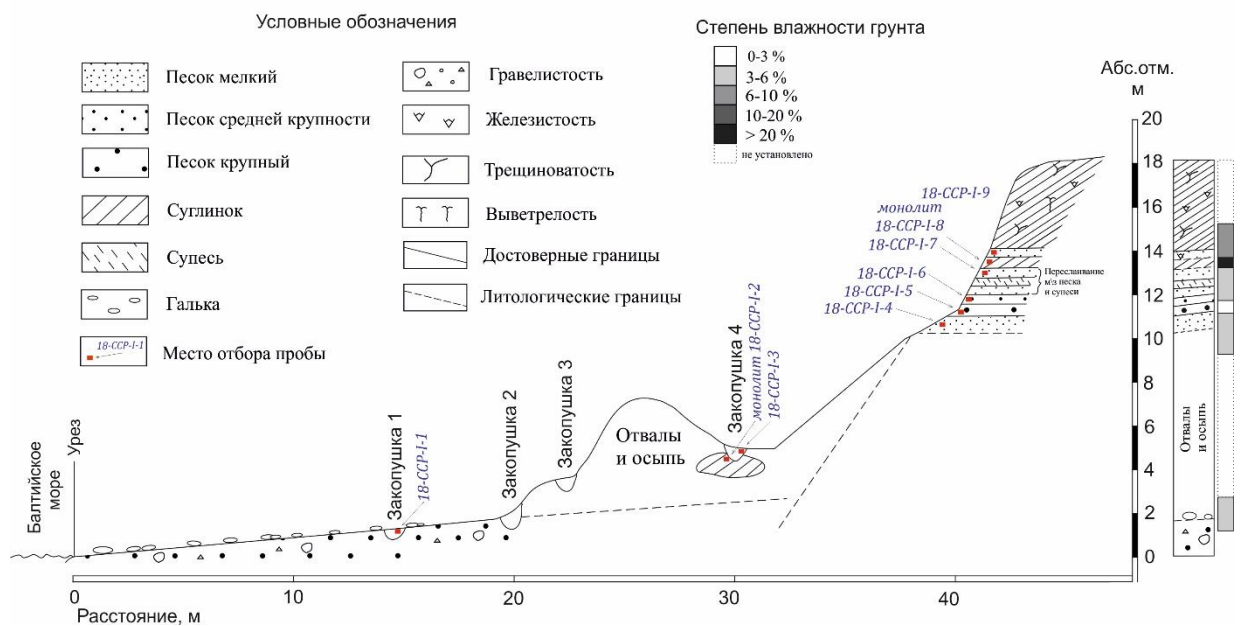


Рисунок 77. Инженерно-геологический разрез 18-ССР-I

В районе порта г. Пионерский было выполнено повторное описание геологического разреза 18-ССР-I. Обнажение имеет форму цирка. Кровля уступа залесена лиственными деревьями. Береговой уступ в месте данного обнажения имеет наибольшую высоту. Почти на всем склоне, даже на довольно крутых участках, развит травяной покров, что, очевидно, свидетельствует об уменьшении частоты обрушений на изучаемом склоне. Об

этом свидетельствует и малое количество изменений в строении уступа за прошедший год. Под обнажением – обвалы и осыпи различных форм и времени образования. Также под склоном отмечены заросшие и запывшие ямы старателей и отвалы.

Ширина пляжа в 2018 г. осталась практически неизменной с 2017 г. и составила 20 м. Пляж сложен песком с преобладанием крупнозернистой фракции и примесью гравия. В приустьевой части пляж перекрыт галькой и валунами до 5-30 см в

диаметре. На участке пляжа, граничащем с отвалами, на глубине от 40 см встречаются небольшие линзы пород глинистого состава. В нижней части уступа преобладает мелкозернистый песок светло-бежевого цвета. В толще песков встречаются валуны диаметром до 15 см. Выше по разрезу песок увеличивает крупность до крупнозернистого. Пески послойно ожелезнены и содержат прослойки суглинков 1-4 см.

Верхняя часть обнажения сложена твердыми, трещиноватыми, выветрелыми с поверхности глинистыми отложениями (рис. 77, 78).



Рисунок 78. Верхняя, наименее устойчивая часть берегового уступа разреза 18-ССР-I

Трещиноватость хаотичная, частая и мелкая. По трещинам наблюдаются следы ожелезнения. Влажность песков колеблется в интервале от 0 до 5 %. Наибольшая влажность (до 25 %) наблюдается в верхней части разреза, где преобладают глинистые породы. В целом на момент наблюдений активная динамика на склоне не наблюдалась.

В районе пос. Фирино было выполнено повторное описание геологического разреза 18-ССР-II мощностью около 25 м. Разрез 2018 г. показан на рис. 83, 84. Уступ расположен на территории заброшенного детского лагеря отдыха. В настоящее время на территории лагеря начаты работы по реконструкции сооружений. В период трехлетнего мониторинга по данным наблюдений фиксируются активные процессы отступания бровки абразионно-осыпного уступа. Так, тропа, проходившая в 2017 г. по верхнему краю уступа, в 2018 г. практически полностью обрушилась. Осыпалось большое количество отложений, в результате чего у основания наблюдавшегося в 2017 г. вертикального уступа, сложенного плотным песчаником, в 2018 г. сформировалась осыпь, высота которой достигала практически половины высоты уступа.

Уступ представляет собой выход песчаных пород в обрыве Северного побережья Самбийского полуострова. Ширина выхода стенки (практически вертикальной) ожелезненных песчаников фации «крант» – около 100 м. Более пологие части склона задернованы. На некоторых участках склона растут деревья и кусты, очевидно съехавшие сверху вместе с почвой. Осыпь под песчаниками в 2018 году заметно увеличилась в сравнении с 2017 г., видимая, доступная для описания часть стенки уменьшилась.

Пляж галечно-валунный. Галька и валуны различного диаметра. По мере приближения к уступу средний размер валунов и гальки уменьшается. В тыловой части пляжа расположено полуразрушенное берегозащитное сооружение 1980-х годов, возведенное с использованием автомобильных покрышек. В результате активного волнового воздействия в настоящее время сооружение более не выполняет своих функций; покрышки частично засыпаны песком. Ширина пляжа до начала осыпи – 17 м. По данным наблюдений, ширина пляжа увеличилась с 2017 года в результате размыва отвалов и осыпей.

Отложения, слагающие вертикальную стенку, представлены чередованием среднезернистого песка цветов от серого до коричневого и красно-коричневых песчаников со следами ожелезнения. Во всей толще наблюдается субгоризонтальная слоистость, мощность слоев от 1-2 мм до первых десятков сантиметров. Во всей толще много гравийных включений. Отобрать пробы на участке в районе перегиба не удалось из соображений безопасности.

Выше перегиба склона, который отчетливо виден и на photographиях (рис. 80), и на схемах (рис. 79), выполнялась зачистка склона. Песок, слагающий этот участок склона, по большей части кварцево-глауконитовый, преимущественно среднезернистый, светло-коричневый, со следами ожелезнения, с линзами серого песка. Склон на этом участке более пологий, что, очевидно, вызвано меньшей плотностью и цементацией отложений. По мере приближения к верхней части толщи песчаных пород прослоев ожелезнения становится меньше. В толще наблюдается субгоризонтальная слоистость, исчезающая в верхней части.

В результате изменения рельефа уступа в 2018 г. удалось выполнить описание и отбор проб в прослое глинистых пород в верхней части склона, которую не удалось достичь в 2017 году. Был отобран монолит. Граница между песками и глинистыми породами четкая, неровная. Это супесь пластичная, с удельным сцеплением $c = 0.032$ МПа и углом

внутреннего трения 26° . Плотность – 2.11 г/см^3 .
Выше – супесь с большим количеством валунов и

гальки. Выше отбор проб невозможен ввиду недоступности склона.

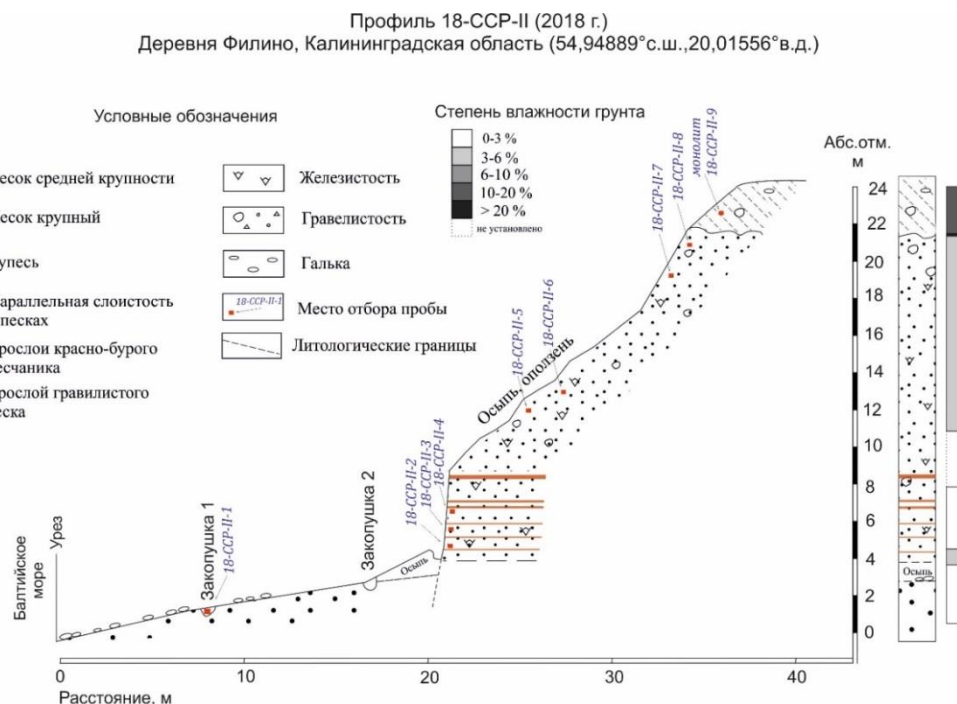


Рисунок 79. Инженерно-геологический разрез в пос. Фирино (18-ССР-II)



Рисунок 80. Общий план обнажения 18-ССР-II (2018 год)

Основное разрушающее влияние на берега пункта наблюдений оказывает воздействие волн, особенно этот процесс заметен на склоне у пос. Фирино. Если в дальнейшем планируется возродить и эксплуатировать комплекс на исследуемом участке, то необходимо серьезно задуматься о безопасности. Участок требует постоянного мониторинга и укрепления склонов. Уступ в районе порта города Пионерский более стабилен, чем на других рассматриваемых участках, очевидно, из-за большой ширины пляжа и, как следствие, большей удаленностью абразионного уступа от уреза воды. Но

и этот участок тоже подвержен риску обрушения в период затяжных дождей и сильных штормов.

В 2018 году в Пионерском было начато строительство международного морского терминала. Объект должны ввести в эксплуатацию к 2020 году. Создание портовой инфраструктуры на территории Калининградской области предусмотрено федеральной целевой программой «Развитие транспортной системы России» на 2010–2020 годы». По проекту строительство должно вестись в четыре этапа, первый из них займет почти два года, в результате порт сможет принимать круизные лайнеры. Для завершения всех работ потребуется более 4 лет. Будет построен оградительный мол длиной 771 м, два причала грузопассажирского терминала (длиной 365 м и 360 м), 110-метровый причал для судов портового флота, берегоукрепительные сооружения внутри гавани протяженностью 245 м. В 2018 году начались дноуглубительные работы на площади 30.6 гектара, всего предстоит извлечь 1.2 млн кубометров грунта.

Профилирование ГЛБО в режиме мониторинга в субаквальной части пункта наблюдений в 2018 г. было выполнено с целью изучения возможных изменений литодинамической обстановки и распределения донных грунтов в связи с масштабными берегозащитными работами вдоль берега восточной окраины г. Светлогорск и реконструкцией порта Пионерский. В ходе этой реконструкции,

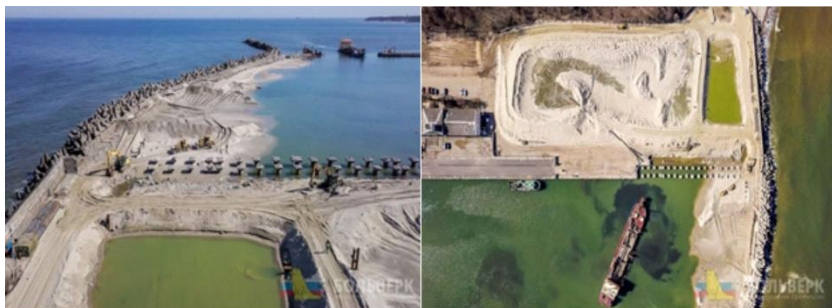


Рисунок 81. Строительство мола в Пионерском, складирование песка, извлеченного с морского дна при проведении дноуглубительных работ по подходным судовым каналам (<https://sdelanounas.ru/blogs/106974>)

кроме расширения и изменения конфигурации молы порта Пионерский, в пределах старого фарватера и на площади дна вокруг него земснарядом были изъяты и перевезены на берег значительные объемы песка. Выяснить объем изъятых со дна грунта не удалось, но судя по визуальному осмотру он составляет десятки тысяч кубометров (рис. 81).

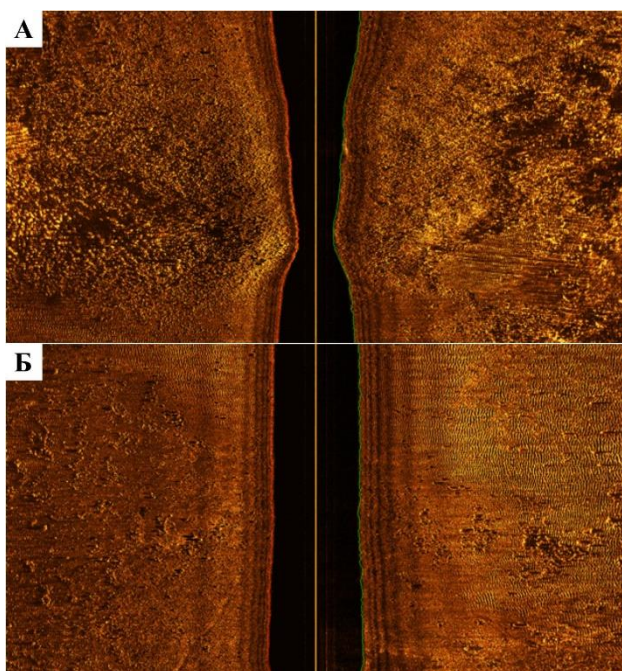


Рисунок 82. Поверхность морского дна на записи ГЛБО (ширина полосы – 200 м). Зоны размыва морского дна: А – моренная гряда, Б – россыпи валунов на поверхности морского дна

Анализ записей ГЛБО показал, что можно предположить расширение зон размыва морского дна за счет возрастания дефицита песчаного материала, обусловленного изъятием песка в восточной оконечности пункта наблюдений (рис. 82), и увеличение площадей динамических песков, характеризующихся хорошо проявленными крупными знаками ряби, фиксируемыми на сонарограммах (рис. 83).

Данные о гранулометрическом составе грунтов в совокупности с визуализацией поверхностных микроформ рельефа позволяют с высокой степенью достоверности оценивать литодинамические условия на площади пункта наблюдений и, соответственно, прогнозировать возможное развитие экзогенных процессов.

Выводы по состоянию геологической среды пункта наблюдений «Северное побережье Самбийского полуострова»

В 2018 г. по данным плановых обследований береговая зона пункта наблюдения «Северное побережье Самбийского полуострова» на участках от Филинской бухты до г. Светлогорск характеризовалась устойчиво высоким уровнем развития опасных ЭГП, к которым относятся комплекс гравитационно-эрозионных процессов, оползневые, осыпные, обвальные процессы, провоцируемые морской абразией, а также боковая эрозия. На ряде участков сохраняются предаварийные и аварийные ситуации для жилой (в том числе многоэтажной) застройки приморских поселений.

В 2018 г. в г. Светлогорск продолжались масштабные берегозащитные работы и началась активная реконструкция порта Пионерский. В ходе реконструкции существенно изменяется береговая линия в районе порта за счет отсыпки и строительства новых молы. По подходному фарватеру и в бухте в 2018 г. производились дноуглубительные работы, сопровождавшиеся перемещением песчаного грунта на берег и его складированием на территории порта. Извлеченный песчаный грунт используется для отсыпки новых молы. В связи с изъятием песчаного грунта со дна в субаквальной части пункта можно ожидать локальной перестройки литодинамических процессов в береговой зоне.

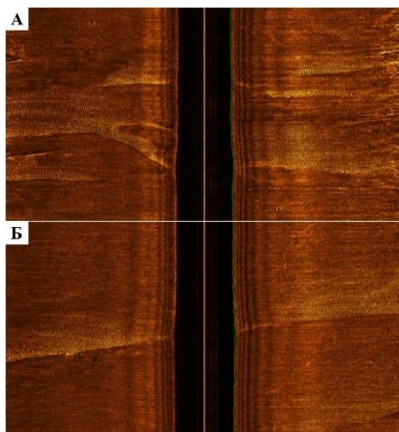


Рисунок 83. Поверхность морского дна на записи ГЛБО (ширина полосы – 200 м). Зоны развития динамических песков: А – «языки» распространения динамических песков (ложбины стока (?)), Б – граница между более грубозернистыми динамическими песками и выровненной поверхностью покровных тонкозернистых песков

Осенний шторм 2018 года показал неэффективность возведенных берегозащитных сооружений. В результате активной абразии склонов образовались провалы грунта, в том числе и в районе Государственной резиденции «Янтарь». Здесь под угрозой оказались подземные коммуникации, парковые дорожки, элементы декора и устойчивость склона в целом.

По данным инженерно-геологических исследований разрезов, основное разрушающее влияние на берега пункта наблюдений оказывает воздействие волн. У подножья исследуемых уступов по-прежнему наблюдаются ямы и отвалы, представляющие собой следы деятельности нелегальных старателей, добывающих янтарь. В результате этих локальных нарушений целостности грунтов на пляжах и склонах довольно часто происходят обвалы.

Пункт наблюдений «Западное побережье Самбийского полуострова»

Состав наблюдательной сети. Виды наблюдений

Плановое инженерно-геологическое обследование по западному берегу Самбийского п-ова осуществлялось в июне 2018 г. В ходе маршрута (15 км) фиксировались последствия проявления опасных ЭГП, участки их развития и проводились измерения показателей их активности. Проведено нивелировочное профилирование по трем мониторинговым профилям (рис. 84). В пределах пункта было выполнено повторное инженерно-геологическое описание и отбор проб на двух опорных разрезах: 18-ССР-III (близ пос. Янтарный), 18-ССР-IV (неподалеку от пос. Донское). На разрезах отобрано 22 образца на гранулометрический анализ и пять монолитов на комплексное изучение физических и физико-механических свойств грунтов. Каждую пробу сопровождала проба на влажность. Для некоторых глинистых грунтов, слагающих склон, при полевом описании были проведены испытания карманным пенетрометром и сдвигомером-крыльчаткой.

В пределах субаквальной части пункта наблюдений было выполнено профилирование ГЛБО на 1-й площадке (6 профилей общей протяженностью 20 км). Целью проведения ГЛБО является уточнение площадей активного проявления ЭГП (размыв морского дна, гравитационные обвальные процессы и т. д.) для актуализации карты проявления опасных ЭГП и литологической карты. Донный

пробоотбор, как и любые другие виды работ, предполагающие контакт с дном, в том числе донное фотовидеопрофилирование, в пределах участка по-прежнему запрещены ВМФ. Запрет на использование контактных методов не останавливает подводную добычу янтаря на склонах банок, протягивающихся вдоль западного побережья Самбийского п-ова.

Экзогенные геологические процессы

Пункт наблюдения «Западное побережье Самбийского п-ова» характеризуется активной литодинамикой, что во многом определяется и антропогенными факторами. На берегу в пределах пункта наблюдений расположены карьеры месторождений янтаря. В результате сброса алевропесчаного материала (пульпы) в береговой зоне образован техногенный конус выноса, размыв которого обеспечивает дополнительным осадочным материалом пляжи не только прилегающей береговой зоны, но и берега Балтийской косы. В пределах ключевого участка обследования, расположенного на западном берегу Самбийского п-ова, абразионный береговой уступ, выработанный в палеоген-четвертичных отложениях, представлен активным и стабилизированным клифами. Стабилизация (отмирание) уступа произошла в результате техногенного вмешательства в баланс наносов в береговой зоне в результате сброса пульпы и формирования

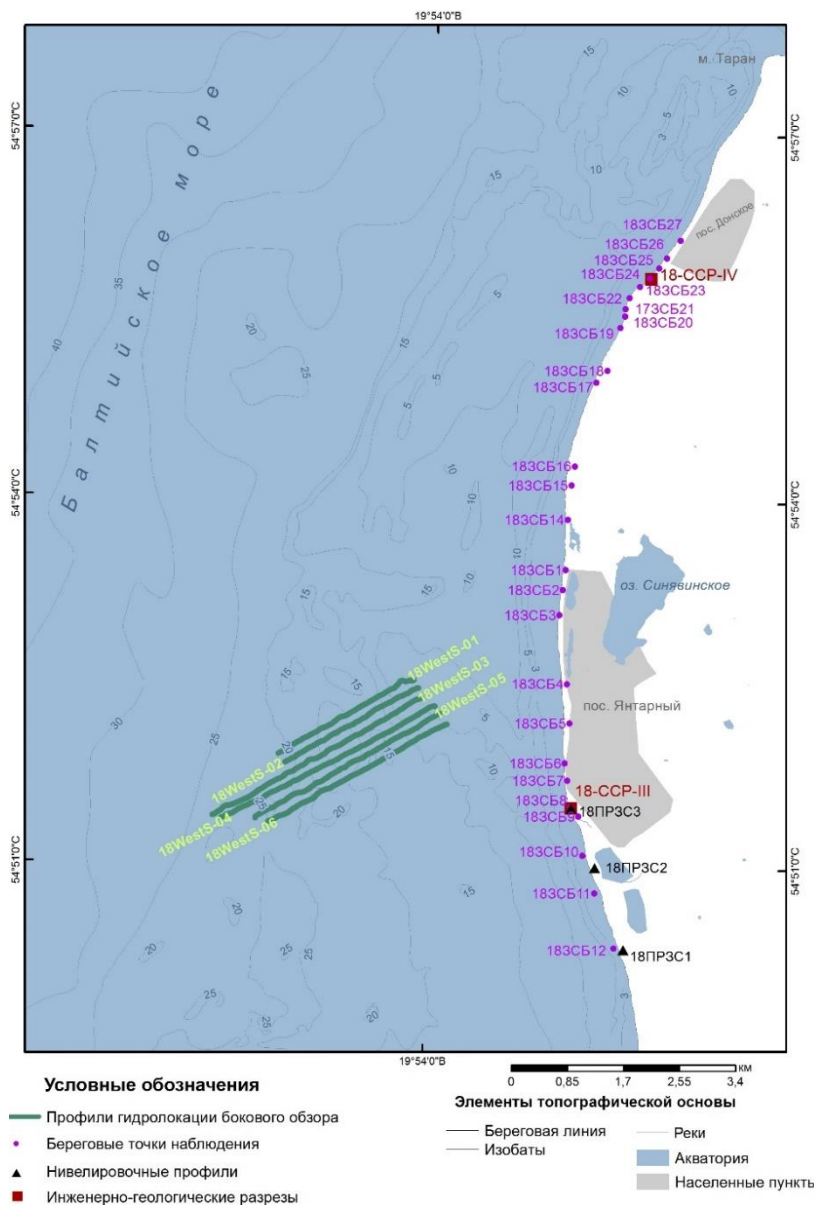


Рисунок 84. Карта фактического материала в пункте наблюдений «Западное побережье Самбийского полуострова» в 2018 г.

Стабилизированные клифы в настоящее время на большей протяженности берега задернованы и на них локально проявлены активные склоновые экзогенные геологические процессы. Абразионное воздействие на берегах этого типа проявлено в техногенных террасах, в результате чего происходит

терриконов отвалов Янтарного комбината, функционирующего на побережье в районе пос. Янтарный.

выработка невысокого абразионного уступа, который довольно быстро осыпается, нивелируя профиль береговой зоны. Для участка берега от пос. Янтарный до пос. Синявино характерно проявление активной техногенной аккумуляции, вызванной сбросом пульпы Янтарного комбината непосредственно в береговую зону. Сброс пульпы приводит к выдвиганию береговой линии в море на 130 м при ширине техногенной дельты около 500 м. В зависимости от расположения места сброса положение дельты меняется. По данным мониторинга с 2012 г., этот участок берега является зоной мощнейшей техногенной аккумуляции и постоянно меняет свое положение. Относительно 2016 г. положение конуса выноса сместилось на север на 480 м, и менее чем за год на новом месте был образован новый конус выноса. Высокая динамика трансформации береговой линии в ходе наблюдений в июне 2018 г. фиксировалась с помощью записи трека с GPS приемника и анализировалась при сравнении космоснимков (рис. 85).

В результате смещения места сброса пульпы техногенное вмешательство приводит к мгновенному размыву прежнего конуса выноса и росту нового. В результате в техногенной дельте формируется абразионный уступ, который фиксировался при проведении нивелировочного профилирования (рис. 86). Поступления новой порции осадочного материала в береговую зону привело к образованию перед ним новой области аккумуляции и его временному отмиранию. Мощность намывной территории, образованной за два года (2016-2018 гг.) в среднем составляет 4 м при площади около 40 тыс. кв. м.



Рисунок 85. Динамика трансформации берегового контура в районе пос. Янтарный по данным анализа космоснимков Google Earth

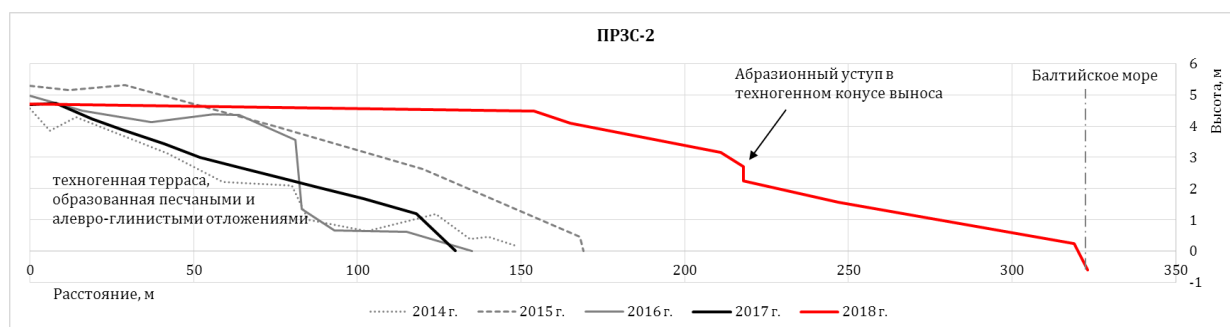


Рисунок 86. Повторный нивелировочный профиль ПРЗС-3 через техногенный конус выноса алевро-глинистых отложений

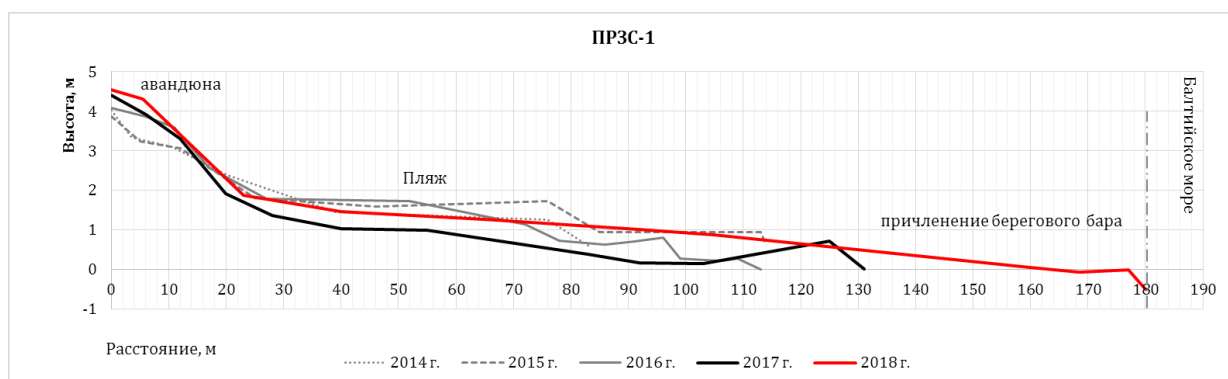


Рисунок 87. Повторный нивелировочный профиль ПРЗС-1

Привнос материала в береговую зону способствует ее расширению к югу от места сброса пульпы. По данным повторного нивелировочного профилирования, ширина пляжа в южной части Покровской бухты за последний год увеличилась на 50 м, а наблюдаемое ранее уменьшение мощности песчаных наносов здесь сменилось приращением. В результате мощность пляжа вновь стала соответствовать состоянию на 2016 г. (рис. 87). Со стороны авандюны также наблюдается незначительный прирост песка за счет эоловой аккумуляции. В целом этот участок берега может быть отнесен к аккумулятивному на данном этапе развития береговой зоны.

Коренной берег Самбийского п-ова подходит вплотную к зоне волнового воздействия в районе м. Песчаный и на участке от пос. Донское до м. Таран. Высота берегового уступа превышает 20 м, на большей части склон не задернован, в результате чего широко развиты обвально-осыпные и оползневые процессы.

Как и в 2017 г., на участке берега от м. Песчаный до променада пляжа пос. Янтарный, по наблю-

дениям 2018 г., продолжается активизация склоновых процессов с развитием осыпей и обвалов (рис. 88). Обрушенные в 2017 г. массы суглинистого и супесчаного грунта активно перерабатываются волнами. На склоне обнаженные и неустойчивые участки поверхности продолжают осыпаться. Наблюдаются свежие обрушения деревьев и сползания кусков дерна вниз по склону. Отмечается отступление бровки берегового уступа. Расположенные на этом участке берега волнозащитные сооружения находятся в аварийном состоянии и требуют продуманных мер восстановления.

На участке берега от горы Обзорная до пос. Донское в 2017 г. наблюдалась активизация склоновых процессов с обрушением крупных масс валунных суглинков и супесей. Конусы обвалов покрывались суглинистыми наплывами за счет развития здесь комплекса гравитационно-эрозионных процессов. Наблюдения 2018 г. показывают, что часть обвально-осыпных тел, перекрывающих пляж, размыва морем, а развитие склоновых процессов продолжается (рис. 89). Наблюдается образование новых крупных обвалов и оплыва глинистых масс, что приводит к расширению оврагов и углублению

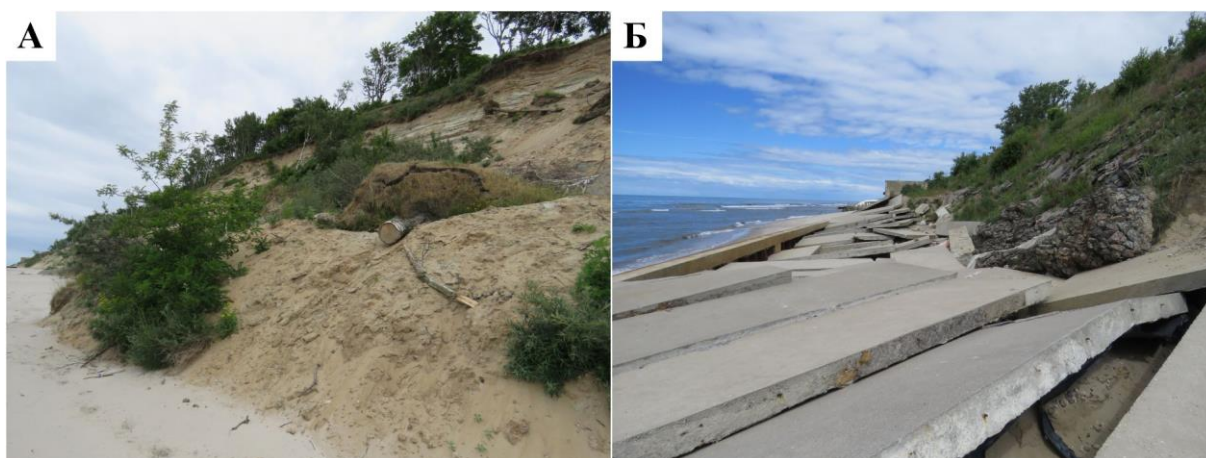


Рисунок 88. Состояние участка развития обвально-осыпных процессов в 2018 г. на западном берегу Самбийского п-ова: А – м. Песчаный; Б – аварийное состояние берегозащитного сооружения

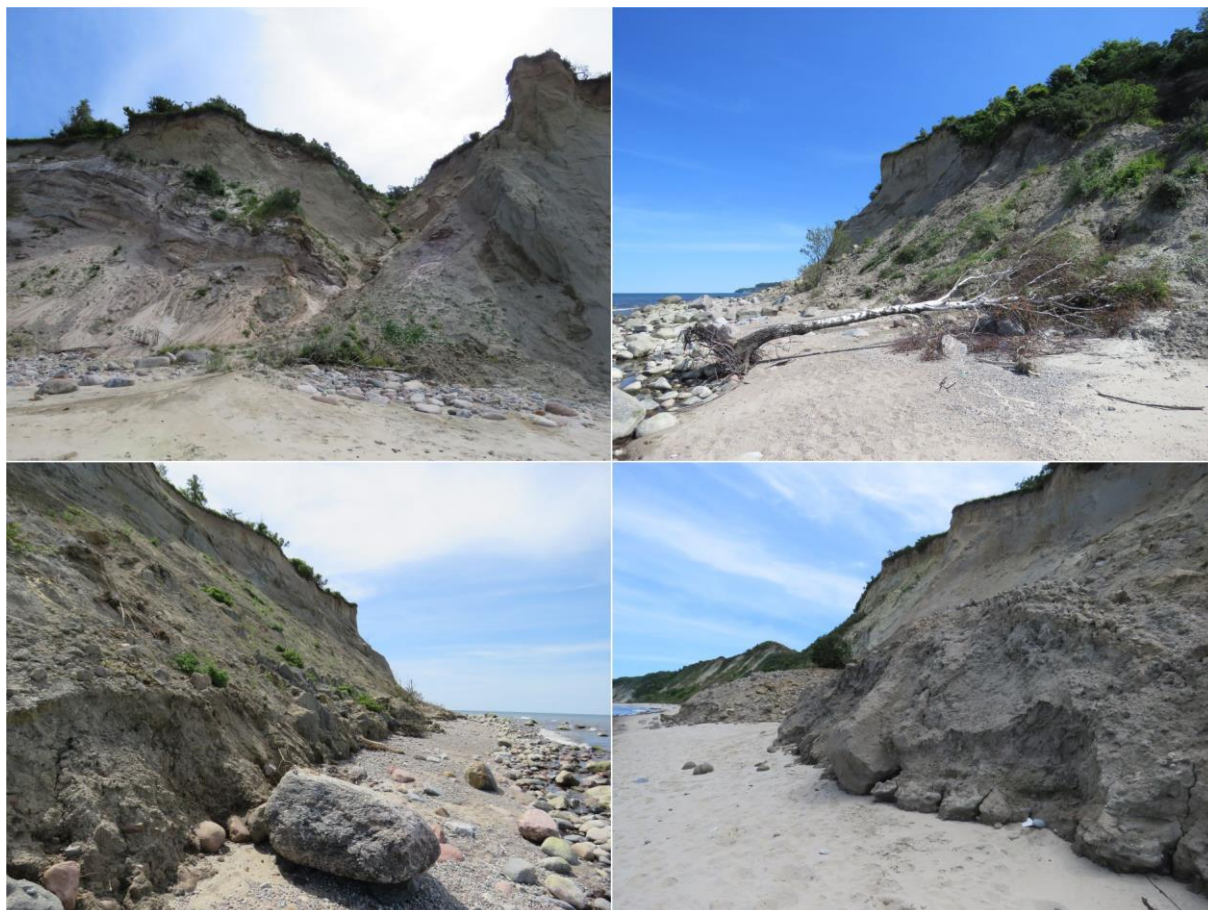


Рисунок 89. Развитие обвально-осыпных процессов на западном берегу Самбийского п-ова в пос. Донское в 2018 г.

эрозионных тальвегов с продвижением вреза в глубь суши. Часть склонов после образования обвалов имеет неустойчивое состояние: образуются отвесные откосы, местами – трещины.

Таким образом, данный участок берега развивается под действием комплекса процессов обвально-осыпных и абразионных, приводящих к постепенной деградации приморских территорий.

К северу от пос. Донское склоновые процессы имеют иной характер. Здесь доминируют оползневые склоновые ЭГП, что обусловлено сменой геологического строения отложений, слагающих береговой уступ. В нижней части берегового склона начинают преобладать песчаные отложения межморенного горизонта. Трещины оползания грунта по склону раскрыты на отдельных участках от 1 до

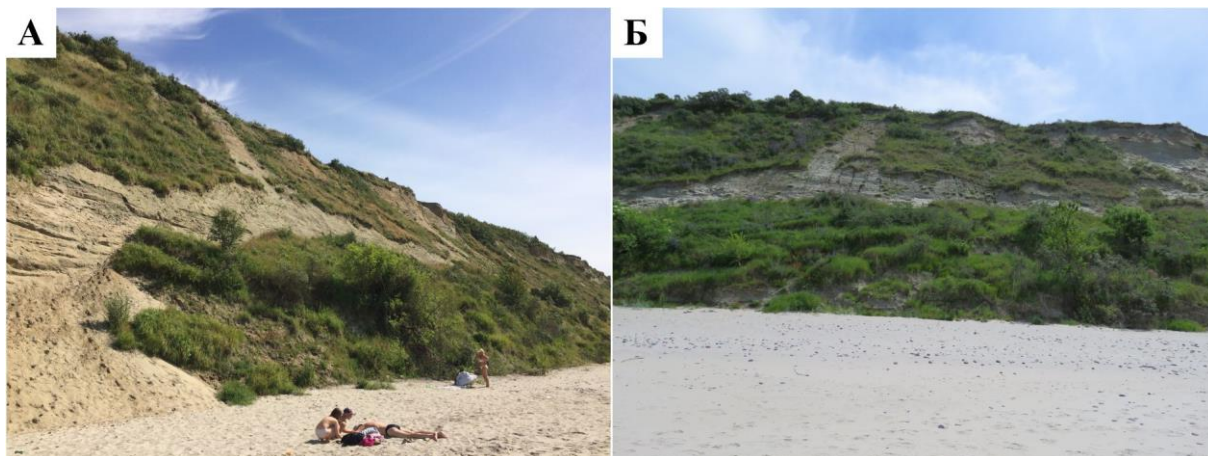


Рисунок 90. Развитие оползневых процессов на западном берегу Самбийского п-ова в пос. Донское: А – в 2017 г.; Б – в 2018 г.

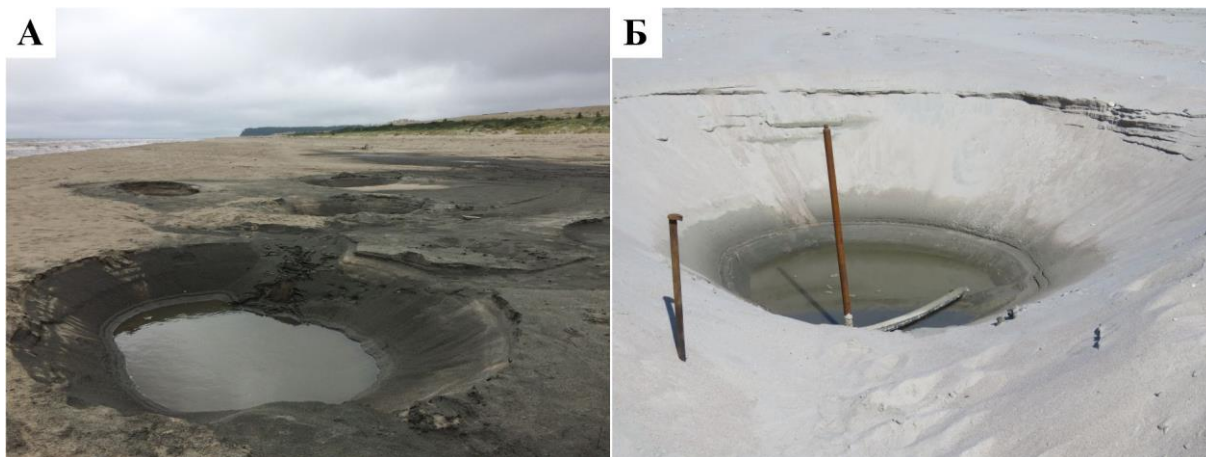


Рисунок 91. Техногенные незаконные выработки грунта (добыча янтаря) на западном берегу Самбийского п-ова к югу от пос. Янтарный: А – 2017 г.; Б – 2018 г.



Рисунок 92. Флотилия катеров незаконных добытчиков янтаря по линии вдоль подводного уступа выхода палеогеновых пород

5 м при ширине оползневого тела около 70 м (рис. 90). На 2018 г. раскрытие трещин не наблюдается, местами участки обнаженного склона начинают покрываться растительностью. На отдельных участках берега наблюдаются небольшие осыпи и сползание отдельных деревьев.

Существенный негативный вклад в развитие обвально-осыпных процессов и размыв пляжей вносят незаконные выработки грунта, широко распространенные в береговой зоне западной части Самбийского п-ова. На участках берега к югу и северу от пос. Янтарный в береговой зоне зафиксированы незаконные выработки грунта на поиски янтареносных отложений (рис. 91). В пляже помпами промыты траншеи и ямы диаметром около 10 м. Участки берега с выработкой грунта остаются неизменными, а пляжи приобретают техногенно-нарушенный ландшафт. Выработки грунта с нарушением целостности отложений пляжа и образованием подкопов береговых уступов приводит к развитию обвально-оползневых ЭГП и способствуют проникновению морских вод к подножьям береговых уступов.

Активным техногенным воздействием, связанным с добычей янтаря, затронут и подводный береговой склон. Запрет на использование контактных

методов не останавливает подводную добычу янтаря на склонах банок, протягивающихся вдоль западного побережья Самбийского п-ова. В 2011-2017 гг., как правило, такую добычу осуществляли единичные старатели-аквалангисты, причем зачастую ночью, с использованием подводных ультрафиолетовых ламп для обнаружения янтаря. В июне 2018 г. на траверсе пос. Янтарный одновременно собиралось до 50 катеров, с которых водолазы (рис. 92), в том числе с использованием водометов, осуществляли поиск и добычу янтаря на глубинах моря от 5 до 15 м в районах выхода на поверхность дна палеогеновых янтареносных отложений (рис. 93) и валунных россыпей моренных гряд, которые, очевидно, служат ловушками янтаря.

В пределах пункта наблюдений «Западное побережье Самбийского полуострова» на участках активного проявления ЭГП выполнено повторное инженерно-геологическое описание двух опорных разрезов: 18-ССР-III (близ пос. Янтарный) и 18-ССР-IV (в районе пос. Донское).

Береговой уступ близ пос. Янтарный (18-ССР-III) простирается в обе стороны от инженерно-геологического разреза. Сам уступ достаточно крут (углы на некоторых его участках достигают 80°).

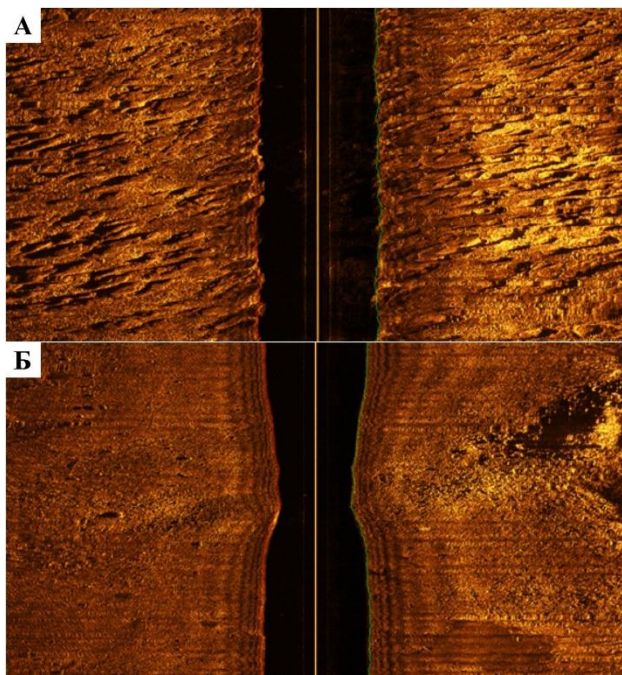


Рисунок 93. Сонограммы поверхности морского дна (диапазон 200 м): А – подводное обнажение пород палеогена, Б – моренная гряда, россыпи валунов

Боле пологие части склона задернованы. На некоторых участках склона наблюдается растительность (кустарники, трава).

К югу в сторону отвалов Янтарного комбината он выполаживается. Вблизи комбината сформирован значительный по площади конус выноса алевропесчаного материала, который является своеобразным «донором» осадочного материала для пляжей прилегающих участков береговой зоны.

Наиболее пологие части склона задернованы, на некоторых участках склона наблюдается растительность. Сравнение полученных результатов с данными 2016-2017 г. показало, что на рассматриваемых разрезах произошли очень сильные обвалы (рис. 94, 95). Результаты инженерно-геологических исследований приведены в таблицах 18 и 19.

Большая часть склона на участке, где проводилось описание разреза в 2017 году, закрыта новообразованной, мощной непробиваемой осыпью; поэтому в 2018 году для описания профиля было решено сместить разрез на 15 м к югу, где вскрылись многочисленные выходы отложений. По данным визуальных наблюдений склон на участке сильно осыпался и оплыл. Тропа, по которой спускались люди в 2017 г., обвалилась, став непроходимой. На склонах и пляже большое количество поваленных деревьев.

Ширина пляжа в 2018 г. составляет 11 м, что на 2 м меньше, чем в 2017 г. Пляж песчаный, незначительное количество гальки и валунов концентрируются ближе к урезу. В прибрежной зоне дно преимущественно покрыто валунами и галькой. Песок на поверхности пляжа преимущественно среднезернистый. На пляже встречаются ветки и стволы деревьев. Обширная осыпь занимает большую часть склона. Угол склона на осыпи 34°. Нижняя часть разреза из-за мощной осыпи стала недоступной для описания в 2018 г., в то же время стало технически возможно добраться до толщи песчаников, недоступной для описания ранее.

Таблица 18. Результаты проведения полевых испытаний пенетрометром и сдвигомером-крыльчаткой в пункте наблюдений «Западное побережье Самбийского полуострова»

Обнажение	Положение в разрезе	Сопротивление грунта вращательному срезу, кг/см ²	Удельное сопротивление пенетрации, кг/см ²
18-ССР-III	Слой с монолитом 18-ССР-III-3	2	5.5
18-ССР-III	Слой с монолитом 18-ССР-III-8	0.7	1.8
18-ССР-IV	Слой с монолитом 18-ССР-IV-6	0.4	2.5
18-ССР-IV	Слой с монолитом 18-ССР-IV-8	1.1	3.2
18-ССР-IV	Чёрная глина (обр. 18-ССР-IV-10)	1.5	3.1
18-ССР-IV	Слой с монолитом 18-ССР-IV-13	>2	>6

Таблица 19. Результаты испытаний на определение физико-механических свойств в пункте наблюдений «Западное побережье Самбийского полуострова»

№ монолита	Влажность на границе		Число пластичности Ip	Потеря при прокаливании, д.е. 350°C	Природная влажность W _{д.е.}	Плотность грунта ρ _з , г/см ³	Плотность частиц грунта ρ _с , г/см ³	Коэффициент пористости e	Коэффициент водонасыщенности Sr	Показатели консистенции		Удельное сцепление с, МПа	Угол внутреннего трения φ, градус	Примечания
	текучести W _L , д.е.	раскатывания W _p , д.е.								IL	СВ			
18-ССР-III-3	0.201	0.131	0.07	0.015	0.124	2.23	2.7	0.361	0.93	-0.1	-0.09	0.1	20	Супесь твердая серо-бурая с р.вкл. гравия и гальки
18-ССР-III-8	0.298	0.197	0.101	0.021	0.273	1.92	2.72	0.803	0.92	0.75	0.23	0.023	16	Суглинок мпл бурый
18-ССР-IV-6				0.012	0.126	1.8	2.65	0.658	0.51			0.014	34	Песок пылев. ср. плотности, влажн. серо-кор. с рыхлыми просл. окислов железа и следами раст. ост.
18-ССР-IV-8	0.413	0.268	0.145	0.028	0.235	1.98	2.74	0.709	0.91	-0.23	-0.11	0.067	24	Суглинок твердый темно-серый
18-ССР-IV-13	0.299	0.204	0.095	0.016	0.215	2.02	2.72	0.636	0.92	0.12	-0.01	0.042	28	Суглинок птв темно-серый

Профиль 18-ССР-III (2018 г.)
 близ п.Янтарный, Калининградская область (54,85813°с.ш.,19,93429°в.д.)

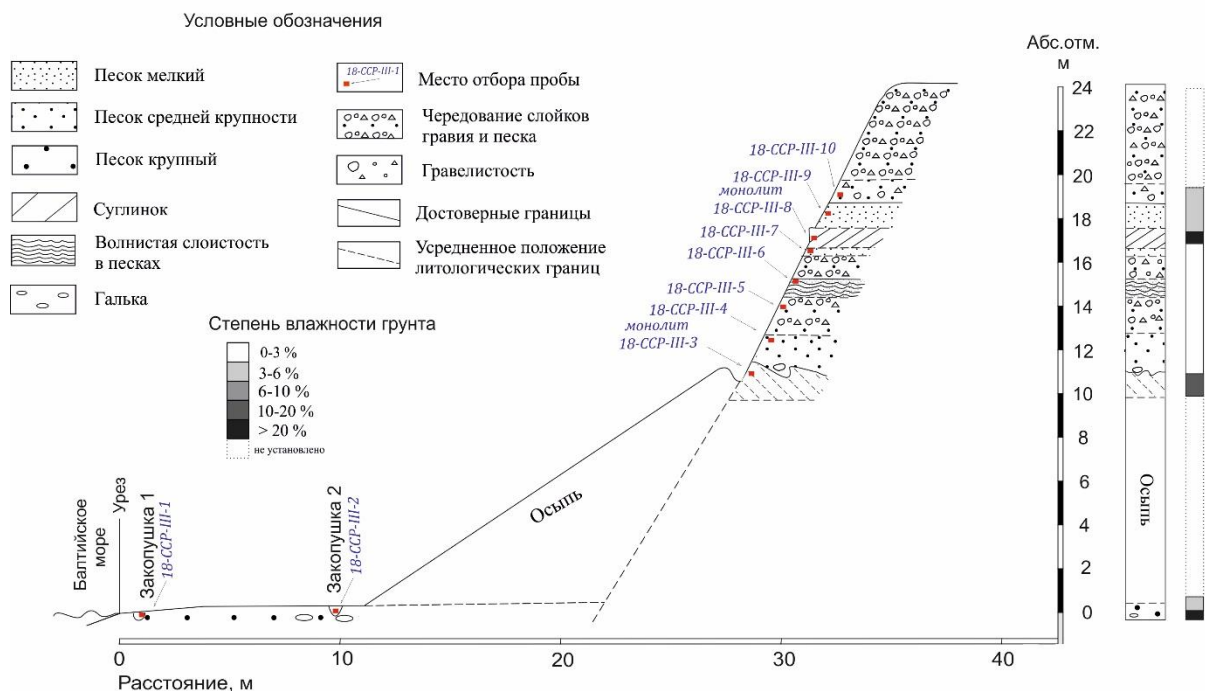


Рисунок 94. Инженерно-геологический разрез 18-ССР-III



Рисунок 95. Общий план уступа разреза 18-ССР-III

Строение уступа выше осыпи крайне сложное (рис. 98, 99). Чередуются невыдержанные по простираю прослой различного состава (пески, супеси, суглинки) малой мощности. На участке разреза наблюдается довольно мощный прослой гальки и гравия. Верхний контакт вышележащего песчаного слоя также подчеркнут нечетким зигзагообразным прослоем гальки (к востоку от разреза прослой гальки падают на восток под углом 26°, как «рукав» с последующим выполаживанием, на границе – большой валун) (рис. 96). Выше по разрезу наблюдается слой гальки, гравия и небольшого количества гравелистого песка. В нем встречаются ростры белемнитов, очевидно, переотложенные из

моренных отложений. Отмечаются горизонтальные железные прослой. Контакт с вышележащим слоем песка – постепенный, нечеткий.

В верхней части уступа преобладают песчаные породы. Есть и довольно мощный (0.5 м) прослой мягкопластичного бурого суглинка, который образует «карниз», сформировавшийся за счет избирательной денудации различных по физическим свойствам отложений, над рыхлыми, хорошо сортированными мелкими песками (рис. 97). Этот участок представляет интерес с точки зрения его устойчивости.



Рисунок 96. Валун в толще отложений на границе гальки и суглинка

Опорный инженерно-геологический разрез 18-ССР-IV (Донское). Склон имеет сложную морфологию за счет неоднородного геологического строения и активного развития гравитационных процессов. В настоящее время вершина одного из оврагов расположена на расстоянии 35 м от ближайшего строения пос. Донское. Участок требует постоянных мониторинговых наблюдений из-за возможных обрушений горных пород с целью своевременного принятия мер безопасности. В ближайшее время под угрозой может оказаться значительная часть строений поселка (рис. 98).



Рисунок 97. «Карниз» суглинков над рыхлыми мелкими песками



Рисунок 98. Фото уступа в пос. Донское с моря, сделанное с использованием квадрокоптера

Как показали наблюдения, в период с 2017 по 2018 г. на участке произошло обрушение значительных масс грунта. Весь склон, за исключением нескольких метров в самой верхней части, перекрыт мощной толщей осыпавшихся и оползших пород. В результате этого, при описании участка в 2018 г., пришлось сместиться на 20 м западнее, где обнажился внушительный участок в верхней половине уступа. В целом в результате обрушения склон стал устойчивее и положе, однако даже визуально видна почти вертикальная стенка песчаных отложений в верхней части уступа, которая, вероятно, в скором времени обрушится. Для наглядности, после съемки с воздуха с использованием квадрокоптера были построены схемы уступа, на которых отражены изолинии высот и углы склона (рис. 99, 100).

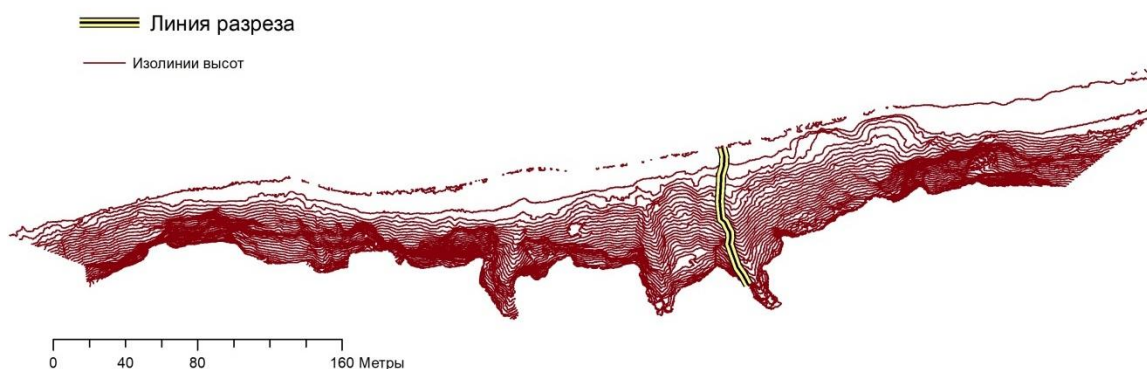


Рисунок 99. Изолинии высот (через 1 м) на участке близ пос. Донское

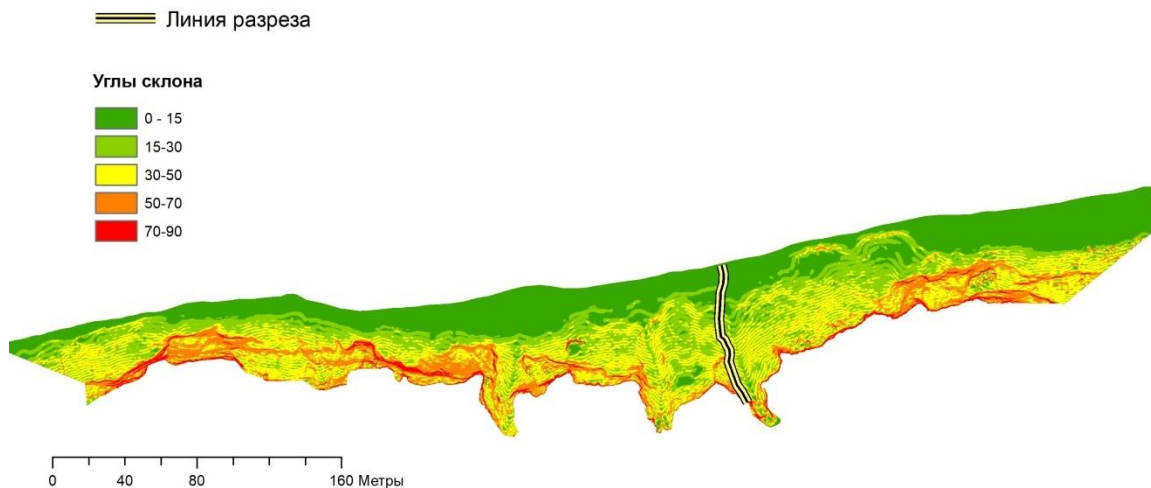


Рисунок 100. Углы склона на участке близ пос. Донское

В уступе образовались врезы. «Каньон», наблюдавшийся в 2017 г., сильно увеличился и разделился на несколько, а под ним прослеживаются свежесформированные конусы выноса. Очевидно, вода выносит и вымывает материал со склона преимущественно по этим участкам.

Ширина пляжа в месте описания уступа – 15 м. На участке разреза, исследованного в 2017 г., – около 12 м. В 2017 г. ширина пляжа составляла 21 м. Большая часть пляжа, сложенного преимущественно валунами, пространство между которыми засыпано песком, была перекрыта осыпью. В прирезовой зоне пляжа на поверхности обнажается валунная отмостка. По мере приближения к уступу

песок, перекрывающий пляж, становится более насыщен глинистыми и пылеватыми частицами, снесенными со склона, что подтверждается данными гранулометрического анализа образца, взятого из прирезовой части пляжа, и образца, отобранного непосредственно у подножья склона.

Уступ сложен песчаными и глинистыми отложениями. При этом, если на участке, описанном в 2017 году, глинистые породы имели скорее подчиненное значение, то в 2018 г. удалось их описать более подробно ввиду возможности подобраться к слоям и их большей мощности на участке 2018 года.

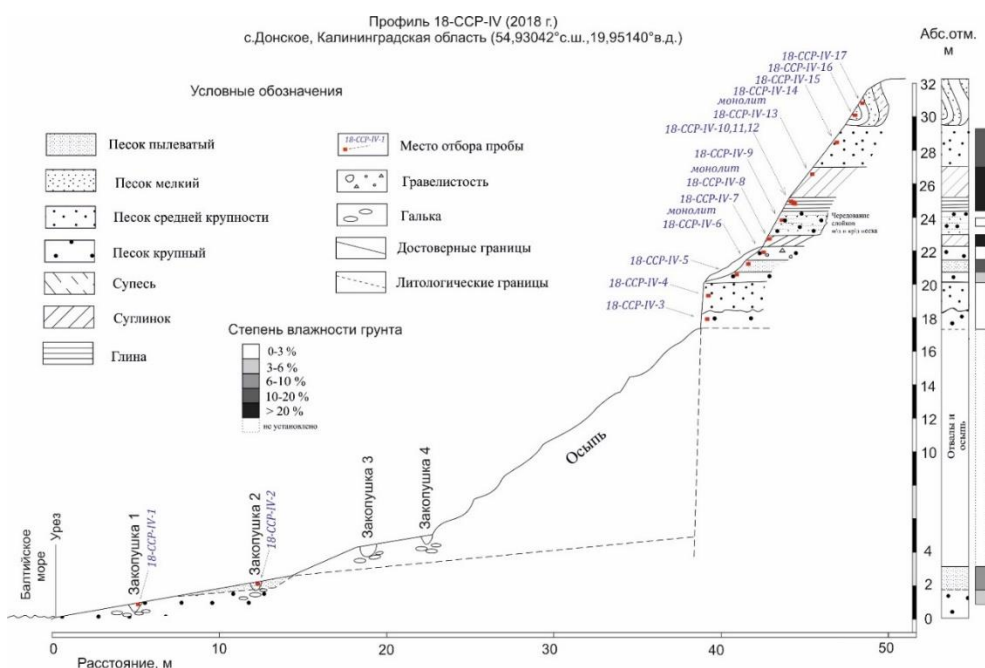


Рисунок 101. Инженерно-геологический разрез 18-ССР-IV



Рисунок 102. Складка в верхней части разреза 18-ССР-IV

Прослой твердой глины в пределах профиля, исследованного в 2017 г., имел мощность до 5-10 см. На профиле 2018 г. мощность того же прослоя достигает 70 см. В слое присутствует органика. Самая верхняя часть уступа сложена ледниковыми отложениями, между мореной и прослоем суглинков обнажаются сильно дислоцированные, смятые в складку отложения глинистого и песчаного состава (рис. 101, 102). Складка немного меняет свою ориентировку в слое. Уступы стали более пологими за счет новообразованных осыпей, но не выглядят устойчивыми, особенно в верхних участках склонов, которые все еще очень круты и подвержены риску обвала при малейшем воздействии, например, после обильных дождей.

В субаквальной части пункта наблюдений выявлены ранее не установленные выходы-обнажения дочетвертичных пород, маркирующие зоны наиболее активного развития донного размыва (рис.103).

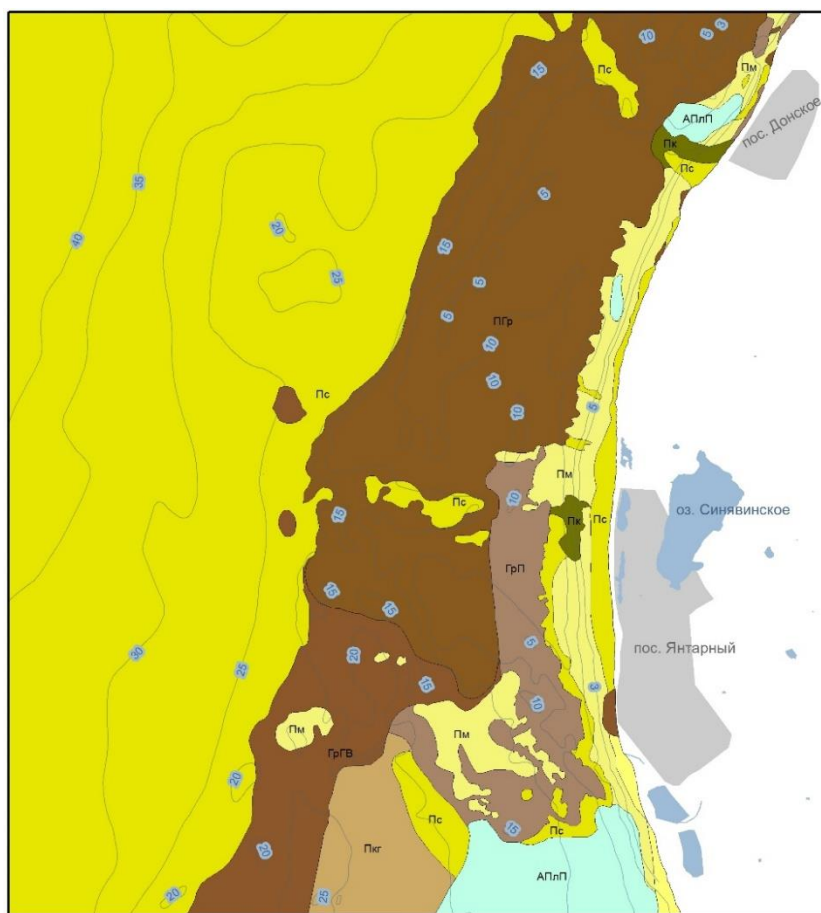
Выводы о состоянии геологической среды пункта наблюдений «Западное побережье Самбийского полуострова»

Западное побережье Самбийского п-ова является самым динамичным с точки зрения развития

ЭГП. Наравне с активной деградацией берегового уступа на участках в районе м. Песчаный и пос. Донское широко развита техногенная аккумуляция пляжевых наносов.

Проведенное обследование показало, что активизация слоных процессов с широким развитием обвально-осыпных типов ЭГП, начавшаяся в 2017 г. в пос. Янтарный (м. Песчаный) и пос. Донское, в 2018 г. продолжается. Выделенные участки должны быть отнесены к аварийным и требующим повышенного внимания с точки зрения хозяйственного планирования освоения территорий. Также зафиксировано положение и степень активизации оползневых тел, развитых на берегу в районе пос. Синявино и пос. Донское.

Инженерно-геологическое обследование на двух опорных разрезах на уступах высотой до 35 м



Условные обозначения

ГрВ	Галька, гравий, валуны
ПГр	Песчаный гравий
ГрП	Гравийный песок
Пк	Песок крупно-грубозернистый
Пк	Песок крупнозернистый
Пс	Песок среднезернистый
Пм	Песок мелкозернистый
АПлП	Алевро-пелитовый песок

0 1 2 3 4 км

Элементы топографической основы

—	Береговая линия	—	Реки
—	Изобаты	■	Акватория
■	Населенные пункты		

Рисунок 103. Литологическая карта-схема пункта наблюдений «Западное побережье Самбийского полуострова»

показало, что породы в верхней части обоих исследуемых склонов сцементированы слабо и могут обрушиться при любом воздействии на грунты этого участка и нижележащие отложения. На отвалы, бронирующие основания склонов, оказывается волновое воздействие, в результате чего образуется волноприбойная ниша, что в дальнейшем приводит к обрушению. В результате воздействия талых, дождевых и грунтовых вод активизируются процессы оползания, осыпания и другие опасные ЭГП. В период с лета 2017 года до лета 2018 года произошло массовое обрушение склона по всему западному побережью.

Наблюдается активное техногенное вмешательство в геологическую среду береговой зоны, выраженное сбросом пульпы Янтарного комбината и незаконными выработками грунта на западном берегу Самбийского п-ова в пос. Янтарный и в пос. Донское, что в первом случае приводит к образованию обширной отмели перед зоной сброса пульпы и снижает абразионное воздействие на берега в этом районе, во втором случае нарушение целостности отложений пляжа и образование подкопов береговых уступов приводят к развитию обвальноподоползневых ЭГП и способствуют проникновению морских вод к подножьям береговых уступов.

Пункт наблюдений «Основание Куршской косы»

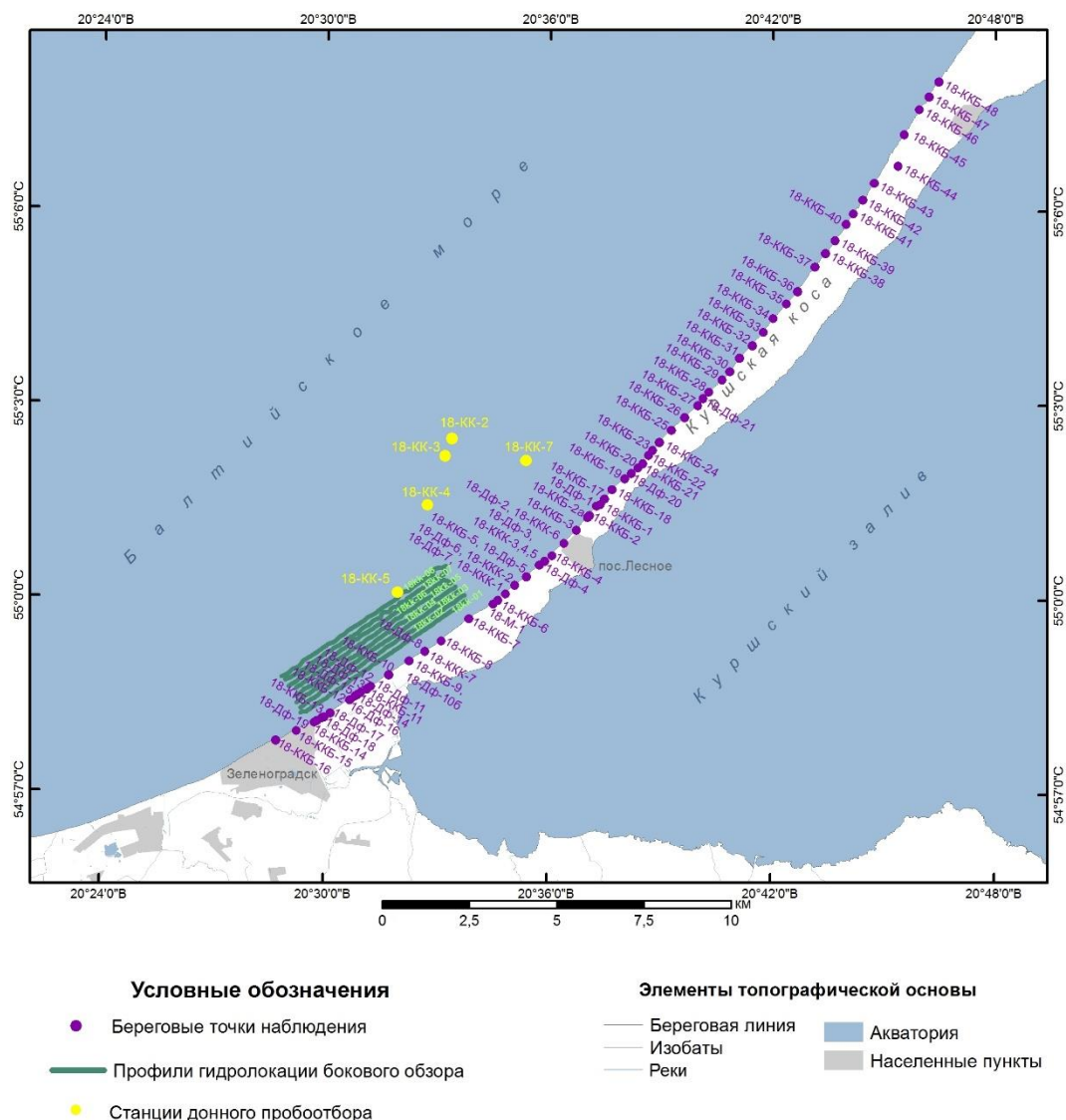


Рисунок 104. Карта фактического материала в пункте наблюдений «Основание Куршской косы» в 2018 г.

Состав наблюдательной сети. Виды наблюдений

В июне 2018 г. были выполнены вдольбереговые плановые инженерно-геологические обследования морского побережья Куршской косы от г. Зеленоградск до базовой точки ККБ-48, расположенной на расстоянии около 3.5 км от пос. Рыбачий (рис. 104).

Общая протяженность маршрутов составила 10 км. Проведено обследование параметров дефляционных воронок, в том числе экспериментально с использованием квадрокоптера. В задачи геолого-

геофизических исследований субаквальной части пункта наблюдений входило уточнение динамики изменения конфигурации площадей развития размыва морского дна, а также выявление и уточнение положения эрозионных ложбин стока, что важно для прогноза развития побережья в условиях дефицита наносов. Площадка проведения ГЛБО протягивается к северу от г. Зеленоградск (восемь профилей общей длиной 40 км, проложенных субпараллельно береговой линии) и захватывает мористую часть берегового склона, где установлены

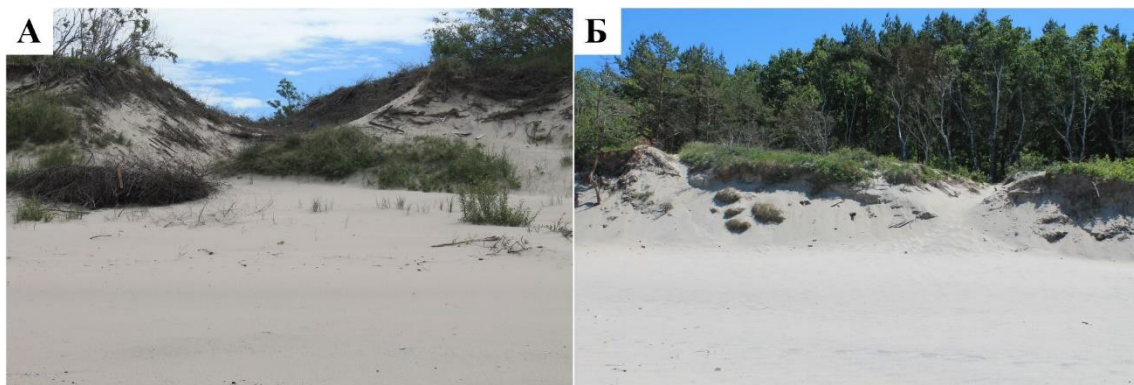


Рисунок 105. Дефляционные воронки и котловины в дюнах Куршской косы. Точки наблюдения А – 18-ДФ-1; Б – 18-ДФ-4

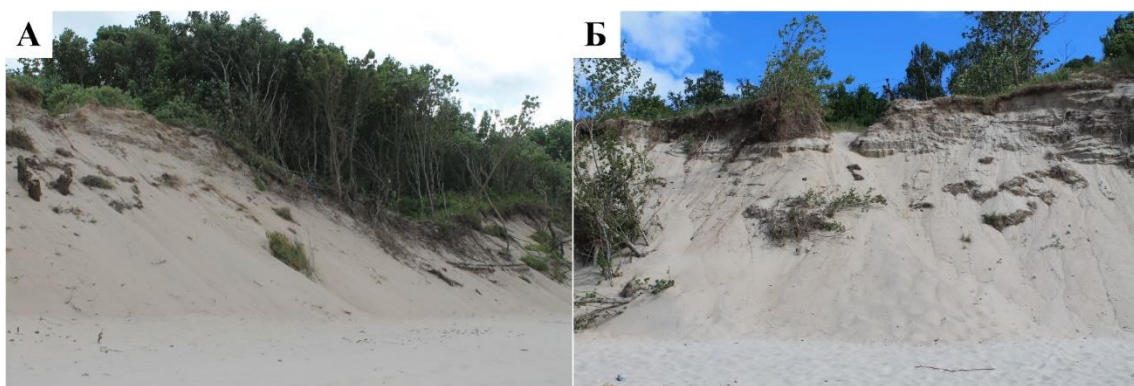


Рисунок 106. Осыпные процессы. А – к югу от т.н. 18-ККБ-9; Б – у т.н. 18-ДФ-11

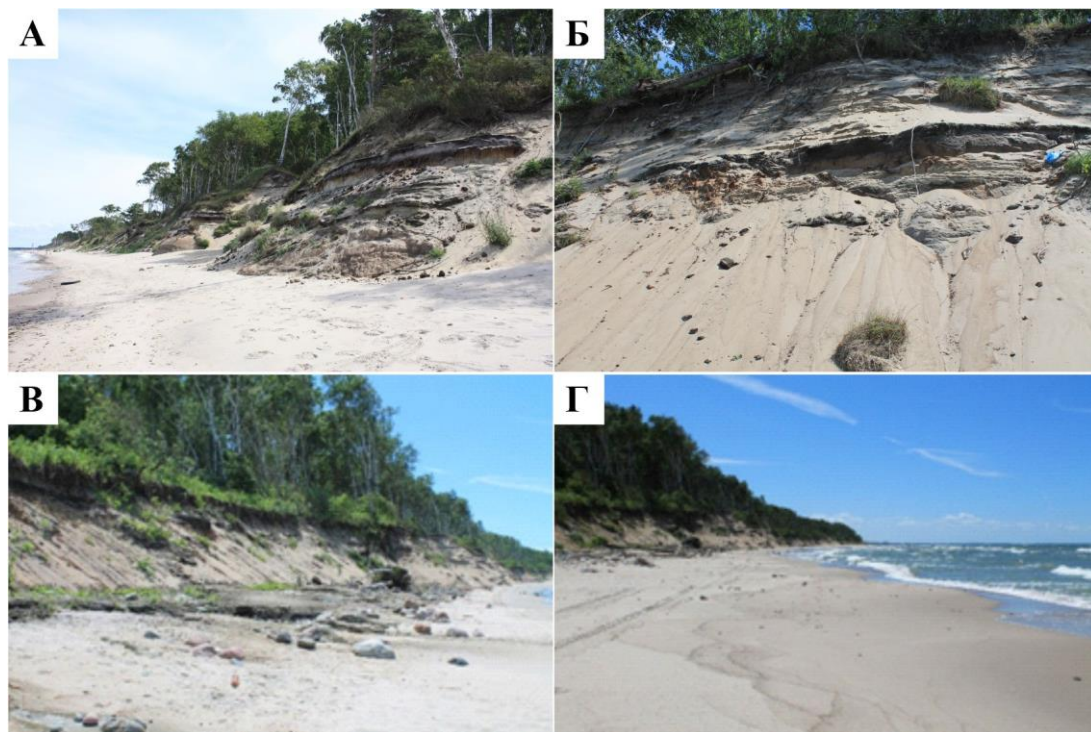


Рисунок 107. Последствия абразионных процессов в береговой зоне Куршской косы. Абразионный уступ в древней дюне между точками 18-ККБ-6 и 18-ККБ-7: А – 2017 г., Б – 2018 г.; В – выходы четвертичных суглинков на пляже, точка 18-ККБ-6; Г – узкий песчаный пляж под абразионным уступом, 18-ККБ-6



Рисунок 108. Абразия берега в районе старых оборонительных сооружений (т. н. 18-ККБ-10): А – 2014 г.; Б – 2017 г.; В – 2018 г.



Рисунок 109. Разрушение берегозащитных сооружений абразией: А, Б – т. н. 17-ККБ-3 и 18-ККБ-3; В, Г – здание КПП, т. н. 17-ККБ-12 и 18-ККБ-12

ложбины стока, по которым происходит вынос осадочного материала. Для актуализации и уточнения литологической карты на участке повышенной литодинамики, а также определения физико-механических свойств грунтов проведен отбор грунтов на пяти станциях.

Экзогенные геологические процессы

В результате проведенных работ установлено широкое развитие дефляционных процессов и эоловой аккумуляции, осыпных процессов, а также на отдельных участках – абразии. Ведущими процессами являются дефляция и осыпные процессы.

В ходе маршрутных обследований всего выявлены 52 крупные (диаметром 10-30 м) дефляционные воронки в реликтовых дюнах и множество мелких котловин и воронок выдувания (рис. 105). На участке от г. Зеленоградск до пос. Лесное количество крупных воронок осталось почти таким же, как и в 2017 году (в 2017 – 28, в 2018 – 29).

Следующим по распространенности и негативному воздействию на сохранность древних дюн являются осыпные процессы, широко проявленные на исследуемом участке. Осыпные шлейфы протягиваются на несколько десятков метров, образуя осыпи высотой до 5-7 м (рис. 106).

На значительном протяжении береговой зоны отмечены следы активных абразионных процессов,



Рисунок 110. Шторм осени 2018 г., т.н. 18-ККБ-12: А – полный размыв пляжа за тетраподами у здания КПП; Б – затопленная низина за авантюной; фото 25 октября 2018 г. (park-kosa.ru/en_novosti/publikatsii)

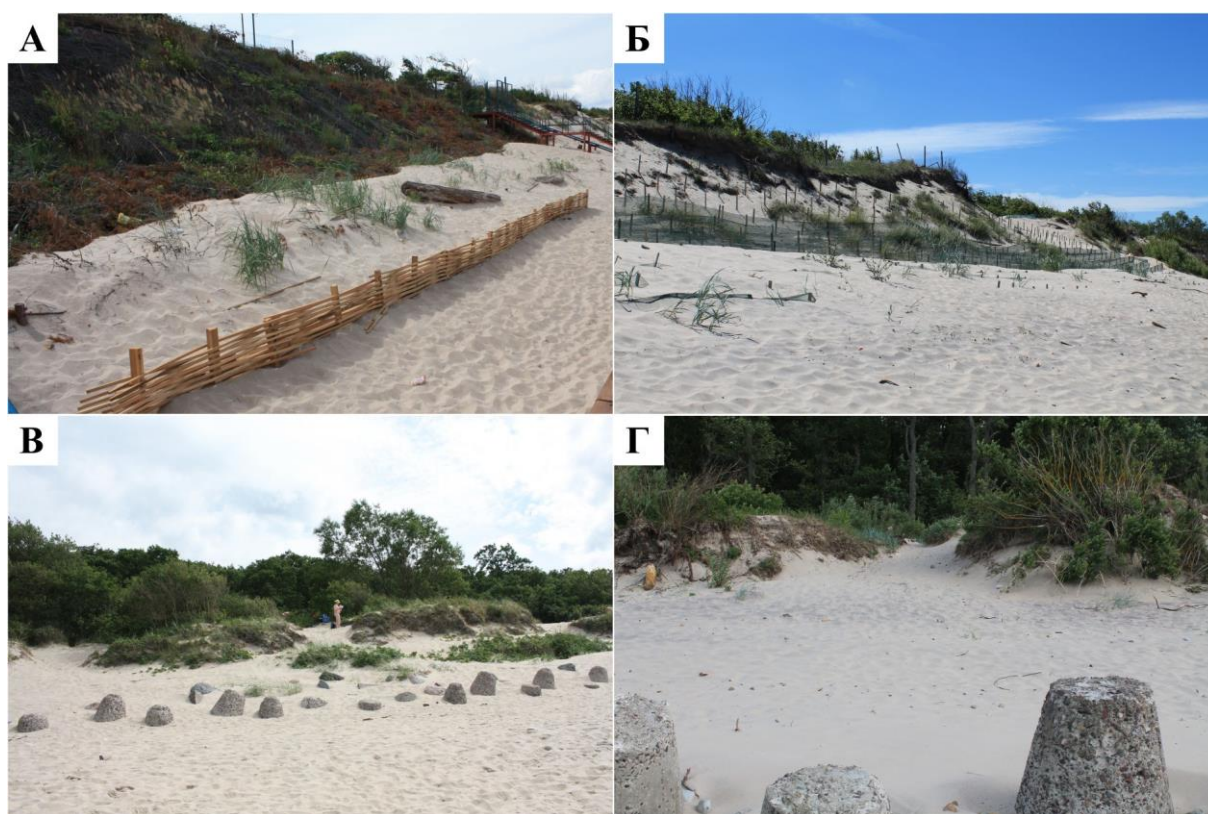


Рисунок 111. Техногенное воздействие на дюны. Меры по укреплению и восстановлению склона дюны в пределах национального парка «Куршская коса»: А – к югу от т. н. 17-ККБ-4, Б – между т. н. 18-ККБ-3 и 18-ККБ-4; В, Г – разрушение дюн пешеходами, точка ДФ-17; В – фото 2017 г., Г – фото 2018 г.

в результате которых формируются активные абразионные уступы в древних дюнах (рис. 107А, Б); на ряде участков в основании уступов обнажаются валунные супеси ледникового происхождения (рис. 107В), ширина пляжа резко сокращается, а на пляже отмечаются выбросы гальки и валунов (рис. 107Г).

На протяжении практически всей береговой зоны исследуемого участка Куршской косы наблю-

дается активное разрушение существовавших ранее берегозащитных сооружений (рис. 108). Наиболее активно подвержена размыву прилегающая к г. Зеленоградск юго-западная часть исследованного участка (рис. 109).

Эффективность защитных сооружений проверяется во время сильных штормов. Берегозащитные сооружения у основания КПП, реконструированные в 2016-2017 гг., во время шторма 23-25 октября 2018 года не выполнили своего назначения: пляж



Рисунок 112. Новая система берегозащиты в районе променада г. Зеленоградск, т. н. 18-ККБ-15 – 18-ККБ-16: А – 2017 г., Б – 2018 г., В – фото 14.11.2018 г. (фото А. Крека)

был полностью разрушен, и морская вода затопила низину за авантюной (рис. 114), что едва не привело к прорыву косы на ее самом уязвимом участке несмотря на созданный вал из более чем тысячи мешков с песком за линией затопленных бетонных тетраподов. По мнению директора Национального парка «Куршская Коса» Анатолия Калины, «... для того, чтобы сохранить побережье, необходимо поменять подход к берегоукрепительным мероприятиям» (park-kosa.ru/cn_novosti/publikatsii, 25 октября 2018 г).

По данным наблюдений 2018 г., сохраняется резкое различие характера, интенсивности и направленности техногенного воздействия в пределах национального парка «Куршская коса» и остальной береговой зоны прикорневой части Куршской косы. В национальном парке продолжается работа по стабилизации склонов дюн, регулируется пешеходная нагрузка на склоны авандюн путем строительства и поддержания в рабочем состоянии пешеходных переходов через авандюну (рис. 111А, Б).

За пределами национального парка (в пределах г. Зеленоградск) расположена зона отдыха, где происходит постоянное разрушение дюн отдыхающими и не предпринимаются меры по их восстановлению (рис. 111В, Г); результатом антропогенного воздействия является активизация как дефляции, так и осыпных процессов.

В г. Зеленоградск на протяжении прошедшего года сооружены деревянные буны, перпендикулярные береговой линии. Судя по наблюдениям в течение двух полевых сезонов – 2017 и 2018 гг. (рис. 112А, Б) и быстрому восстановлению пляжа после экстремального шторма 23-25 октября 2018 г. (рис. 112В), можно отметить эффективность действия этой системы берегозащиты песчаных пляжей.

Был также проведен маршрут по морскому берегу Куршской косы с целью детального изучения котловин выдувания и их дальнейшего наблюдения. В 2017 году уже были проведены замеры. В 2018 г. помимо замеров с помощью альтиметра, дальномера и рулетки, была выполнена съемка всех котловин с воздуха при помощи квадрокоптера. Были измерены и зафиксированы их параметры, такие как ширина, высота над уровнем моря, длина. Как и в 2017 г., было рассмотрено семь котловин.

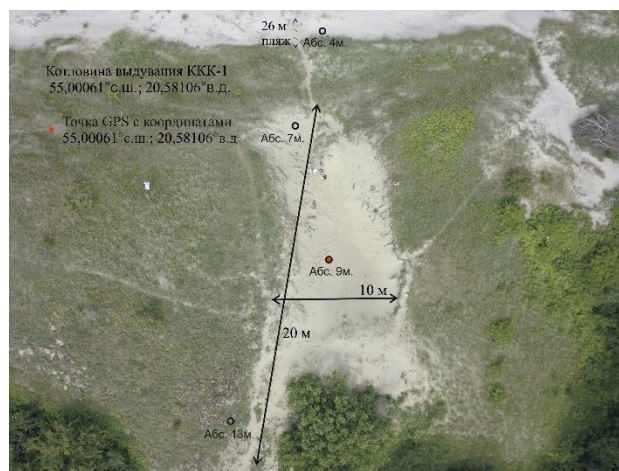


Рисунок 113. Котловина ККК-1



Рисунок 114. Общий вид котловины ККК-1: А – 2017 г., Б – 2018 г.

Котловины ККК-3, ККК-4, ККК-5 были рассмотрены как один комплекс (рис. 116). На снимке видно, что за прошедший год комплекс из этих котловин претерпел изменения, перемычка между котловинами ККК-4 и ККК-5 практически полностью разрушилась. Вероятно, в скором времени весь комплекс можно будет рассматривать как одну котловину выдувания. На рис. 118 представлены трехмерные модели котловин.



Рисунок 115. Котловина ККК-2

Котловина ККК-1 нуждается в укреплении. Как видно на рис. 113, 114, за год было перемещено значительное количество материала. Рыхлые песчаные отложения выдуваются с бортов котловины, тем самым ослабляя их, в результате чего происходят обвалы, и ширина незащищенной, незадернованной части котловины будет увеличиваться. Ширина котловины в 2017 году была около 8 м, в 2018 году – 10 м. Если не предпринять меры, расширение продолжится. На фотографиях котловины ККК-1 в 2017 и 2018 гг. (рис. 114) видно, что изменяется и объем котловины, ее ширина, форма дюны за ней.

Котловина ККК-2, которая была завалена ветками еще в 2017 году, в 2018 году стабилизировалась, начала зарастать травой (рис. 115, 116). Несмотря на небольшое количество укрепляющего материала, эти меры оказали положительный эффект.



Рисунок 116. Котловины ККК-1 и ККК-2. Трехмерная модель

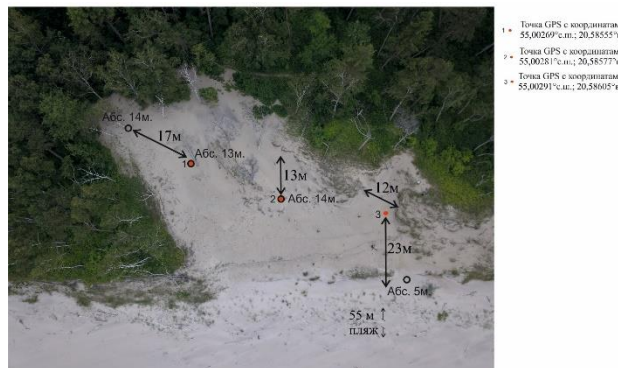


Рисунок 117. Комплекс котловин ККК – 3, 4, 5

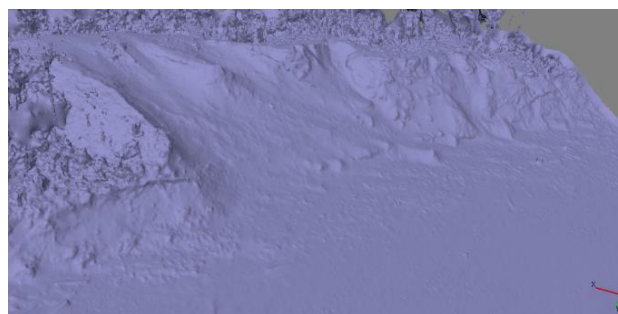


Рисунок 118. Трехмерная модель котловин ККК – 3, 4, 5

На склонах котловины ККК-6 были возведены заборы в несколько ярусов для предотвращения

выдувания песка (рис. 119, 120). Это, безусловно, положительно влияет на ее устойчивость к ветровому воздействию, однако визуально складывается ощущение, что в ней появляются новые участки активной дефляции. Для того, чтобы в этом убедиться, в 2019 г. планируется повторное наблюдение этого участка для сравнения и формулирования выводов.

Котловина выдувания ККК-6

Точка GPS с координатами 55,00516°с.ш.; 20,59050°в.д



Рисунок 119. Котловина ККК-6

Котловина выдувания ККК-7

Точка GPS с координатами 54,97639°с.ш.; 20,52001°в.д

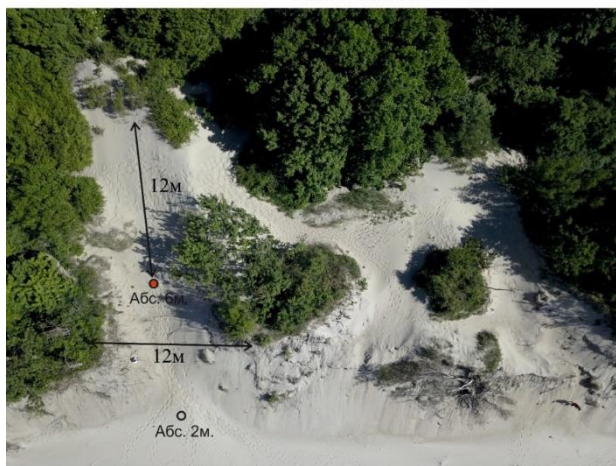
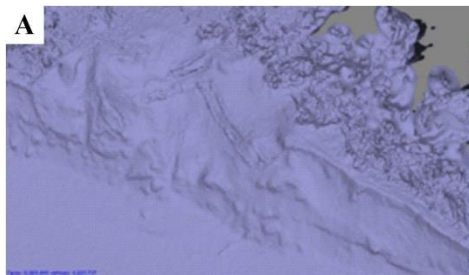


Рисунок 121. Котловина выдувания ККК-7

А



Б



Рисунок 120. Котловина выдувания ККК-6: А – трехмерная модель; Б – фото склона с пескоудерживающим сооружением

Остальные рассмотренные котловины более подвержены воздействию ветра. Это видно и визуально, и на схемах. Котловина ККК-7 также нуждается в укреплении. Несмотря на внушительное количество растительности, видны участки, где ветровое воздействие активно разрушает дюну (рис. 121, 122), рядом с котловиной наблюдается процесс возникновения новых котловин выдувания. Песок в рассматриваемой дюне хорошо сортирован и достаточно рыхлый, легко разрушается. К тому же по котловине проходит тропа, по которой перемещаются люди, что крайне негативно сказывается на сохранности этого участка.

На некоторых котловинах происходят серьезные изменения, участок требует постоянных мониторинговых наблюдений. Для предотвращения выдувания необходимо сооружать защитные укрепления.

В ходе проведения геолого-геофизических исследований субаквальной части пункта наблюдений была уточнена конфигурация площадей развития размыва морского дна, а также положения эрозионных ложбин стока, что важно для прогноза развития побережья в условиях дефицита наносов (рис. 123, 124). На рис. 125 представлена литологическая карта поверхности морского дна пункта наблюдений.

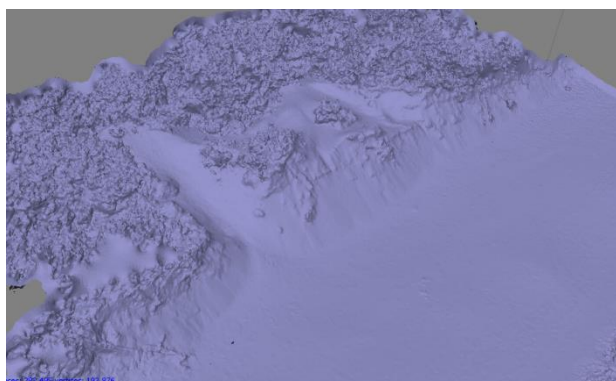


Рисунок 122. Трехмерная модель котловины ККК-7

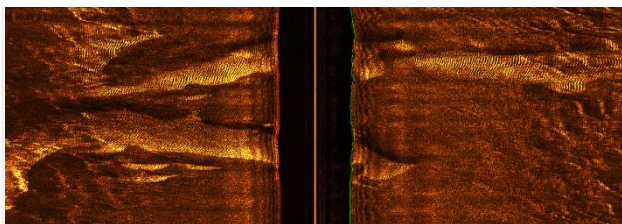


Рисунок 123. Сонарограмма поверхности дна (диапазон 200 м) – ложбины стока

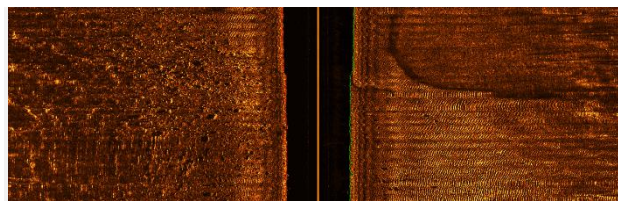


Рисунок 125. Сонарограмма поверхности дна (диапазон 200 м) – участок высокой изменчивости донных осадков

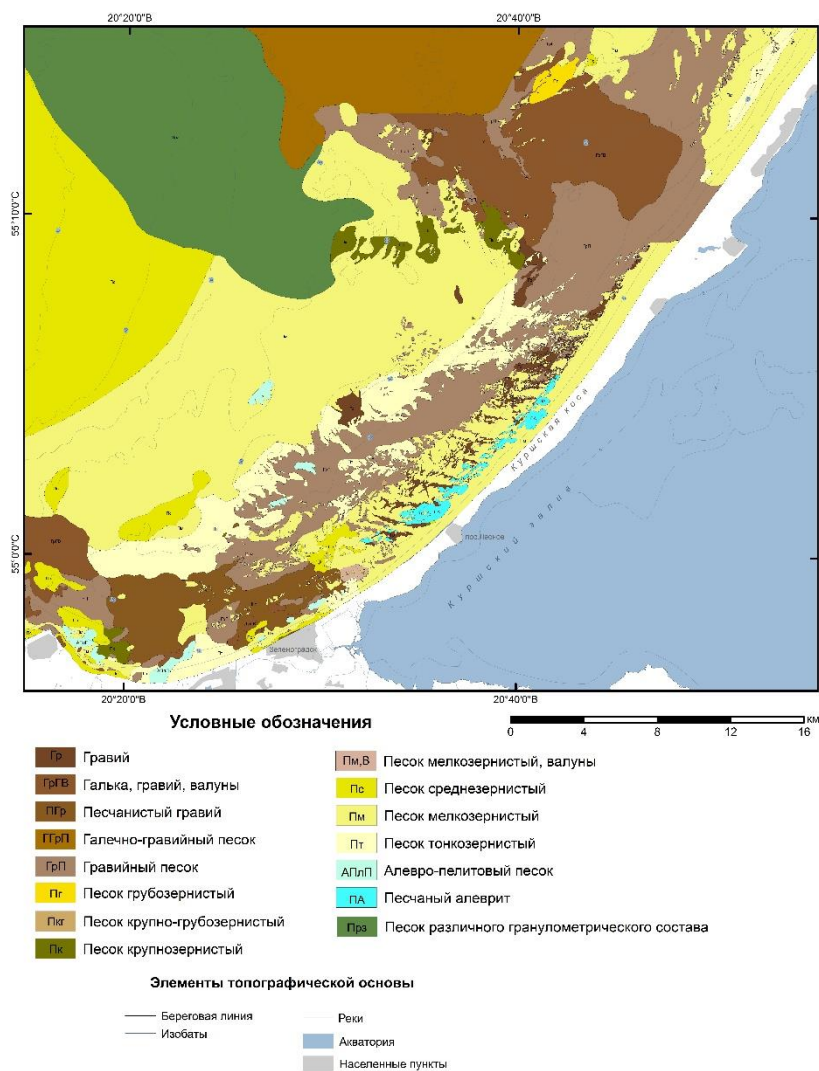


Рисунок 124. Литологическая карта субаквальной части пункта наблюдений «Основание Куршской косы»

Выводы о состоянии геологической среды пункта наблюдений «Основание Куршская коса»

К опасным ЭГП, развитым в береговой зоне пункта наблюдений, относится прежде всего дефляция. В ходе маршрутных обследований выявлено 53 крупных (диаметром 10-30 м) дефляционных воронок в реликтовых дюнах и значительное количество более мелких котловин выдувания. Следует отметить, что сквозные котловины выдувания, расположенные в верхней части склонов древних дюн, в отличие от абразионных уступов в современном дюнном поясе, при существующих условиях не восстанавливаются естественным путем. В пределах Национального парка «Куршская коса» продолжают работы по стабилизации склонов дюн. Вне пределов Национального парка (г. Зеленоградск) активность дефляционных процессов за прошедший год достигла опасного уровня.

В субаквальной части пункта наблюдений седиментационная обстановка остается стабильной, существенных изменений в конфигурации зон размыва морского дна, зоны транзита и аккумуляции не установлены.

Последствия шторма 23-25 октября 2018 года показали неэффективность применяемых мер берегозащиты в основании Куршской Косы с использованием бетонных тетраподов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные выводы по работам в пункте наблюдений «Губа Териберская» (Баренцево море)

В субаквальной части пункта наблюдений установлено и закартировано широкое распространение гряд, сложенных моренной и коренными породами, которые характеризуются экстремальными углами склона (до 20°). Грубообломочные отложения прослеживаются вплоть до глубины моря 60 м, что свидетельствует о гравитационном селективном сносе тонкозернистого материала под влиянием придонных течений. Сходные крутые склоны с глыбовыми развалами фиксируются и на прибрежном мелководье. В целом геоморфологические особенности субаквальной площади и характеристика распределения типов донных грунтов определяют довольно неблагоприятные условия для прокладки трасс подводных коммуникаций, которым хотя и локально, но могут угрожать подводные гравитационные процессы.

В субаэральной части пункта наблюдений также отмечены ограниченные по площади проявления

обвальных и оползневых процессов. На приустьевых участках реки Териберка наблюдаются процессы дефляции и эоловой аккумуляции. Мониторинговые наблюдения 2018 года в прибрежной зоне не выявили заметных отличий на участках проявления опасных ЭГП по сравнению с результатами обследования 2016 и 2017 гг. Экзогенные процессы не представляют опасности для береговой инфраструктуры, по крайней мере, до начала реализации проектов береговых объектов обустройства Штокмановского газоконденсатного месторождения ОАО «Газпром»: завода сжиженного природного газа (СПГ), примыкания газопровода от Штокмановского месторождения в губе Опасова и порта по отгрузке СПГ в губе Орловка.

Рекомендации. В силу небольшой интенсивности проявления экзогенных процессов на участке «Губа Териберская» периодичность проведения наблюдений не должна превышать один раз в три года.

Основные выводы по работам в пункте наблюдений «Г. Кандалакша – береговая зона»

Мониторинговые наблюдения 2018 года не выявили существенных отличий на участках проявления опасных ЭГП по сравнению с результатами обследования 2016-2017 гг., подтвердив данные ранее проведенного анализа дистанционного зондирования береговой зоны в пределах города Кандалакша о слабом проявлении абразионных процессов. Максимальные скорости размыва, установленные по данным ретроспективного анализа космоснимков за 11-летний период, достигают 1.3 м/год. Разрушение остальной части неукрепленного берега происходит со скоростью не более 0.3 м/год. Повышенного внимания заслуживают аварийные строения, расположенные в береговой зоне,

и участки размываемого берега с техногенными отвалами лесообрабатывающего комбината.

Рекомендации. Рекомендуется продолжение мониторинга с периодичностью один раз в 2-3 года.

Для более объективной оценки региональных проявлений опасных экзогенных геологических процессов в прибрежно-шельфовой зоне Белого моря целесообразно расширить список участков проведения наблюдений. В первую очередь это касается территорий, где планируется создание новых глубоководных портов: район города Беломорск и Двинской залив (проект «Белкомур»).

Основные выводы по работам на участках в районе «Восточная часть Финского залива» (Балтийское море)

Основные выводы по работам в пункте наблюдений «Северная береговая зона в пределах Курортного района»

Основными опасными экзогенными геологическими процессами являются абразионно-осыпные, осыпные, эрозионные, дефляционные и боковая эрозия в устьях малых водотоков. Развитию склоновых процессов способствует морская абразия, связанная с размывом подводного берегового склона и выносом осадочного материала в пределы глубоководных участков дна акватории.

Обследование прибрежной зоны, выполненное в мае 2018 г., показало существенную роль припайного льда в транспортировке осадочного материала. Были выявлены многочисленные следы перемещения осадочного материала в тыловую часть пляжа в результате ледового воздействия.

До конца августа 2018 г. береговая зона Курортного района характеризовалась низкой активностью ЭГП. Усиление абразионных процессов, которые спровоцировали активизацию комплекса ЭГП в целом, было зафиксировано в ходе серии штормов 11-12 августа, 12 сентября и, в особенности, 26-27 сентября (СЗ ветер достигал порывами 24 м/с, были закрыты створы КЗС). Наиболее заметные изменения коснулись только пляжа в пос. Репино, где

береговая линия отступила более чем на 40 м, достигнув положения, наблюдавшегося в 2015 г. Негативные последствия природных процессов усиливаются в результате локальных, научно необоснованных мер по берегозащите, предпринимаемые владельцами прибрежных участков.

Рекомендации. В целом в пунктах наблюдений сохраняется проблема деградации берегов в результате дефицита песчаных наносов на подводном береговом склоне. Проблема укрепления берегов и защита объектов инфраструктуры от волновой абразии остается нерешенной и требует принятия мер по реализации проекта берегозащиты города.

Обязательность продолжения мониторинга состояния недр в ежегодном режиме наблюдений летне-осеннего цикла в пределах наблюдательной сети пункта наблюдений определяется постоянно фиксируемыми локальными зонами активизации опасных ЭГП. В связи с возникновением экстремальных ситуаций необходимо проведение дополнительных оперативных наблюдений в пределах сети мониторинга и вне ее в весенне-зимние циклы.

Основные выводы по работам в пункте наблюдений «Южная береговая зона в районе пос. Большая Ижора»

Береговая зона в районе поселка и Форта Красная Горка (западная часть Лебяжинского городского поселения) характеризуется активными гравитационными процессами. Проведенное в весенне-летний период обследование южного берега Финского залива от пос. Лебяжье до пос. Большая Ижора не показало существенной переработки берегов волновыми процессами. На укрепленных аварийных участках берега в пос. Лебяжье летом наблюдалось стабильное состояние склонов высоких береговых уступов и отсутствие разрушения береговых террас.

В западной части пункта наблюдений отмечено перемещение песчаного материала в сторону тыловой части пляжа под воздействием на берег ледовых торосов. В районе Форта Красная Горка интенсивного развития склоновых процессов не наблюдалось, при этом отмечено углубление эрозионных врезов на обнаженных частях склонов и развитие

эолового выветривания песчаных отложений, слагающих береговой уступ.

Ситуация изменилась после штормов сентября 2018 г., когда после серии штормов произошла резкая активизация абразионных и обвально-осыпных процессов. На участке развития вдольбереговых аккумулятивно-абразионных прибрежно-морских форм в пос. Большая Ижора наблюдается развитие как процессов разрушения берега с обрушением деревьев и кустарников, так и локальным нарастанием песчаных кос, ведущих к занесению фарватера для маломерных судов в устье Чёрной речки. Ширина полосы сезонной изменчивости контура берега по принципу вдольбереговой песчаной волны в пределах зоны пляжа составляет 100 м, что следует учитывать при проведении любого вида деятельности в береговой зоне пос. Большая Ижора.

Рекомендации. На участке возведения новых берегозащитных конструкций, представляющих собой волноотбойные стенки, проект берегозащиты должен предусматривать искусственный волногасящий пляж; в противном случае вероятны негативные последствия, выражающиеся в разрушении стенки, вымывании грунта из-за нее во время шторма и полном размыве пляжа перед стенкой.

Основные выводы по работам в пункте наблюдений «Копорский залив»

Сопоставление распределения покмарков, выявленных по данным ГЛБО в 2016-2017 и 2018 гг., показывает, что процесс формирования этих кольцевых структур продолжает оставаться активным. Об этом свидетельствует факт появления на площади наблюдений новых покмарков, не отмеченных в 2016-2017 гг. Часть покмарков, выявленных в 2016-2017 гг., на записи ГЛБО 2018 г. не установлены, что может свидетельствовать об их занесенности поверхностными осадками. Процесс формирования покмарков носит активный, но пульсационный характер. Гидрохимические исследования придонных вод, отобранных внутри покмарков пункта наблюдений «Копорский залив» в 2018 г., отличаются повышенными по отношению к фоновым для акватории значениям содержаний В, Sr, элементов индикаторов вод Гдовского водоносного горизонта. Это косвенно подтверждает, что образование покмарков в пределах Копорского залива связано с разгрузкой Вендского водоносного

Обязательность продолжения мониторинга состояния недр в ежегодном режиме наблюдений летне-осеннего цикла в пределах наблюдательной сети пункта наблюдений определяется постоянно фиксируемыми локальными зонами активизации опасных ЭГП. В связи с возникновением экстремальных ситуаций необходимо проведение дополнительных оперативных наблюдений в пределах сети мониторинга и вне ее в весенне-зимние циклы.

комплекса (Гдовский горизонт) по системе малоамплитудных разломов и зон трещиноватости.

Метан, выделенный в грунтах, опробованных в пункте наблюдений «Копорский залив», может иметь два источника. В илистых современных грунтах, локально развитых в пределах площади пункта наблюдений, это прежде всего современный «биогенный» (бактериальный) метан. В подстилающих отложениях Балтийского ледникового озера метан и другие углеводородные газы, вероятно, поступают в составе подземных вод, т. е. имеют более глубинное происхождение.

Рекомендации. Необходимо продолжение съемки ГЛБО в режиме мониторинга для сопоставления изменчивости морфологии и характера экспозиции покмарков во времени, а также отбор кернов грунтов тяжелой гравитационной грунтовой трубкой с послойным выделением грунтовых вод и проведение гидрохимического профилирования в придонном слое воды.

Основные выводы по работам в пункте наблюдений «Район острова Гогланд»

Работы 2017-2018 гг. позволили уточнить конфигурацию сети линейных ложбин (провалов) и площадь развития газонасыщенных илов, к которым приурочены максимальные концентрации метана в донных отложениях. Вне зоны газонасыщенных отложений содержание метана в донных осадках на один-два порядка ниже. При этом не выявлено значимых различий в содержании метана полей газонасыщенных илов в пределах и вне закартированных в 2017 г. подводных ложбин. Таким образом, генезис линейных ложбин также остается неясным. Детальный анализ материалов НСАП позволил выявить захороненные в толще илов ложбины с морфометрическими параметрами, аналогичными современным ложбинам. Выделяются также ложбины, огибающие положительные формы донного рельефа, представляющие собой в

основном моренные и флювиогляциальные гряды. Эти изогнутые ложбины, вероятно, образованы за счет действия контуритовых течений.

Изотопный состав метана ($\delta^{13}\text{C}$) в пробах донных отложений, отобранных в 2018 г. в пределах пункта наблюдений «Район о-ва Гогланд», находится в интервале значений (от -61.4 до -76.1 ‰), что позволяет предполагать его низкотемпературный, малоглубинный (бактериальный) генезис. Однако анализ всего массива данных по изотопному составу метана, полученных в 2016-2018 гг. (среднее значение -66.2 ‰, минимальное -55.9 ‰, максимальное -76.8 ‰), не исключает примеси термогенной компоненты. Вопрос требует дальнейшего изучения с расширением спектра изотопных методов исследований. До настоящего времени газопроявления как геологическая опасность слабо

изучены. По мнению специалистов ООО «Питер Газ» (Миронюк, Отто, 2014), участки морского дна со следами газопроявлений следует относить к геологически опасным территориям III категории сложности. Выбросы газа в водную толщу могут сопровождаться деформацией донной поверхности, формированием оползней, снижением несущей способности грунтов, повышением коррозионной активности среды. Площади их распространения являются опасными для строительного освоения.

Основные выводы по работам в пунктах наблюдений в районе «Российский сектор юго-восточной части Балтийского моря (Калининградский шельф)»

Основные выводы по работам в пункте наблюдений «Северное побережье Самбийского полуострова»

В 2018 г. побережье от Филинской бухты до г. Светлогорск характеризовалось высоким уровнем развития опасных ЭГП (комплекс гравитационно-эрозионных процессов, оползневые, осыпные, обвальные процессы, провоцируемые морской абразией). На ряде участков сохраняются предаварийные и аварийные ситуации для жилой (в том числе многоэтажной) застройки приморских поселений. В 2018 г. в г. Светлогорск продолжались масштабные берегозащитные работы, началась активная реконструкция порта Пионерский. В ходе реконструкции существенно изменяется береговая линия в районе порта за счет отсыпки и строительства новых молов. По подходу фарватеру и в бухте в 2018 г. производились дноуглубительные работы, сопровождавшиеся перемещением песчаного грунта на берег и его складированием на территории порта. В связи с изъятием песчаного грунта со дна в субаквальной части пункта наблюдений можно ожидать локальной перестройки литодинамических процессов в береговой зоне.

Оперативное обследование побережья осенью 2018 г. показало неэффективность возведенных берегозащитных сооружений. В результате активной абразии склонов, обусловленной воздействием

Рекомендации. Для выяснения причин образования и динамики развития линейных депрессий в пределах полей газонасыщенных илов необходимы повторные наблюдения по профилям НСАП, проведенным в 2016-2018 гг., с дополнительным отбором в пределах линейных депрессий кернов грунтов на комплексный послойный анализ физико-механических свойств грунтов, а также распределения газовой составляющей по разрезу.

осенних штормов, образовались провалы грунта, в том числе и в районе Государственной резиденции «Янтарь». Под угрозой оказались подземные коммуникации, парковые дорожки, элементы декора и устойчивость склона в целом.

По данным инженерно-геологических исследований разрезов, основное разрушающее влияние на берега пункта наблюдений оказывает воздействие волн. У подножья исследуемых уступов по-прежнему наблюдаются ямы и отвалы, представляющие собой следы деятельности нелегальных старателей, добывающих янтарь. В результате этих локальных нарушений целостности грунтов на пляжах и склонах довольно часто происходят обвалы.

Рекомендации. Обязательность продолжения мониторинга состояния недр в ежегодном режиме наблюдений летне-осеннего цикла в пределах наблюдательной сети ключевых участков определяется постоянно фиксируемыми протяженными зонами активизации опасных ЭГП. В связи с возникновением экстремальных ситуаций необходимо проведение дополнительных оперативных наблюдений в пределах сети мониторинга и вне ее в весенне-зимние циклы.

Основные выводы по работам в пункте наблюдений «Западное побережье Самбийского полуострова»

Проведенное плановое обследование побережья в пос. Янтарный (м. Песчаный) и пос. Донское в 2018 г. показало активное проявление склоновых процессов с развитием обвально-осыпных типов ЭГП, начавшихся в 2017 г. Выделенные участки могут быть отнесены к аварийным. Также зафиксировано положение и степень активизации оползневых тел, развитых на берегу в районе пос. Синявино и пос. Донское.

Инженерно-геологическое обследование на двух опорных разрезах на уступах высотой до 35 м показало, что породы в верхней части обоих исследуемых склонов сцементированы слабо и могут обрушиться при любом воздействии на грунты этого участка и нижележащие отложения. На отвалы, бронирующие основания склонов, оказывается волновое воздействие, в результате чего образуется волноприбойная ниша, что в дальнейшем приводит к обрушению. В результате воздействия талых, дождевых и грунтовых вод активизируются процессы оползания, осыпания и другие опасные ЭГП. В период с лета 2017 года до лета 2018 года произошло массовое обрушение по всему западному побережью.

Продолжается активное техногенное вмешательство в геологическую среду береговой зоны. При этом сброс пульпы Янтарного комбината при-

водит к образованию обширной отмели перед зоной сброса и снижает абразионное воздействие на берега в этом районе. В то же время незаконные выработки грунта на западном берегу Самбийского п-ова в пос. Янтарный и в пос. Донское приводят к нарушению целостности отложений пляжа, а подкопы под береговыми уступами – к развитию обвально-оползневых ЭГП и способствуют проникновению морских вод к подножьям береговых уступов. Активизировалась незаконная добыча янтара в субаквальной части пункта наблюдений, где одновременно концентрируется до 50 катеров. Подводная добыча происходит вдоль выходов-обнажений янтареносных дочетвертичных пород с использованием подводного гидроразмыва. Последствия и масштабы воздействия этого размыва на подводные уступы определить не удалось, так как подходы экспедиционного судна с ГЛБО профилированием к месту нелегальной добычи было неосуществимо по причине большого количества малых плавсредств и аквалангистов.

Рекомендации. Высокая активность проявления экзогенных геологических процессов в прибрежной зоне в условиях высокой антропогенной нагрузки определяют обязательность продолжения мониторинга состояния недр в ежегодном режиме наблюдений летне-осеннего цикла в пределах наблюдательной сети.

Основные выводы по работам в пункте наблюдений «Основание Куршской косы»

Среди неблагоприятных ЭГП в субаэральной зоне пункта наблюдений можно выделить дефляцию. В пределах пункта наблюдений выявлено 53 крупных (диаметром 10-30 м) дефляционных воронок в реликтовых дюнах и значительное количество более мелких котловин выдувания. На части из них произведены морфометрические исследования. Установлено, что сквозные котловины выдувания, расположенные в верхней части склонов древних дюн, в отличие от абразионных уступов в современных авандюнах, не восстанавливаются естественным путем. В Национальном парке «Куршская коса» продолжаются работы по стабилизации склонов дюн. Вне пределов Национального парка (г. Зеленоградск) активность дефляционных процессов в 2017-2018 гг. достигла опасного уровня.

Последствия шторма 23-25 октября 2018 года в основании Куршской Косы показали неэффективность применяемых мер берегозащиты с использованием бетонных тетраподов.

В субаквальной части пункта наблюдений седиментационная обстановка остается стабильной, существенные изменения в конфигурации зон размыва морского дна, зон транзита и аккумуляции не установлены.

Рекомендации. Активность проявления экзогенных геологических процессов в условиях возрастающей антропогенной нагрузки определяет обязательность продолжения мониторинга состояния недр в ежегодном режиме наблюдений летне-осеннего цикла в пределах наблюдательной сети.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Опубликованная

- Ассиновская Б.А., Овсов М.К. Сейсмоструктурная позиция Калининградского землетрясения 21 сентября 2004 года // Физика Земли. – 2008. – № 9. – С. 32–43.
- Войтов Г.И., Беликов В.М., Орлова Т.Г. и др. О химической и изотопно-углеродной нестабильности природных газов грязевого вулкана Кипящий Бугор (Юго-Западная Туркмения) // ДАН. – 1988. – Т. 309. – № 6. – С. 1330–1336.
- Геологическая карта, лист R-36-XXIX,XXX масштаба 1 : 200 000, 1959.
- Гинсбург Г.Д., Соловьев В.А. Субмаринные газовые гидраты. – СПб.: ВНИИОкеангеология, 1994. – 199 с.
- Государственная геологическая карта России (ГК-1000 новая серия) лист Q-(35),37 (Апатиты) масштаба 1 : 1 000 000. Геологическая карта четвертичных образований. – СПб.: ВСЕГЕИ, 2012.
- 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.
- Григорьев А.Г., Жамойда В.А., Груздов К.А., Крымский Р.Ш. Возраст и скорости роста железомарганцевых конкреций Финского залива по результатам определения изотопа ^{210}Pb // Океанология. – 2013. – Т. 53. – № 3. – С. 1–7.
- Девдариани Н.А. Геологическое строение Беломорской впадины. Реферат канд. дисс. – М., 1985.
- Жамойда В.А., Рябчук Д.В., Спиридонов М.А., Григорьев А.Г., Пименов Н.В., Амантов А.В., Кропачев Ю.П., Невин И.А. Геолого-геоморфологические условия формирования пок-маков в восточной части Финского залива // Региональная геология и металлогения. – 2013. – № 54. – С. 25–37.
- Иванов М.В., Леин А.Ю., Гальченко В.Ф. Глобальный метановый цикл в океане // Геохимия. – 1992. – № 7. – С. 1035–1045.
- Калмычков Г.В., Егоров А.В., Кузьмин М.И., Хлыстов О.М. Генетические типы метана озера Байкал // Докл. АН РФ. – 2006. – Т. 411. – № 5. – С. 672–675.
- Леин А.Ю. Аутигенное карбонатообразование в океане // Литология и полезные ископаемые. – 2004. – № 1. – С. 3–35.
- Леин А.Ю. Биохимический цикл метана в океане / отв. ред. А.П. Лисицын. – М.: Наука, 2009. – 576 с.
- Леин А.Ю., Иванов М.В. Крупнейший на Земле метановый водоем // Природа. – 2005. – № 2. – С. 19–25.
- 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.
- Невин И.А., Верещагина Е.А., Вяххи И.Э., Жамойда В.А., Григорьев А.Г., Крайнюкова И.А., Токарев И.В. Исследование формирования флюидной разгрузки покмарков в Копорской губе Финского залива по изотопному составу воды ($\delta^2\text{H}$, $\delta^{18}\text{O}$) // Геология морей и океанов: Материалы XXI Международной научной конференции (Школы) по морской геологии. Т. IV. – М.: ГЕОС, 2015. – С. 64–67.
- Прасолов Э.М. Изотопная геохимия и происхождение природных газов. – Л.: Недра, 1990. – 280 с.
- Хёфс И. Геохимия стабильных изотопов. – М.: Мир, 1983. – 197 с.
- Шакиров Р.Б., Сырбу Н.С., Обжиров А.И. Изотопно-газгеохимические особенности распределения метана и углекислого газа на о. Сахалин и прилегающем шельфе Охотского моря // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. – 2012. – № 2. – Вып. 20. – С. 100–113.
- Яхнин Э.Я., Томилин А.М., Шелемотов А.С. Оценка качества и химический состав подземных вод дочетвертичных отложений Ленинградской области // Разведка и охрана недр. – 2005. – № 5. – С. 42–49.
- Ashna A. Raghoebarsing, Arjan Pol, Katinka T. van de Pas-Schoonen, Alfons J. P. Smolders, Katharina F. Ettwig, W. Irene C. Rijpstra, Stefan Schouten, Jaap S. Sinninghe Damsté, Huub J. M. Op den Camp, Mike S. M. Jetten, Marc Strous. A microbial consortium couples anaerobic methane oxidation to denitrification // Nature. – 2006. – V. 440. – P. 918–921.
- Matsumoto R., Ryu B.-J., Lee S.-R et al. Occurrence and exploration of gas hydrate in the marginal seas and continental margin of the Asia and Oceania region // Marine and Petroleum Geology. – 2011. – Vol. 28. – Pp. 1751–1767.

Фондовая

Мануйлов С.Ф., Рыбалко А.Е., Спиридонов М.А.

Отчет по теме «Опытно-производственные геологосъемочные и поисковые работы на прибрежном шельфе Кольского полуострова с целью оценки перспектив этой подводной территории на россыпи». Л., 1973.

Рыбалко А.Е. и др. Отчет о результатах работ по договору 80/04/12: «Проведение Государственного мониторинга состояния недр прибрежно-

шельфовой зоны Кандалакшского залива Белого моря, северного прибрежного шельфа Кольского полуострова – район Териберка – Гремиха Баренцева моря и центрального сектора восточной части Финского залива Балтийского моря в связи с интенсивным хозяйственным освоением территории». ОАО «Севморгео», 2014.