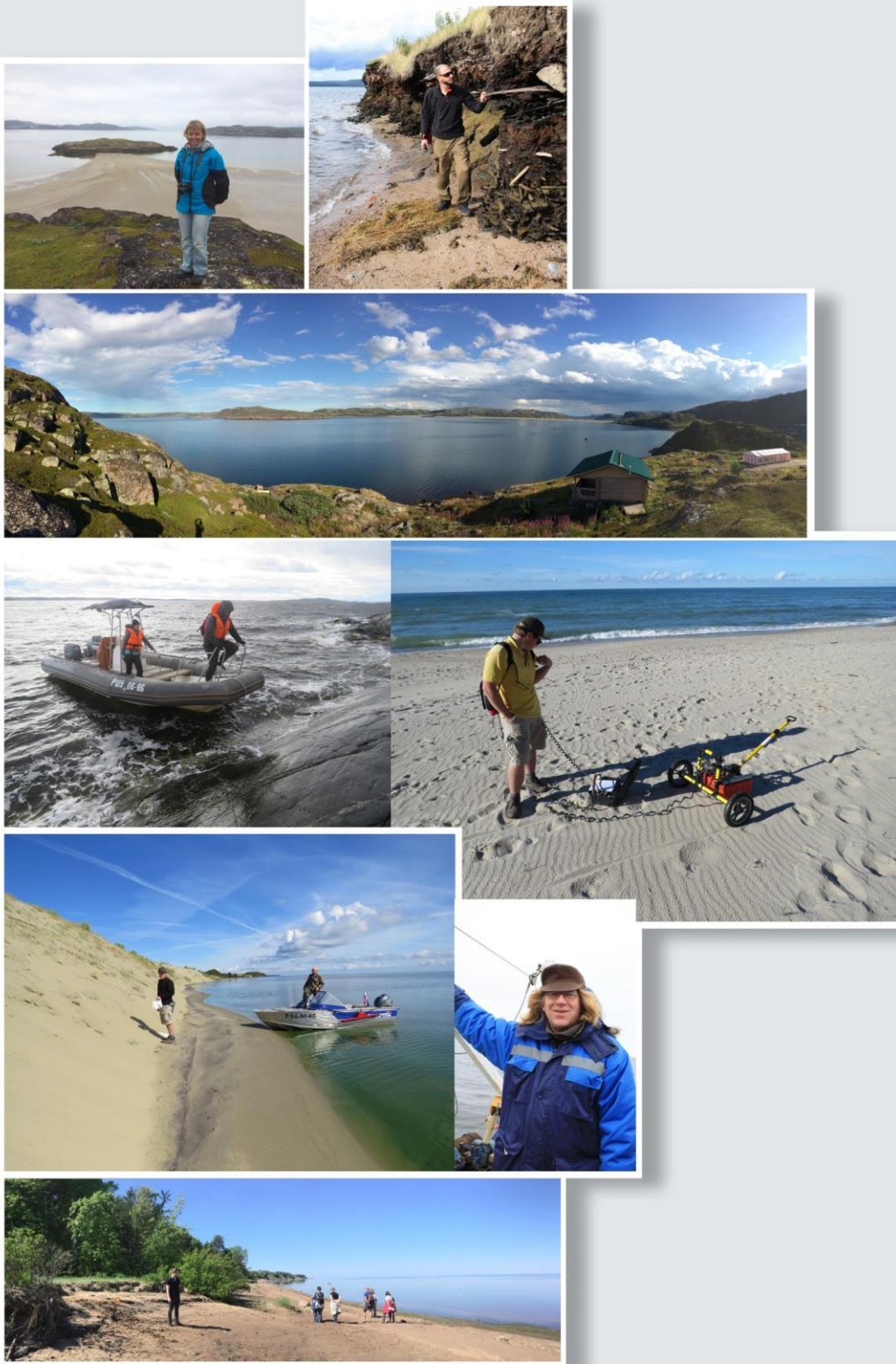


ИНФОРМАЦИОННЫЙ БЮЛЛЕТЕНЬ

*о состоянии недр прибрежно-шельфовой зоны
Белого, Баренцева и Балтийского морей в 2016 году*



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 2016 ГОДУ

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ
2017

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 2016 г. – СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2017. – 117 с.

В 2016 г. работы по Государственному мониторингу состояния недр (геологической среды) прибрежно-шельфовой зоны Баренцева, Белого и Балтийского морей выполнялись на ключевых участках «Губа Териберская» (Баренцево море), «Кандалакшский залив – глубинный район», «г. Кандалакша – береговая зона», «Пролив Великая Салма» (Белое море), на четырех ключевых участках в восточной части Финского залива и трех ключевых участках в пределах Российского сектора юго-восточной части Балтийского моря (Калининградский шельф). Работы выполнялись как на прибрежном шельфе, так и на совмещенных площадях «суша–море». Для оценки интенсивности обвальнo-осыпных процессов на берегах Балтийского моря применялось наземное лазерное сканирование. Выполнена актуальная оценка активности опасных экзогенных геологических процессов в пределах прибрежного шельфа и береговых зон морей Северо-Запада России.

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, О.А. Ковалева, Л.М. Буданов,
И.А. Неевин, В.И. Хориков, А.В. Евдокименко, Ю.П. Кропачев, М.А. Спиридонов,
А.Н. Сукнотова (ФГБУ «ВСЕГЕИ»)*

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

ISBN 978-5-00193-253-6

© Федеральное агентство по недропользованию, 2017
© Коллектив авторов, 2017
© Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2017

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
РАЙОН РАБОТ – БАРЕНЦЕВО МОРЕ	5
Ключевой участок «Губа Териберская»	6
РАЙОН РАБОТ – КАНДАЛАКШСКИЙ ЗАЛИВ БЕЛОГО МОРЯ	10
Ключевой участок «Кандалакшский залив – глубинный район»	11
Ключевой участок «г. Кандалакша – береговая зона»	24
Ключевой участок «Пролив Великая Салма»	27
РАЙОН РАБОТ «ВОСТОЧНАЯ ЧАСТЬ ФИНСКОГО ЗАЛИВА» (БАЛТИЙСКОЕ МОРЕ)	32
Ключевой участок «Северная береговая зона в пределах Курортного района»	34
Ключевой участок «Южная береговая зона в районе пос. Большая Ижора»	46
Ключевой участок «Копорский залив»	54
Ключевой участок «Район острова Гогланд»	62
РАЙОН «РАБОТ «РОССИЙСКИЙ СЕКТОР ЮГО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ БАЛТИЙСКОГО МОРЯ» (КАЛИНИНГРАДСКИЙ ШЕЛЬФ)»	75
Ключевой участок «Северное побережье Самбийского полуострова»	76
Ключевой участок «Западное побережье Самбийского полуострова»	87
Ключевой участок «Основание Куршской косы»	102
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	113
Список литературы	118

ВВЕДЕНИЕ

Очередной годовой этап мониторинга состояния недр прибрежно-шельфовых зон Северо-Западных морей РФ выполнялся в рамках темы «Ведение наблюдений, сбор качественных и количественных показателей состояния недр прибрежно-шельфовых зон Белого, Баренцева и Балтийского морей» (заказчик работ ФГБУ «Гидроспецгеология»).

Пространственные границы объекта 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 прибрежных территорий и инженерно-хозяйственных объектов, подверженных негативному воздействию опасных экзогенных геологических процессов (ЭГП) выполнялось на 11 ключевых участках в прибрежно-шельфовых зонах Белого, Баренцева и Балтийского морей. В Кандалакшском заливе Белого моря работы осуществлялись на трех участках: «г. Кандалакша – береговая зона»; «Великая Салма»; «Кандалакшский залив – глубинный район»); в Баренцевом море на одном участке – «губа Териберская»; в Финском заливе Балтийского моря на четырех ключевых участках: «Северная береговая зона в пределах Курортного района», «Южная береговая зона в районе пос. Большая Ижора», «Копорский залив», «район о-ва Гогланд» и в Российском секторе юго-восточной части Балтийского моря, примыкающем к Калининградской области на трех ключевых участках: «Основание Куршской косы», «Западное побережье Самбийского полуострова», «Северное побережье Самбийского полуострова».

В состав работ входило: гидролокация бокового обзора (ГЛБО); непрерывное сейсмоакустическое профилирование (НСАП);

подводное фототелепрофилирование; отбор проб грунтов для определения физических и физико-механических свойств, определения газового состава, химического состава, а также морской воды для определения химического состава; георадиолокационное профилирование и т.д.

К работам на Калининградском шельфе привлекались специалисты Атлантического отделения Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН. Геодезическая съемка методом наземного лазерного сканирования для количественного определения объемов перемещения грунтов и горных пород за счет экзогенных геологических процессов на двух участках активного проявления ЭГП (гравитационно-оползневое и обвальное разрушение береговых уступов) на побережье Самбийского п-ва (Калининградская область) выполнена БФУ им. И. Канта. Аналогичные съемки в береговой зоне восточной части Финского залива (в районе пос. Лебяжье, Ленинградская область) осуществлены ООО «Альфа-Морион».

Лабораторно-аналитические исследования проводились в Центральной лаборатории ВСЕГЕИ (определение химического состава грунтов и вод), а также по договорам подряда в Испытательной геотехнической лаборатории АО «ЛенморНИИпроект» (определение физических и физико-механических свойств грунтов); в Химико-спектральной лаборатории ФГБУ «ВНИИОкеангеология» (определение газового состава) и в Институте микробиологии РАН (изотопия углерода в метане и его гомологах). Для изучения химического состава газа использовался метод газовой хроматографии. Изотопный состав углерода, входящего в состав метана и углекислого газа, определялся в ФИЦ биотехнологий Института микробиологии им. С.Н. Виноградского РАН с применением газовой хроматографии.

РАЙОН РАБОТ – БАРЕНЦЕВО МОРЕ

Ключевой участок «Губа Териберская»

Состав наблюдательной сети. Виды наблюдений

В районе губы Териберская в августе 2016 г. были выполнены вдольбереговые маршруты (плановое инженерно-геологическое обследование берегов), в ходе которых велось описание геологического строения и рельефа, признаков проявления опасных экзогенных геологических процессов, а также осуществлялась оценка состояния

техногенных объектов. Общая протяженность маршрутов составила 11,4 км. Было отобрано 14 проб отложений для лабораторного исследования инженерно-геологических свойств (рис. 1). На выходах микроклиновых гранитов выполнялись измерения трещиноватости скальных массивов (количество трещин на 1 м², углы и азимуты простирания и падения) (рис. 2)

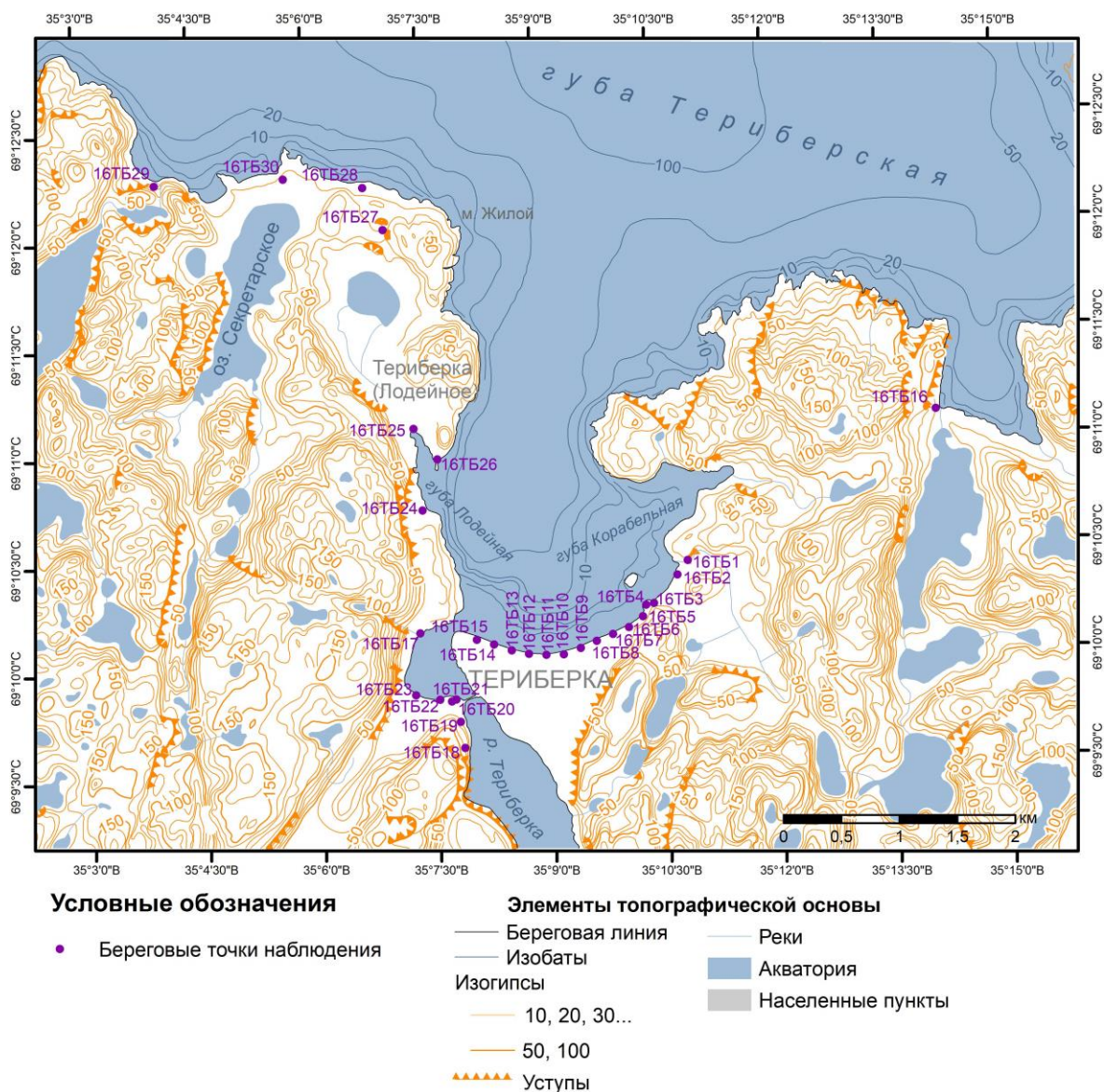


Рис. 1. Карта фактического материала работ 2016 г. на ключевом участке «Губа Териберская» (Баренцево море)

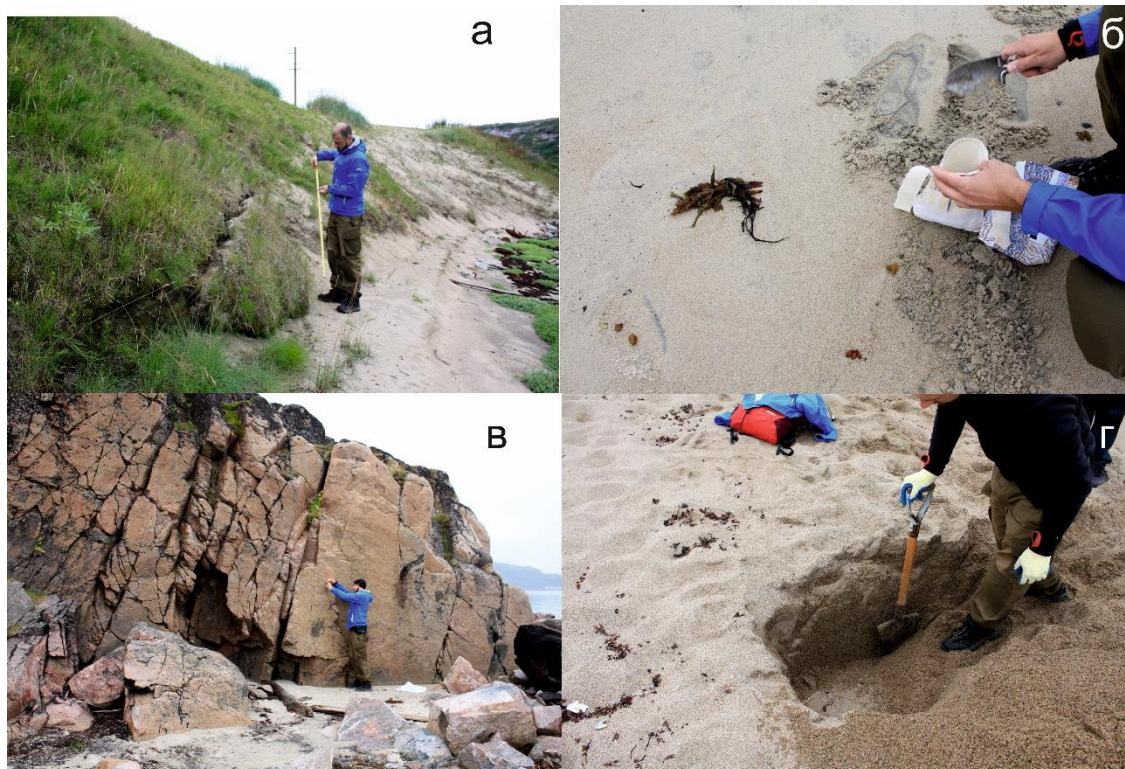


Рис. 2. Рабочие моменты береговых маршрутов в губе Териберская. *а* – измерение параметров микрооплзня; *б* – отбор пробы отложений пляжа; *в* – измерение параметров трещиноватости; *г* – отбор пробы из закопушки

Экзогенные геологические процессы

Обследование показало, что берега открытой части губы Териберская относятся к фиордовым (группа берегов, сформированных субаэральными тектоническими процессами и мало измененных морем; тип берегов ледниково-тектонического расчленения). Мысы представляют собой, как правило, подвергшиеся ледниковой экзарации выходы коренных пород, в бухтах преобладают скопления крупных окатанных валунов, сформировавшиеся в голоцене и на современном этапе из материала, вероятно, ледникового и флювиогляциального происхождения. Обвальные процессы проявлены локально, в пределах трещиноватых скальных массивов (рис. 3, *а*), где берега могут быть классифицированы как экзарационно-денудационные (рис. 3, *б*). Южный берег бухты Лодейная (вблизи устья р. Териберка) характеризуется широким развитием аккумулятивных песчаных форм аллювиально-морского происхождения (рис. 4) – пляжи, песчаные осушки, томболо.

Для оценки основных тенденций лито- и морфодинамики береговой зоны был выполнен ретроспективный анализ материалов дистанционного зондирования.



Рис. 3. Берега открытой части Баренцева моря. *а* – экзарационно-тектонический берег к востоку от м. Долгий; *б* – экзарационно-денудационный берег в районе озера Батарейское



Рис. 4. Аккумулятивные формы южного берега губы Лудейная. *а* – песчаный пляж; *б* – томболо

Использовались космоснимки Digital Globe и CNES/Astrium сверхвысокого разрешения, находящиеся в открытом доступе (ресурс Google Earth). Для сравнения были выбраны космоснимки от 09.07.2004 г. и от 25.07.2013 г., выполненные в ясную

и безоблачную погоду. Уточненная геопространственная привязка космоснимков, выполненная в ArcGIS, позволила с высокой точностью определить положение бровки абразионного уступа, выраженного в рельефе береговой зоны аккумулятивного участка берега, на котором расположен пос. Териберка.

Сравнение показало, что за девятилетний период конфигурация субаэральной части береговой зоны не изменилась. Положение и форма абразионного уступа, выработанного в эоловых отложениях на береговой террасе, крайне консервативны. Незначительные изменения в береговом контуре отмечаются для приустьевой части берега, где река Териберка впадает в залив. Здесь отмечается перемещение пляжевых приустьевых отложений как в сторону моря, так и в сторону реки в пределах 50-метрового участка, носящее, по-видимому, сезонный характер (рис. 5).

Значительные техногенные изменения в геологической среде в непосредственной близости от береговой зоны были произведены в 2009–2010 гг., когда силами Газпрома была проложена грунтовая дорога вдоль берега. В результате была осуществлена проходка скального массива к востоку от пос. Териберка и сформированы насыпи из гранитно-глыбового материала вдоль берега. В восточной части залива дорога проходит на расстоянии не более 20 м от пляжа (рис. 6).

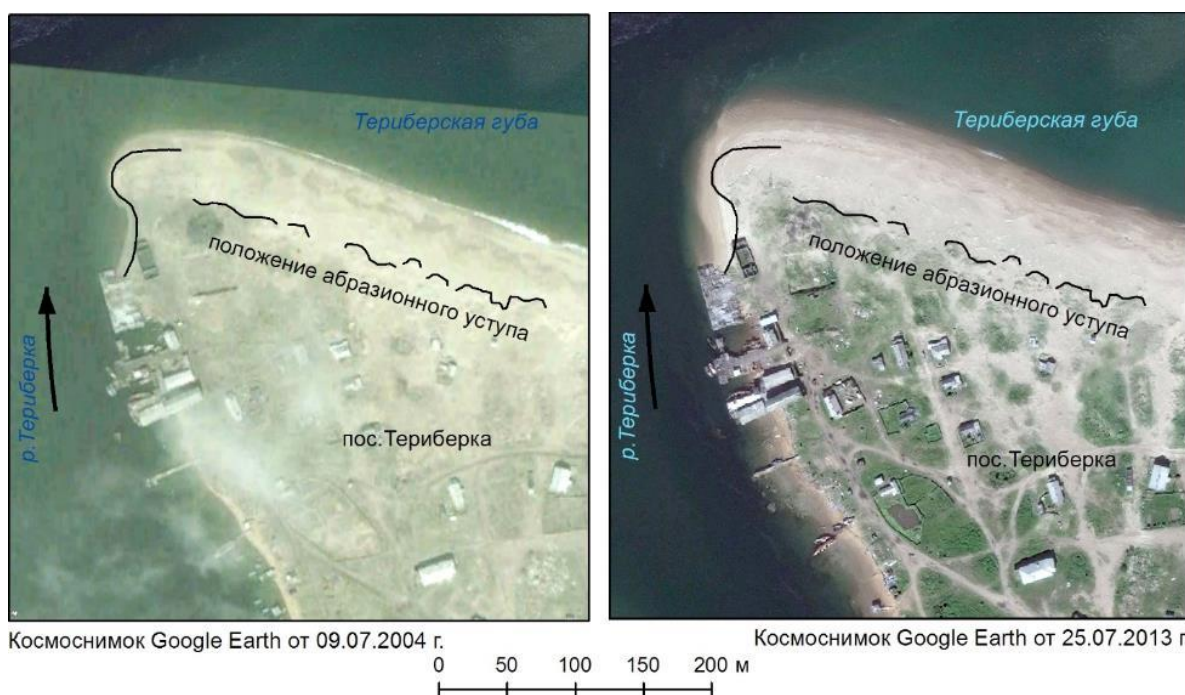


Рис. 5. Динамика береговой зоны пос. Териберка за девятилетний период. Черная линия – положение абразионного уступа по космоснимку, подтвержденное при береговом обследовании 9 августа 2016 г.



а



б

Рис. 6. Строительство дороги в непосредственной близости от береговой зоны: а – Космоснимок Google Earth от 06.08.2009. Дорога не проложена; б – Космоснимок Google Earth от 10.07.2011. Дорога пересекает пос. Териберка и выходит на пляж к востоку от поселка

Выводы по состоянию геологической среды на участке «Губа Териберская»

Таким образом, проведенный ретроспективный анализ данных дистанционного зондирования показывает, что кутовая часть Териберской губы характеризуется практически полным отсутствием береговой динамики, за исключением устья р. Териберка, где окончность песчаного пляжа под действием как речного стока, так и приливно-отливных процессов незначительно мигрирует в пределах 50-метрового участка приустьевого берега.

В ходе маршрутов установлены участки проявления обвальных процессов, локальные оползни (рис. 7), а также зоны возможной активизации разломной тектоники. Интенсивность процессов в целом невелика и в настоящее время не представляет угрозы для населения и береговой инфраструктуры, однако работы на ключевом участке целесообразно продолжить (в режиме наблюдений один раз в два – три года).

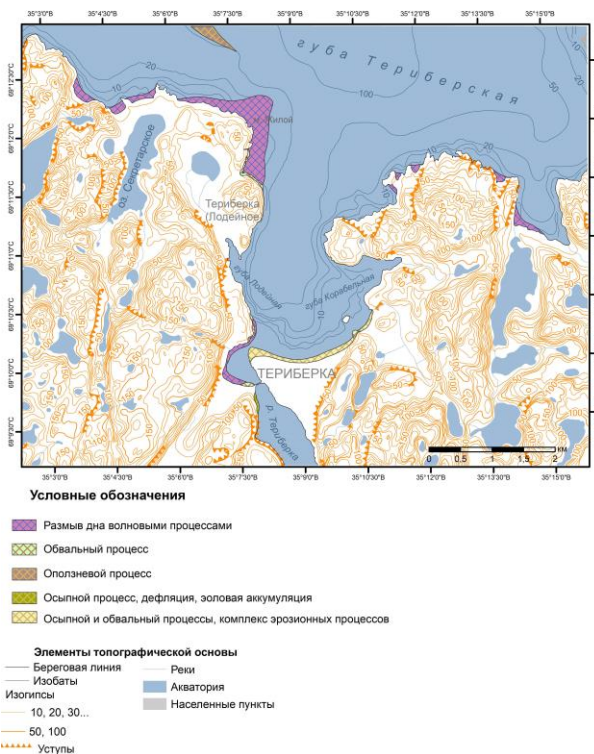


Рис. 7. Карта-схема проявлений опасных ЭГП ключевого участка «Губа Териберская»

РАЙОН РАБОТ – КАНДАЛАКШСКИЙ ЗАЛИВ БЕЛОГО МОРЯ

Основными задачами при проведении полевых работ на ключевых участках Кандалакшского залива (рис. 8) («г. Кандалакша – береговая зона»; «пролив Великая Салма»; «Кандалакшский залив – глубинный район») было

выявление площадей, на которых возможно проявление опасных экзогенных геологических процессов (ЭГП), в первую очередь, гравитационных перемещений грунтов.

Ключевой участок «Кандалакшский залив – глубинный район»

Состав наблюдательной сети. Виды наблюдений
Работы в пределах участка «Кандалакшский залив – глубинный район» проводились с научно-исследовательского судна (НИС) «Эколог» (рис. 9).

Работы включали в себя комплекс геофизических методов (непрерывное сейсмоакустическое профилирование (НСАП) – 13 профилей протяженностью 206,2 км и гидролокация бокового обзора (ГЛБО) – 9 профилей общей протяженностью 60,5 км) и комплекс геологических методов исследований (отбор проб грунтов на 23 станциях для комплексного определения физико-механических свойств на гранулометрический и геохимический анализы), и фотовидеопрофилирование (5 станций). Схема фактического материала работ представлена на рис.10.

Экзогенные геологические процессы

Геологический разрез в пределах участка представлен пятью основными геологическими комплексами. Нижние два комплекса образованы

докембрийскими породами архея и рифея. Три верхних комплекса представлены четвертичными отложениями. Это ледниковые отложения верхнего неоплейстоцена, нерасчлененные ледниково-морские отложения верхнего неоплейстоцена – голоцена и морские голоценовые отложения [Мануйлов и др., 1973ф, Девдариани, 1985; Государственная геологическая карта ..., 2012].

Выходящие на дочетвертичную поверхность породы верхнего рифея подразделяются на нижнетерскую, среднетерскую, верхнетерскую свиты и представлены песчаниками с прослоями алевролитов и аргиллитов, а также пачками переслаивания алевролитов и глинистых сланцев. В составе ледниковых отложений выделяются валунные пески, супеси и суглинки. Ледниково-морские отложения представлены в основном глинами и алевроглинами с включениями песка и гальки [Государственная геологическая карта ..., 2012].

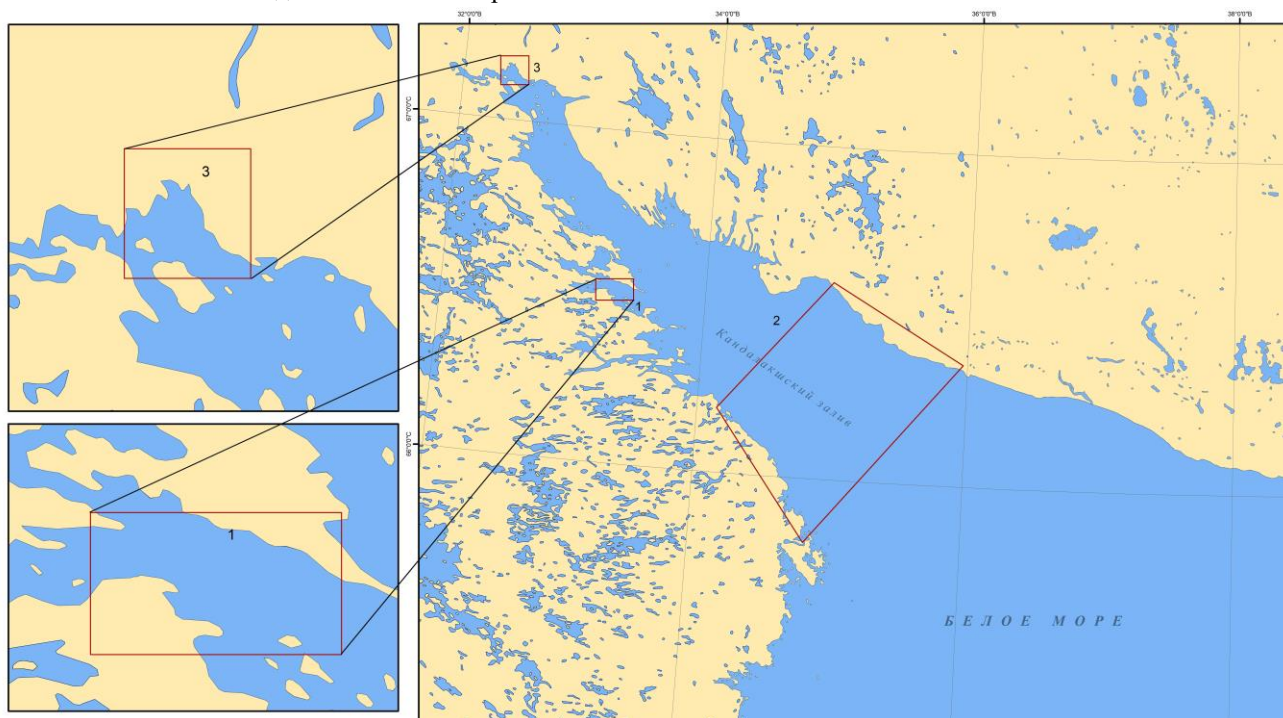


Рис. 8. Расположение участков проведения работ: 1 – «Пролив «Великая Салма», 2 – «Кандалакшский залив – глубинный район», 3 – «г. Кандалакша – береговая зона»



Рис. 9. Экспедиционное судно «Эколог»

Морские отложения голоцена сложены глинами, алевроглинами, пелитами и песками. Непосредственно в прибрежной части развиты морские перлювиальные отложения (пески, гальки, валуны).

Первым этапом исследований являлось проведение работ методом непрерывного сейсмоакустического профилирования (НСАП). Основой для проведения работ методом НСАП являлись результаты предварительного морфологического анализа рельефа дна большей части акватории участка «Глубинный район» на основе использования модуля Spatial Analyst инструментов геообработки ArcGIS. В результате геолого-геоморфологического анализа были выявлены площади, которые по своим характеристикам потенциально наиболее подвержены подводным оползневым процессам, и построена соответствующая схема (рис. 11). Геофизические работы методом НСАП позволили изучить геологический разрез, определить мощности четвертичных отложений, углы склонов подводного рельефа, закартировать положение разрывных нарушений (в том числе активизированных на современном этапе).

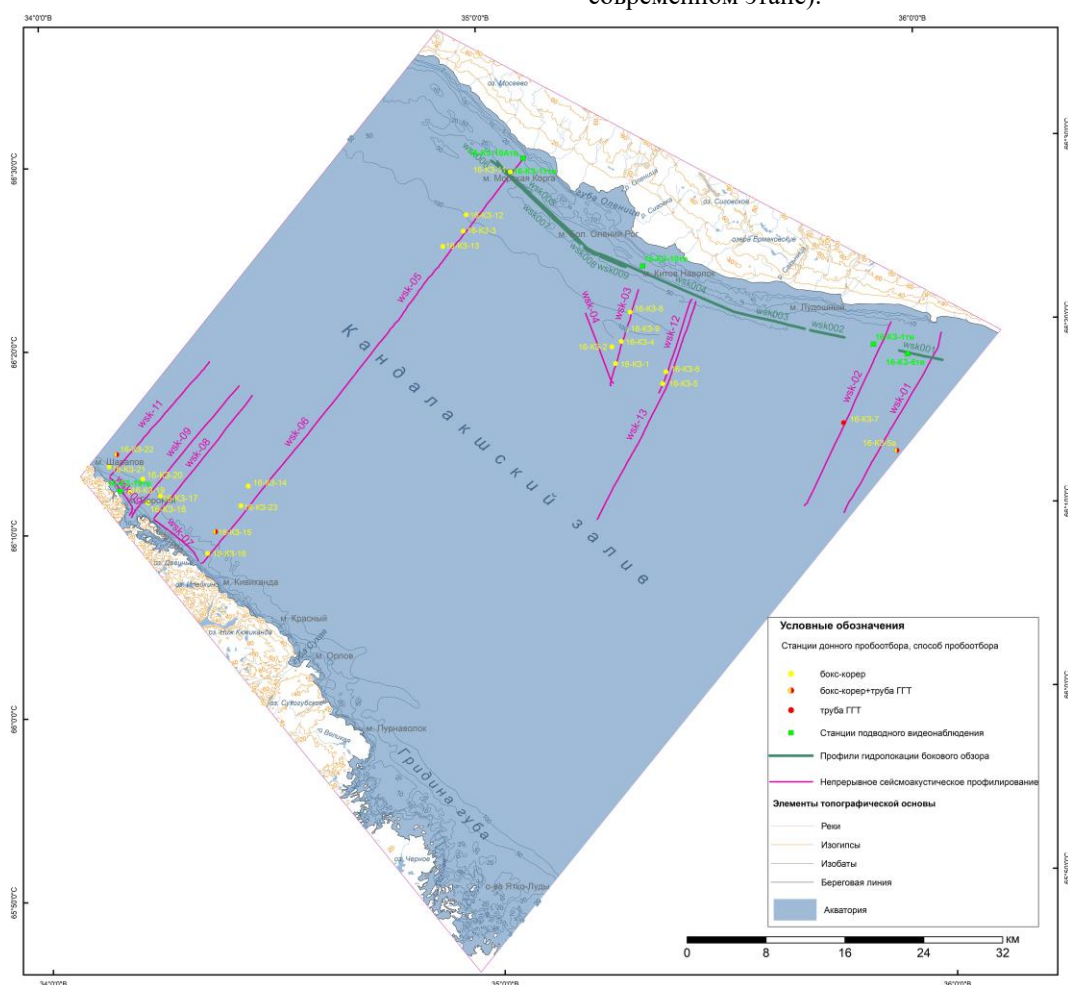


Рис. 10. Схема фактического материала геолого-геофизических работ 2016 г. на участке «Кандалакшский залив – глубинный район»

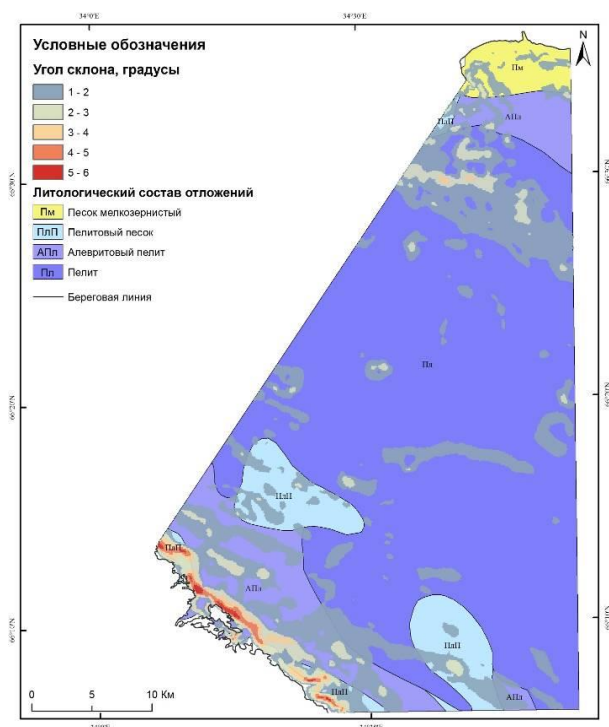


Рис. 11. Схема углов склона и литологического состава донных осадков, построенная с использованием Spatial Analyst инструментов геообработки ArcGIS, для планирования работ методом НСАП

По данным опробования и гранулометрического анализа, голоценовые отложения представлены преимущественно алевропелитовыми илами с хорошо выраженной зоной окисления (рис. 12, 13). Физические свойства отложений, выходящих на поверхность дна, достаточно однородны (ил глинистый) (табл. 1).

Проведенные исследования показали, что ледниковые отложения верхнего неоплейстоцена в пределах изучаемой площади сплошным чехлом, за исключением небольших участков с крутыми склонами, перекрывают отложения рифея. Мощность морены колеблется от долей метра до 30 м (рис. 14–16). Максимальные мощности ледниковых отложений зафиксированы в пределах моренных гряд. На равнинных участках дна мощность морены колеблется в интервале 9–18 м, на склонах составляет от 9 м и менее. На отдельных участках склонов с углом наклона более 14° ледниковые отложения могут отсутствовать.

Комплекс нерасчлененных ледниково-морских отложений распространен достаточно фрагментарно. Максимальные мощности, достигающие 9,8 м, как правило, приурочены к депрессиям рельефа поверхности морены (рис. 14–16).



Рис. 12. Фотографии верхней части геологического разреза донных грунтов – глинистые илы: станции 16-K3-21 и 16-K3-23

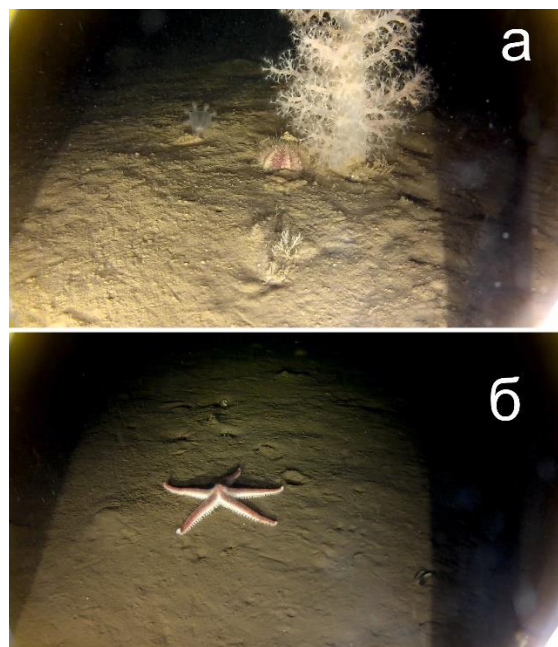


Рис. 13. Алевропелитовые грунты (глинистые илы) на дне Кандалакшского залива. Подводное фотовидеопрофилирование: а – станция 16-K3-1 тв, б – 16-K3-6 тв

Таблица 1. Результаты определения физико-механических свойств грунтов в монолитах

№ п/п	№ пробы	Влажность на границе, д.е.		Число пластичности Ip, д.е.	Массовая доля органического вещества, д.е.	Природная влажность W, д.е.	Плотность грунта ρ , г/см ³	Плотность частиц грунта ρ_s , г/см ³	Плотность сухого грунта ρ_d , г/см ³	Коэф. пористости e, д.е.	Коэф. водонасыщенности Sr, д.е.	Показатели консистенции д.е.
		текучести WL,	раскатывания Wp									IL
1	16-K3-1	0,873	0,495	0,378	0,07	1,848	1,28	2,68	0,449438	4,963	1	3,58
2	16-K3-3	0,86	0,519	0,341	0,06	1,817	1,29	2,68	0,457934	4,852	1	3,81
3	16-K3-4	0,657	0,419	0,238	0,05	0,96	1,46	2,692	0,744898	2,614	0,99	2,27
4	16-K3-4-1	0,772	0,416	0,356	0,06	1,14	1,42	2,69	0,663551	3,054	1	2,03
5	16-K3-5a	0,963	0,591	0,372	0,08	2	1,26	2,683	0,42	5,388	1	3,79
6	16-K3-5	0,903	0,5	0,403	0,08	1,696	1,31	2,7	0,485905	4,557	1	2,97
7	16-K3-6	0,694	0,389	0,305	0,06	1,309	1,37	2,68	0,59333	3,517	1	3,02
8	16-K3-13	0,962	0,555	0,407	0,08	1,922	1,27	2,65	0,434634	5,097	1	3,36
9	16-K3-14	1,26	0,859	0,401	0,1	2,72	1,2	2,7	0,322581	7,37	1	4,64
10	16-K3-15	0,965	0,538	0,427	0,07	2,45	1,22	2,7	0,353623	6,635	1	4,48
11	16-K3-20	0,813	0,442	0,371	0,06	1,8	1,29	2,67	0,460714	4,795	1	3,66
12	16-K3-22	0,808	0,416	0,392	0,07	1,487	1,33	2,701	0,534781	4,051	0,99	2,73
13	16-K3-23	1,148	0,733	0,415	0,1	2,584	1,21	2,64	0,337612	6,82	1	4,46

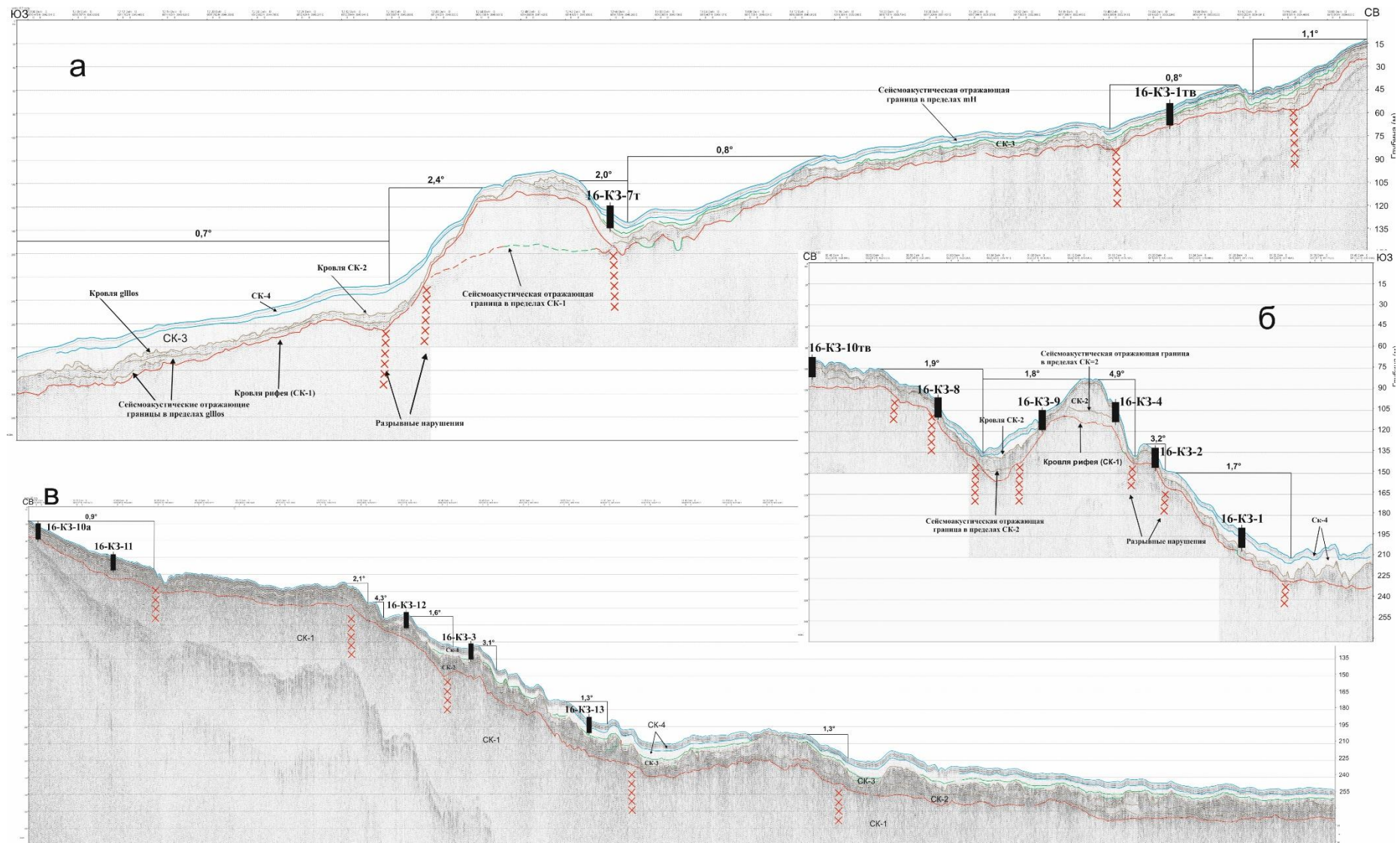


Рис. 14. Профили НСАП wsk-02 (а), wsk-03 (б) и wsk-05 (в) с нанесенными основными углами склона и станциями отбора грунтов: gIIos – морена; gmIIos – ледниково-морские отложения (верхний неоплейстоцен), mIII – морские отложения голоцена

Смещение осадков по склону, вероятно, происходит по двум возможным сценариям.

1. Лавинообразные оползневые процессы при накоплении критичной массы осадка.

2. Постоянное равномерное перемещение осадка вниз по склону по мере его осадения.

Первый вариант характерен для крутых склонов с углами падения более 11° - 13° . Для склонов с меньшими углами более вероятно постепенное гравитационное смещение.

Следует отметить, что оползневые процессы могут быть спровоцированы проявлениями сейсмической активности и техногенным воздействием (при проведении подводных инженерно-технических работ, в том числе при прокладке газопроводов и нефтепроводов, укладке кабелей, установке буровых платформ и т. п.).

Профилирование ГЛБО позволило идентифицировать состав донных осадков, уточнить их распределение и закартировать мезоформы рельефа дна в прибрежных зонах. На сонограмме профиля wsk-004 (рис. 17) среди поля песков выделяется подводная гряда, состоящая из валунного материала и гравия, протягивающаяся под углом 45° по отношению к линии профиля. Отчетливо видна акустическая тень от гряды (участок белого цвета).

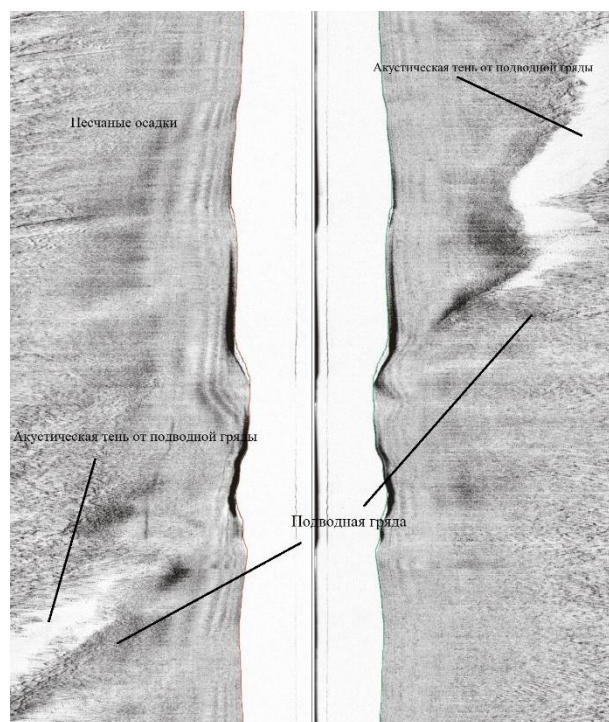


Рис. 17. Сонограмма участка дна. Профиль ГЛБО wsk-004

Результатом работ методом ГЛБО явилось выделение и картирование зон распространения грубообломочных отложений, которые свидетельствуют о размыве морского дна в прибрежной части акватории (рис. 18). С целью заверки данных гидролокации бокового обзора, проведена подводная видеосъемка (рис. 19).

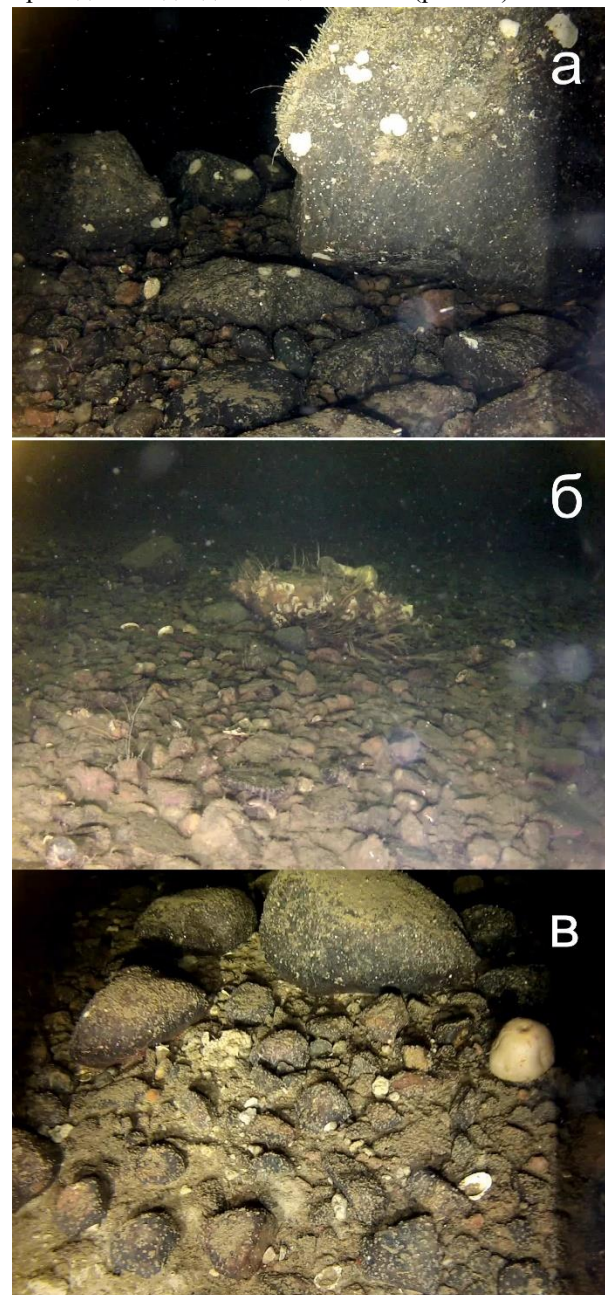


Рис 19. Подводные фотографии дна Кандалакшского залива: а – валунно-галечные отложения, б – галечно-гравийные отложения с отдельными валунами, в – песчано-галечно-гравийные отложения с отдельными валунами

Геохимические и газогеохимические исследования проводилось с целью обнаружения геохимических и гидрохимических аномалий, как

показателя возможного влияния проявлений современной тектоники на экзогенные геологические процессы. Для этого был произведен отбор геохимических, гидрохимических и газогеохимических проб на станциях, расположенных в зонах современных разрывных нарушений (Ст.16-К3-5а, 16-К3-7) и станциях с достаточно мощным слоем голоценовых осадков (Ст.16-К3-15, 16-К3-22). Результаты лабораторных исследований приведены в таблицах 2, 3.

Основываясь на полученных данных, можно констатировать, что содержание метана и его гомологов в донных осадках участка «Глубинный район» крайне незначительно. При этом их концентрации на станциях, расположенных непосредственно над зафиксированными разрывными нарушениями, так и на станциях, расположенных в районах с развитыми голоценовыми осадками, приблизительно равны. С одной стороны, это говорит об отсутствии поступления заметного количества метана по разрывным нарушениям, а с другой стороны о

крайне незначительном количестве биогенного метана в голоценовых отложениях и соответственно об отсутствии интенсивно газонасыщенных осадков (илов), и связанных с ними экзогенных геологических процессов. Наличие гелия и водорода в осадках не зафиксировано, что также свидетельствует об отсутствии в настоящее время поступления глубинных газов по разломам.

В таблице 3 приведены результаты гидрохимического анализа придонных вод. Концентрации определяемых химических элементов, в придонных водах на станциях, расположенных непосредственно над зафиксированными разрывными нарушениями, а также на станциях, расположенных в районах с развитыми голоценовыми осадками (в данном случае – фоновые станции) близки между собой.

Для ряда элементов, таких как В, Со, Сд концентрация в придонной воде над разрывными нарушениями в некоторых случаях даже несколько ниже, чем на фоновых станциях.

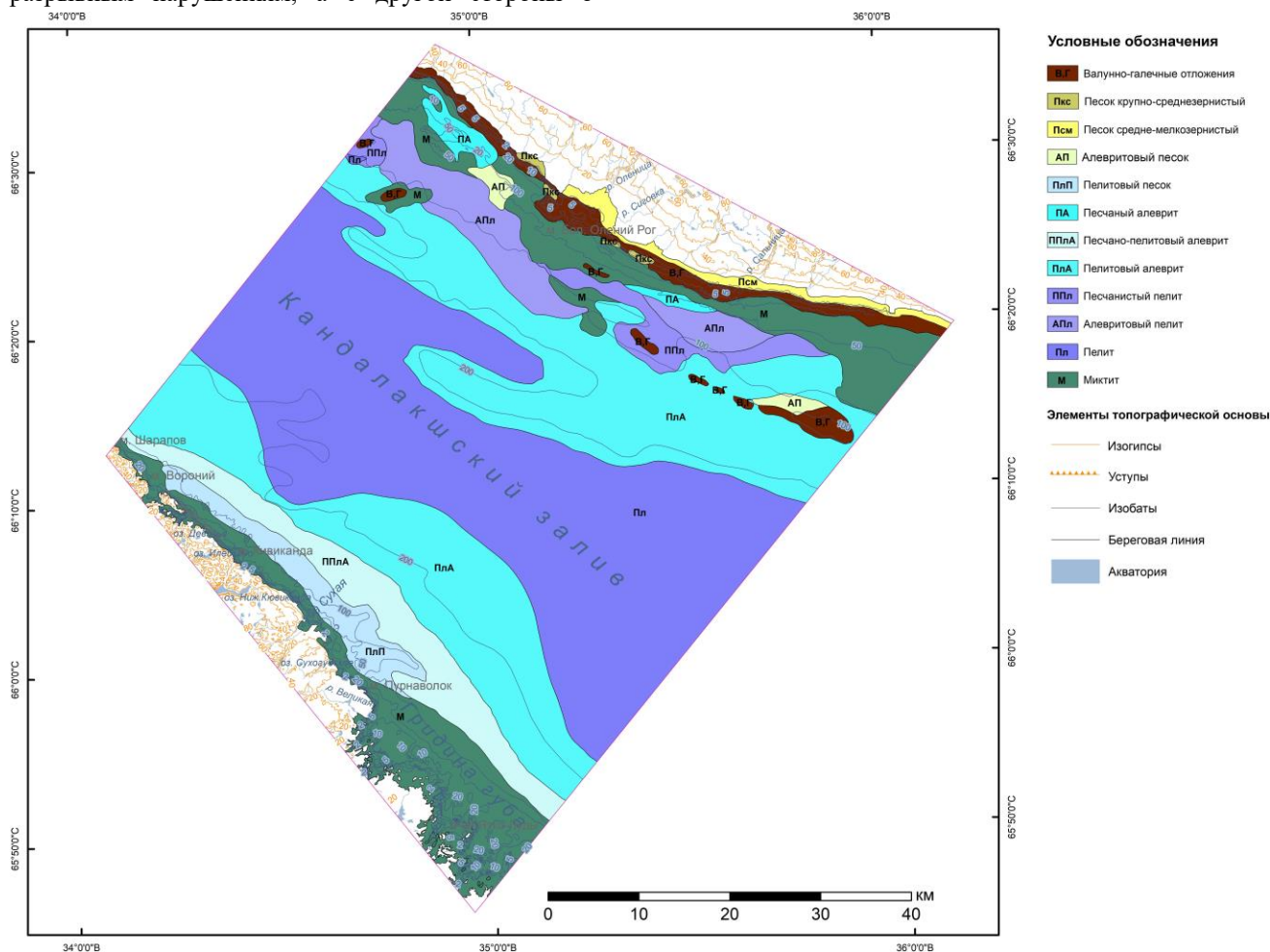


Рис. 18. Литологическая карта-схема дна ключевого участка «Кандалакшский залив – глубинный район»

Некоторое повышение концентраций в придонных водах над разрывными нарушениями отмечено только для Рв. В целом значимого различия по содержанию определяемых химических элементов в придонных водах между выделенными группами станций не выявлено.

Литохимическое опробование показало, что концентрации большинства химических элементов в пределах зон, расположенных непосредственно над разрывными нарушениями приблизительно равны, а в ряде случаев даже заметно ниже, чем на фоновом участке (табл. 4).

Выводы по состоянию геологической среды на участке «Кандалакшский залив – глубинный район»

На основе полученных геолого-геофизических данных и с учетом проведенного геоморфологического анализа дна акватории создана карта-схема опасных ЭГП на ключевом участке (рис. 20).

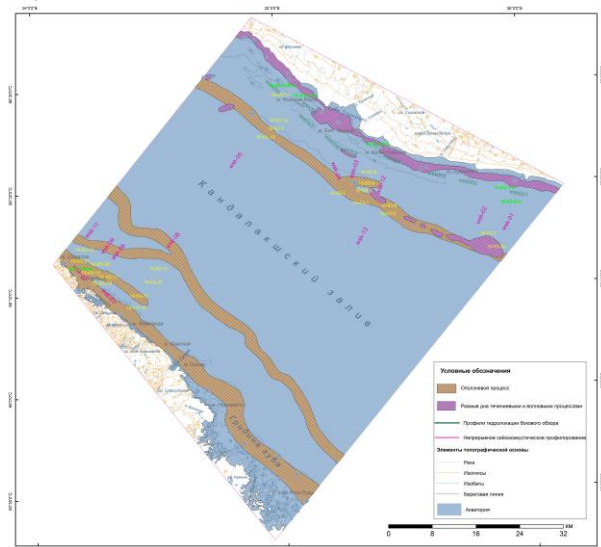


Рис. 20. Схема проявлений опасных ЭГП на участке «Кандалакшский залив – глубинный район»

Полученные результаты проведенных на ключевом участке «Кандалакшский залив – глубинный район» геолого-геофизических и геохимических исследований позволяют сформулировать несколько выводов.

1. Физико-механические свойства донных грунтов (ил глинистый) обуславливают их высокую текучесть, что определяет возможность грунтов перемещаться вниз по склону при углах падения последних $2,5^{\circ}$ – 5° и более.

2. Площадь склонов с углами падения более $2,5^{\circ}$ – 5° составляет более 40% от общей площади склонов.

3. На значительной части обследованных подводных склонов, по данным НСАП, фиксируется гравитационное смещение осадков.

4. Перемещение осадков вниз по склону, вероятно, происходит двумя основными способами: а) лавинообразные оползневые процессы при накоплении критичной мощности грунтов, б) постоянное и равномерное перемещение осадка вниз по склону после его осаждения.

5. Оползневые процессы могут быть спровоцированы проявлениями сейсмической активности и техногенным воздействием (при проведении подводных инженерно-технических работ, прокладке подводных коммуникаций и т. д.).

6. Выходы подземных вод, связанные с активизированными тектоническими нарушениями, не оказывают заметного влияния на экзогенные геологические процессы.

7. В разрезе голоценовых осадков отсутствуют газонасыщенные илы, наличие которых может способствовать проявлению опасных экзогенных геологических процессов.

Предложения по дальнейшим работам:

Предлагается расширение работ на участке «Кандалакшский залив – глубинный район» на запад, где, по данным геолого-геоморфологического анализа, с использованием модуля Spatial Analyst инструментов геообработки ArcGIS, выявлены площади, которые по своим характеристикам потенциально наиболее подвержены подводным оползневым процессам.

Таблица 2. Содержание газовой составляющей в донных осадках на ключевом участке «Кандалакшский залив – глубинный район».

№ пробы	Метан	Этан	Этилен	Пропан	Пропилен	i-бутан	n-бутан	бутен-1	i-бутилен	i-пентан	n-пентан	N ₂	O ₂	CO ₂	Ar
	CH ₄	C ₂ H ₆	C ₂ H ₄	C ₃ H ₈	C ₃ H ₆	i-C ₄ H ₁₀	n-C ₄ H ₁₀	C ₄ H ₈	i-C ₄ H ₈	i-C ₅ H ₁₂	n-C ₅ H ₁₂				
	концентрация, ppm														
15-K3-5a-1	8,553	0,190	0,649	0,200	0,349	0,032	0,057	0,030	0,205	0,245	0,043	96,23	1,95	0,23	1,56
15-K3-5a-2	6,255	0,090	0,484	0,115	0,258	0,015	0,035	0,054	0,140	0,209	0,033	93,01	5,26	0,15	1,53
15-K3-15	4,757	0,076	0,521	0,089	0,141	0,010	0,008	0,016	0,096	0,186	0,006	84,02	14,45	0,09	1,34
15-K3-22	4,509	0,095	0,311	0,079	0,088	0,023	0,020	0,000	0,061	0,158	0,003	85,17	13,39	0,08	1,30
15-K3-7	7,535	0,185	0,369	0,132	0,137	0,009	0,060	0,053	0,133	0,073	0,026	90,84	7,55	0,14	1,43

Таблица 3. Содержание химических элементов в придонной воде на ключевом участке «Кандалакшский залив – глубинный район»

№ пробы	B	Na	Mg	K	Ca	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	As	Sr	Cd	Ba	Pb	U	Hg
концентрация, мкг/дм ³																	
16-K3-5a	2850	9163000	1062100	312500	181000	0,33	0,015	0,51	1,21	5,44	2,21	5870	0,14	8,91	0,9	1,66	0,0039
16-K3-7	3200	9657100	1112000	321200	203800	0,24	0,042	0,38	1,33	7,92	1,56	5850	0,11	7,65	0,73	1,73	0,0033
16-K3-15	3250	9853000	1104100	313000	195800	0,35	0,037	0,26	1,68	11,8	2,97	5710	1,1	14,4	0,16	1,66	0,0036
16-K3-22	3430	9770600	1133700	317900	193900	0,17	0,037	0,48	0,73	17,6	1,83	5790	0,42	8,53	0,04	1,76	0,0032

Таблица 4. Сопоставление средних концентраций химических элементов в донных грунтах на станциях, расположенных непосредственно над зафиксированными разрывными нарушениями, и на фоновых станциях

Содержание химических элементов в донных грунтах в пределах зон разрывных нарушений																
	%											ppm				
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	CaO	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	Na ₂ O	P ₂ O ₅	Ba	TiO ₂	MnO	V	Cr	Co	Ni	Zr
Среднее	45,00	10,72	2,76	1,09	5,33	2,63	1,20	0,16	0,02	0,50	0,04	111,00	55,50	13,50	53,00	68,50
	ppm															
	Nb	Sc	Ce	La	Y	Yb	Be	Li	Mo	Cu	Pb	Zn	Ga	B	Cd	
Среднее	10,82	10,00	54,50	36,00	11,50	1,41	1,73	22,50	1,70	10,44	4,87	34,50	7,61	56,50	0,13	
Содержание химических элементов в донных грунтах на фоновых участках																
	%											ppm				
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	CaO	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	Na ₂ O	P ₂ O ₅	Ba	TiO ₂	MnO	V	Cr	Co	Ni	Zr
Среднее	46,00	12,50	2,99	1,65	6,31	3,22	1,93	0,22	0,03	0,47	0,06	110,00	77,00	16,00	65,50	73,00
	ppm															
	Nb	Sc	Ce	La	Y	Yb	Be	Li	Mo	Cu	Pb	Zn	Ga	B	Cd	
Среднее	9,14	14,50	80,00	68,50	15,00	1,65	2,17	33,00	1,07	19,50	7,94	38,50	14,00	63,00	0,19	

Ключевой участок «г. Кандалакша – береговая зона»

Состав наблюдательной сети. Виды наблюдений

Плановые инженерно-геологические обследования берегов выполнялись с суши с использованием автотранспорта. Общая протяженность маршрутов составила 5 км. Было отобрано 11 проб отложений для лабораторного исследования инженерно-геологических свойств (рис. 21).

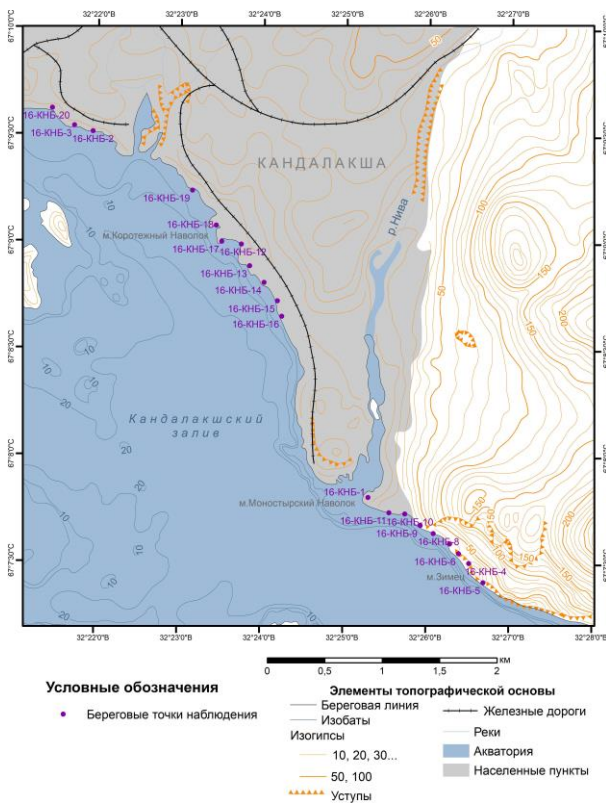


Рис. 21. Карта фактического материала береговых маршрутов ключевого участка «г. Кандалакша – береговая зона»

На участках развития четвертичных отложений измерялась ширина пляжа, высота абразионного уступа (при наличии), фиксировались индикаторы абразионных и обвально-осыпных процессов. На скальных обнажениях гранитов выполнялись измерения трещиноватости скальных массивов (количество трещин на 1 м², углы и азимуты простирания и падения) (рис. 22). Особое внимание уделялось состоянию техногенных объектов.

Экзогенные геологические процессы

Обследование берегов показало, что в пределах описываемого ключевого участка выделяются два принципиально различных типа берега (рис. 23).



Рис. 22. Рабочие моменты береговых маршрутов на ключевом участке «г. Кандалакша – береговая зона»: а – отбор пробы отложений пляжа; б – измерение параметров трещиноватости пород; в – обследование абразионно-денудационного уступа в техногенных отложениях

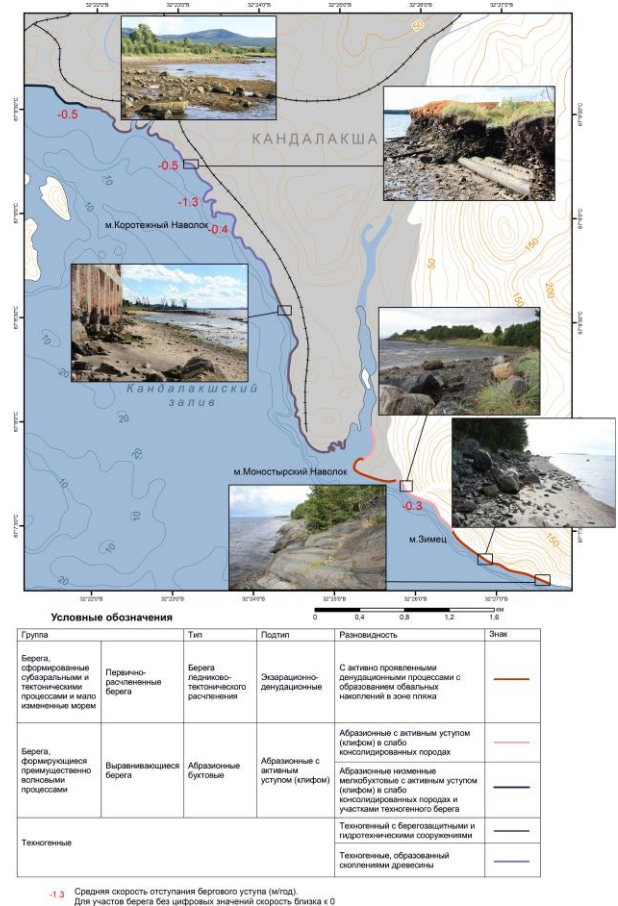


Рис. 23. Карта типизации и динамики береговой зоны ключевого участка «г. Кандалакша – береговая зона»

К юго-востоку от м. Монастырский Наволок берега относятся к экзарационно-денудационному типу (группа берегов, сформированных

субаэральными и тектоническими процессами и мало измененных морем). Характер береговой зоны определяется конфигурацией расположенных здесь скальных массивов биотитовых гнейсов и амфиболитов, характеризующихся крутыми склонами. В береговой зоне чередуются участки с относительно пологими (до 30°) склонами этих пород, отпрепарированными ледниковой экзарацией (бараньи лбы) и участки с практически отвесными склонами, характеризующимися сильной трещиноватостью (рис. 24).

В западной части описываемого сегмента берега к склонам коренных пород примыкает терраса, сложенная четвертичными отложениями. На значительном протяжении берега здесь отмечается активный абразионный уступ высотой до 1,5 м, размыву подвергается корневая система деревьев. Активно развиты осыпные процессы (рис. 25).

К северо-западу от устья р. Нива берега по морфогенетическим характеристикам относятся к подтипу бухтовых абразионных моренных низменных. На участках естественного берега узкие песчаные пляжи чередуются с валунными мысками, берег низкий, в тыловой части пляжей, как правило, выражен абразионный уступ. В то же время на большей части этого сегмента берега он может быть отнесен к техногенному типу. Непосредственно в береговой зоне расположены постройки (портовые сооружения, здания хозяйственного назначения, гаражи). Часть сооружений значительно повреждена в результате морской абразии (рис. 26).

Кроме того, на отдельных участках развит весьма специфический тип берега – образованный скоплениями древесины и опилок, в которых сформированы активные абразионные уступы. Здесь наблюдаются обрушения, обвалы, формирование внутренних полостей и т. д. (рис. 27).

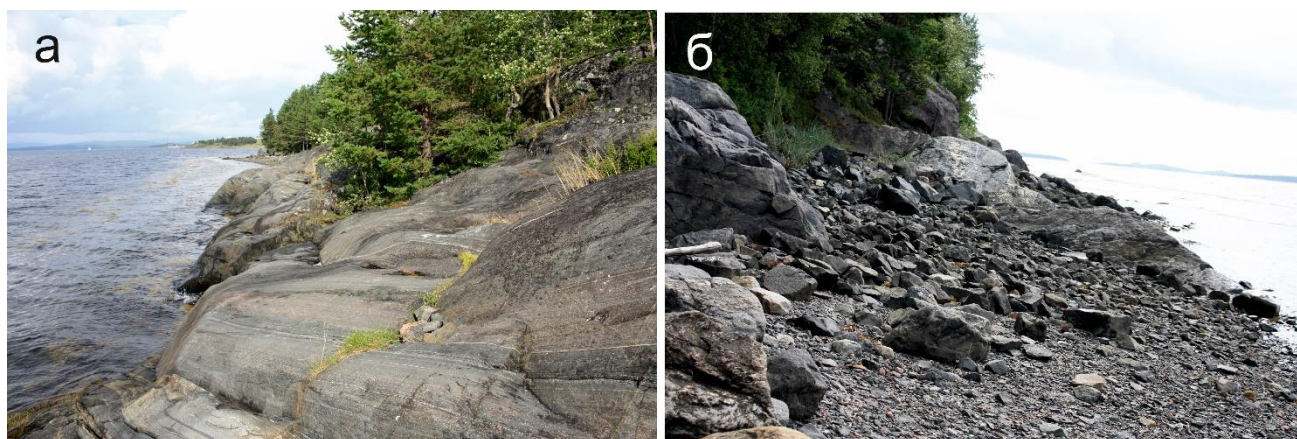


Рис. 24. Выходы коренных пород в береговой зоне к юго-востоку от м. Монастырский Наволок: *а* – «бараний лоб»; *б* – обвальные накопления у подножия уступа



Рис. 25. Активный абразионный уступ и обвальные накопления в береговой зоне к востоку от м. Монастырский Наволок



Рис. 26. Основания сооружений, разрушенные в результате воздействия абразии



Рис. 27. Техногенный берег, сформированный скоплениями древесины и опилок с активным абразионным уступом и склоновыми процессами

Для оценки динамики береговой зоны был выполнен ретроспективный анализ материалов дистанционного зондирования с использованием космоснимков Digital Globe и CNES/Astrium сверхвысокого разрешения, находящихся в открытом доступе. Для сравнения были выбраны космоснимки от 13.07.2003 г. и от 03.06.2014 г., выполненные в ясную и безоблачную погоду. Корректировка геопространственной привязки космоснимков для наиболее точного сравнения производилась в ArcGIS, там же производился расчет средней величины динамики трансформации берегов. Анализ заключался в сравнении положения берегового уступа, кромка которого отчетливо прослеживалась на космоснимках. Для участков берега со слабовыраженным уступом сравнение производилось по положению тыловой части пляжа.

По результатам анализа данных дистанционного зондирования, береговая зона в пределах г. Кандалакша характеризуется

вялотекущими абразионными процессами с деградацией побережья. Анализ проводился в пределах города на участках берегов, относящихся к абразионным моренным низменным мелкобухтовым с участками техногенного берега, и для участков техногенного берега, частично образованного скоплением древесины.

Наибольшие скорости отступления берега под действием волнового размыва наблюдаются на участках техногенных мысов, образованных отвалами лесопромышленных предприятий, расположенных на берегу в северо-западной части города. Отвалы представляют собой древесно-стружечные отложения. В результате волновой обработки техногенный материал дифференцируется, формируя локальные пляжи, сложенные опилками, и мысы, образованные обрезками досок, бревен и опилок. На космоснимках эти техногенные отвалы отчетливо выделяются на берегу по светло-оранжевому цвету. Предположительно, в прошлом значительная часть

побережья была покрыта подобными отвалами, что прослеживается на космоснимке проекта Landsat от 03.06.1986 г. Значительный размыв наблюдается на мысу Коротежный Наволок, где за период с 2003 по 2014 гг. береговой уступ техногенного берега отступил на 14 м, что в среднем составляет 1,3 м/год (рис. 28). На других техногенных мысах берег отступает медленнее, сокращаясь на 0,4–0,5 м/год. Для бухтовых участков берега скорость размыва близка к нулевым значениям. Для естественного берега, относящегося к абразионному моренному выравнивающемуся типу, на юго-востоке от города между м. Монастырский Наволок и м. Зимец скорость размыва в среднем составляет не более 0,3 м/год. Космоснимок Landsat от 03.06.1986 г. имеет низкое разрешение (размер ячейки – 30 м), что не позволяет использовать его для полноценного анализа трансформации берегового контура, но дает возможность грубо оценить степень размыва берега за более длительный период.

Береговой контур в пределах укрепленных и скальных берегов не выходит за границы размера ячейки космоснимка, в пределах берегов с малой скоростью размыва береговая линия также остается практически в пределах погрешности анализа. Для берега с техногенными мысами наблюдается смещение береговой линии на величины от 40 до

50 м за период в 28 лет. В среднем скорость размыва здесь составляет 1,6 м. Данные анализа дистанционными методами за длительный период говорят о постоянстве процессов размыва и устойчивой скорости этого процесса во времени.

Выводы по состоянию геологической среды на участке «г. Кандалякша – береговая зона»

Таким образом, по данным ретроспективного анализа космоснимков береговая линия в пределах ключевого участка «г. Кандалякша – береговая зона» характеризуется слабо проявленными процессами трансформации берегового контура с преобладанием отступления (рис. 29). Наибольшей деградации подвержены мысы техногенного берега, сложенные легкоразмываемыми отвалами опилок и фрагментов древесины. Максимальные скорости размыва, по данным за 11-летний период, достигают 1,3 м/год. Разрушение остальной части неукрепленного берега происходит со скоростью не более 0,3 м/год.

При обследовании берегов ключевого участка выявлены проявления активных склоновых (обвальных) и абразионных процессов. Рекомендуется продолжение мониторинга с периодичностью один раз в 2–3 года.



Космоснимок Google Earth от 2003.07.13



Космоснимок Google Earth от 2014.06.03

Рис. 28. Отступление техногенного мыса, сложенного техногенным отвалом лесозавода за 11-летний период

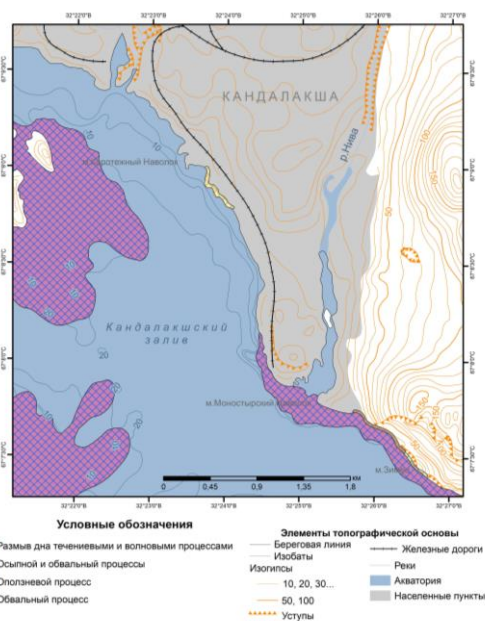


Рис. 29. Карта-схема проявлений опасных ЭГП ключевого участка «г. Кандалакша – береговая зона»

Ключевой участок «Пролив Великая Салма»

Состав наблюдательной сети. Виды наблюдений

Береговые маршруты выполнялись в пределах ключевого участка в проливе Великая Салма между островами Великий и Оленевский, с заходом в губы Ругозерскую, Кислая, Чёрная. Работы выполнялись с использованием моторной лодки (рис. 30, а).

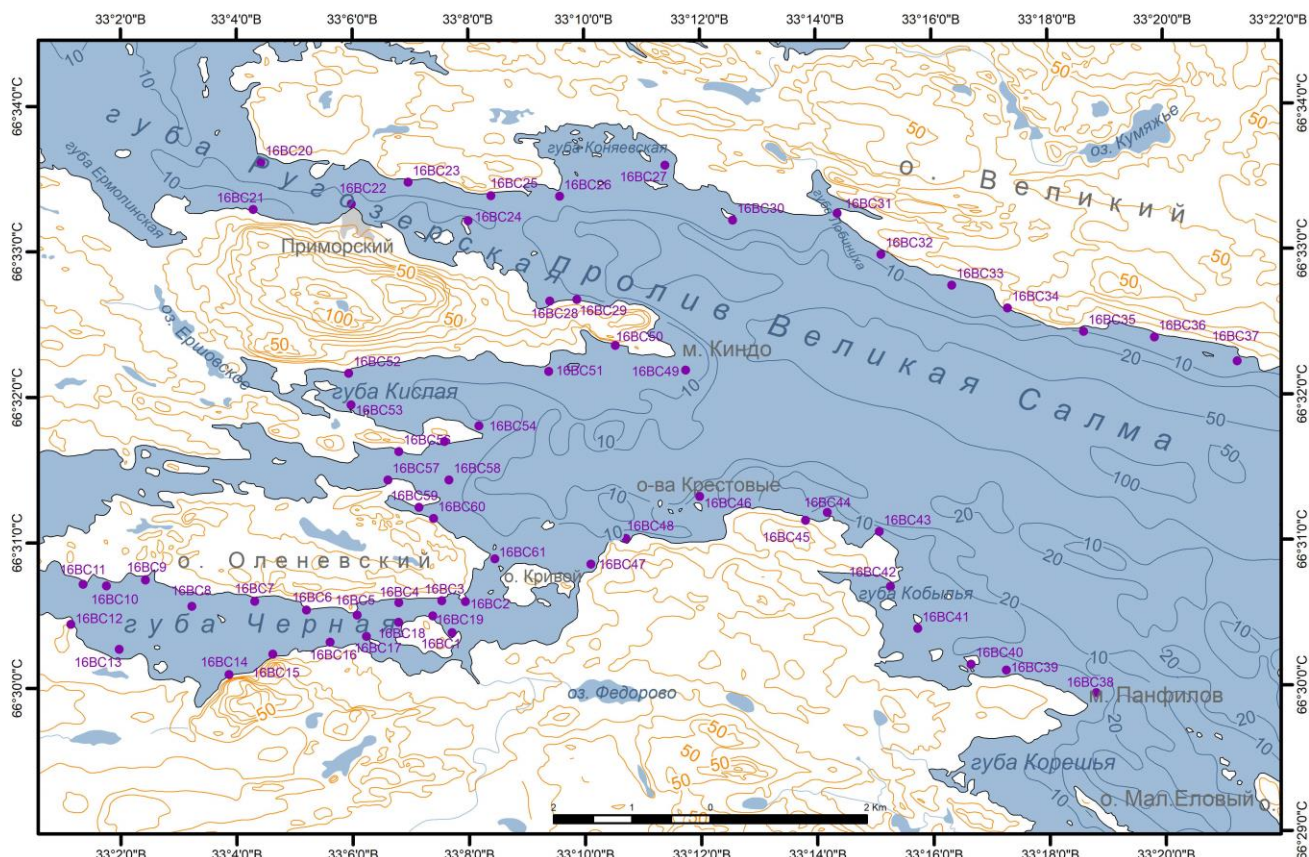
При выполнении плановых инженерно-геологических обследований берегов велось описание геологического строения, геоморфологии и признаков проявления опасных экзогенных геологических процессов. На коренных выходах пород были произведены замеры трещиноватости (рис. 30, б) (количество трещин на 1 м², углы и азимуты простирания и падения). Было отобрано 6 проб рыхлых отложений для лабораторного исследования инженерно-геологических свойств (рис. 30, в). Общая протяженность маршрутов составила 58 км. Были произведены наблюдения в общей сложности на 61 точке (рис. 31, г).

Экзогенные геологические процессы

Район работ расположен в области выхода кристаллического фундамента на дневную поверхность. На суше маломощные четвертичные образования, перекрывающие коренные породы, представлены моренной осташковского горизонта. На дне кристаллические породы перекрываются современными морскими осадками различного гранулометрического состава: от грубообломочных отложений до мелких песков.



Рис. 30. Рабочие моменты береговых маршрутов в проливе Великая Салма: а – использование моторной лодки в ходе работ; б – измерение параметров трещиноватости; в – отбор пробы отложений пляжа, г – GPS фиксация точек наблюдения



Условные обозначения

- Береговые точки наблюдения

Элементы топографической основы

- Береговая линия
- Изобаты
- Изогипсы
- 10, 20, 30...
- 50, 100
- Реки
- Акватория
- Населенные пункты

Рис. 31. Карта фактического материала работ 2016 г. на ключевом участке «Пролив Великая Салма»

В областях размыта моренных отложений в составе донных осадков присутствует примесь пелитового материала. В береговой зоне широко развиты архейские биотитовые гнейсы и гранитогнейсы, амфиболиты Беломорской серии [Геологическая карта ..., 2012]. Конфигурация побережья обусловлена первичным расчленением рельефа, а также процессами ледниковой экзарации в ходе последних оледенений. Направленность ледникового выпахивания, по-видимому, обусловлена тектоническим расчленением кристаллического фундамента, в результате чего ледник продвигался по ослабленным зонам западного, юго-западного простираний.

Помимо первичного ледниково-тектонического расчленения, проявляющегося в масштабе всего района, геологическое строение берегов в значительной мере определяется

процессами ледниковой аккумуляции. Анализ космоснимков позволил выявить серии небольших (первые сотни метров) ледниково-аккумулятивных структур (гряд), ориентированных преимущественно в северном, северо-восточном направлении, которые были идентифицированы в полевых условиях, как морена Де Геера [De Geer, 1912]. Как правило, мелкие гряды сложены грубообломочным материалом и разнозернистым песком. Также фиксировалось присутствие в них суглинистой составляющей. Побережье характеризуется холмисто-грядовым рельефом, с преобладанием высот не более первых десятков метров. Современный рельеф практически полностью повторяет рельеф коренных пород, маломощный слой четвертичных отложений плащеобразно перекрывает кристаллический фундамент.

В пределах обследуемой береговой зоны было выделено три морфогенетических типа берега: экзарационно-денудационный, низменный моренный валунный, низменный аккумулятивный песчаный. В ходе обследования выявлены участки потенциального проявления опасных экзогенных геологических процессов, зафиксированы параметры трещиноватости скальных пород.

Низменный моренный (валунный) берег является преобладающим типом берега на исследуемой площади. Для данного типа берега характерно развитие грубообломочных отложений на урзе: глыбы и отломы, реже валуны кристаллических пород, щебень (рис. 32). На подводном склоне присутствуют валуны и глыбы, пространство между которыми покрывают покровные пески (мелкой и средней размерности). На берегах полностью отсутствуют пляжи, и, как правило, нет берегового уступа. Побережье представляет собой полого повышающийся задернованный склон. В отлив на дневную поверхность выходит узкая полоса осушки, сложенная песком.



Рис. 32. Берег о. Великий к западу от губы Лобиниха: *а* – низкий моренный берег с узкой полосой песка в зоне осушки; *б* – низкий моренный берег с валунно-глыбовым бенчем

Экзарационно-денудационный (скальный) берег. Данный тип берега развит в пределах исследуемого района менее широко, выделяется в пределах локальных участков или развит на мысах. Представлен выходами коренных кристаллических пород на дневную поверхность в пределах береговой зоны (рис. 33). Породы трещиноваты с образованием двух систем трещин с азимутами простирания 150° и 80° и субвертикальными углами падения. Трещины преимущественно закрытые. Среднее количество трещин на 1 м^2 около шести, в некоторых зонах наибольшей раздробленности достигает семнадцати. Также в породах за счет выветривания наблюдается отдельность вдоль гнейсовых структур по контакту кварцевых прожилков.

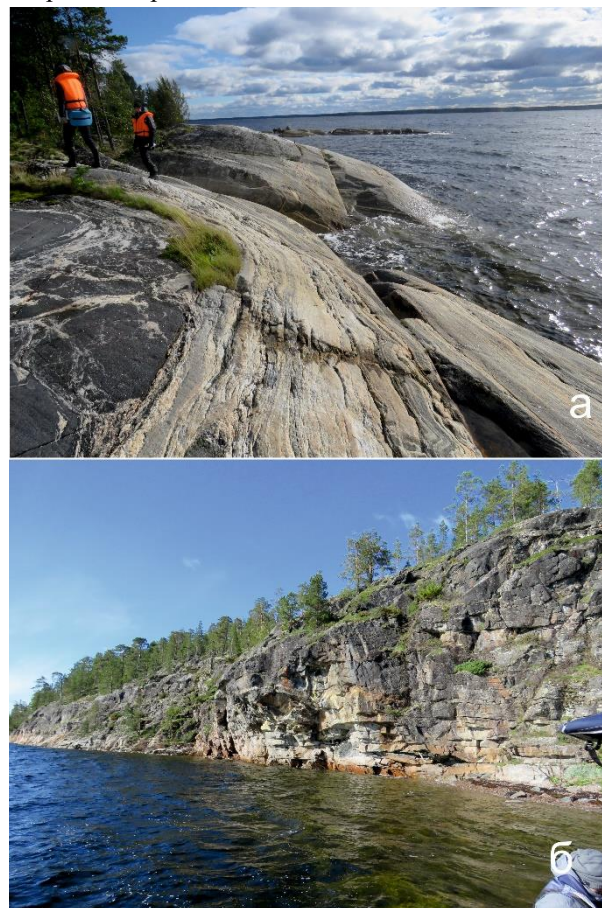


Рис. 33. Скальный берег пролива Великая Салма: *а* – экзарационно-денудационный берег о. Великий; *б* – экзарационно-тектонический берег к западу от м. Киндо

В большей части обнажений берег экзарационный, сглаженный ледниковым воздействием. Как правило, скальный склон полого поднимается из-под воды на высоту 5–10 м. На подводном склоне развиты коренные выходы горных пород или валунно-глыбовый материал. Редко в небольших бухтах между выступами формируются

локальные песчаные пляжи. Также значительная часть данного типа берега представлена смещенным экзарационно-денудационным типом.

В литоральной части склона, где проявлено воздействие волн на берег, по системе трещин происходит откалывание блоков и отломов коренных пород с образованием делювиальных отложений на уресе. На двух участках в западной части района (к западу от м. Киндо и на южном берегу губы Чёрная) был зафиксирован экзарационно-тектонический тип берега с вертикальными и отвесными стенками трещиноватых горных пород. Высота стенок достигает 20–30 м, по системе трещин происходит откалывание и обрушение блоков пород, в литоральной зоне фиксируются свежие сколы. Берег на этих участках приглубый, с глубиной вблизи уреза 5–10 м.

Низменный аккумулятивный песчаный. Данный тип берега развит только к северу от небольшой губы Лансеева на юго-западе района исследования. Северный берег губы Лансеева, по-видимому, является песчаной аккумулятивной формой ледникового происхождения. В результате переработки этих отложений и морских наносов происходит образование здесь локальных низких аккумулятивных пляжей (рис. 34).

Схема типизации берегов пролива Великая Салма, выполненная по результатам полевого обследования, приведена на рисунке 35.

Выводы по состоянию геологической среды на участке «Пролив Великая Салма»

Проведенное обследование береговой зоны пролива Великая Салма позволило установить, что берега имеют первичное экзарационно-ледниковое расчленение, с практически полным отсутствием проявлений экзогенных геологических процессов и значимых проявлений литодинамики в береговой зоне.

В субаквальной части участка ОАО «Севморгео» ранее были установлены оползневые

процессы. В пределах территории обследования выявлены локальные участки развития склоновых процессов (рис. 36) общей протяженностью около 1 км, где в результате денудации скального массива кристаллических пород по зонам трещиноватости в литоральной зоне происходит разрушение блоков и обрушение коренных пород. В настоящее время описываемые ЭПП опасности не представляют. Рекомендуется выполнение морских геолого-геофизических работ для мониторинга подводных оползневых процессов.

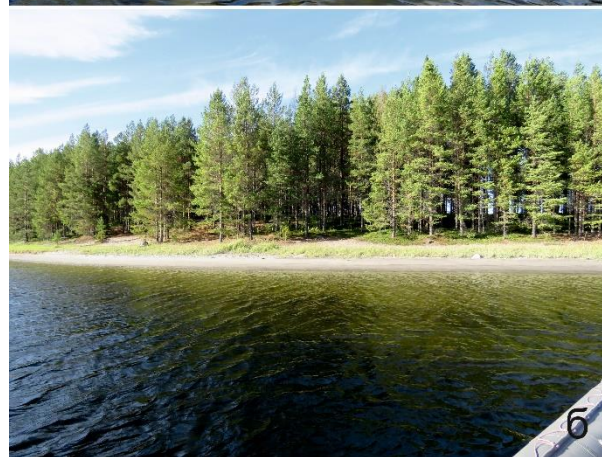


Рис. 34. Низменный аккумулятивный песчаный берег на северо-востоке о. Оленевский

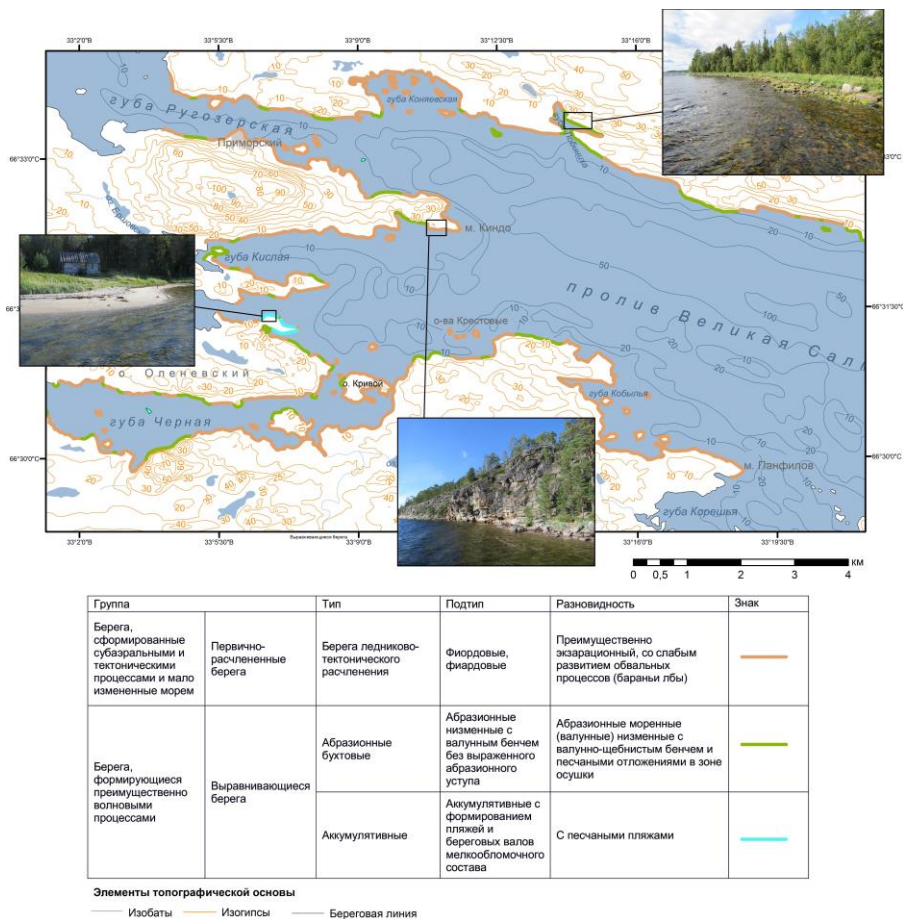


Рис. 35. Типизация берегов пролива Великая Салма

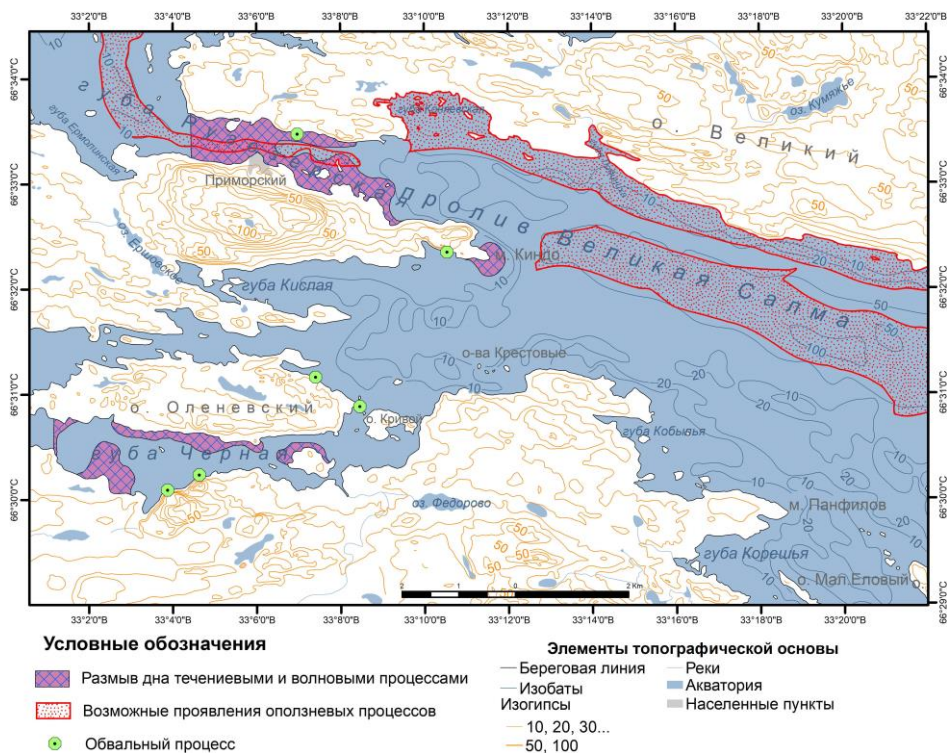


Рис. 36. Карта-схема проявлений опасных ЭГП ключевого участка «Пролив Великая Салма»

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



Работы на акватории полигона «Восточная часть Финского залива» проводились с борта арендованных судов «Соболец» и «Риск» (рис. 37) на четырех ключевых участках: «Северная береговая зона в пределах Курортного района», «Южная береговая зона в районе пос. Большая Ижора», «Копорский залив», «район о-ва Гогланд») (рис. 38).

В состав морских геолого-геофизических работ, выполненных в Финском заливе, входил традиционный комплекс методов: гидролокация бокового обзора, непрерывное сейсмоакустическое профилирование, геологический пробоотбор, подводные телевизионные наблюдения. На берегах выполнялось инженерно-геологическое обследование береговой зоны, нивелировка, георадиолокационное профилирование. Все виды работ сопровождалось соответствующим навигационно-гидрографическим и геодезическим обеспечением. Работы на прибрежных ключевых участках велись по сети наблюдений «суша–море».



Рис. 38. Экспедиционное судно «Соболец» и катер «Риск»

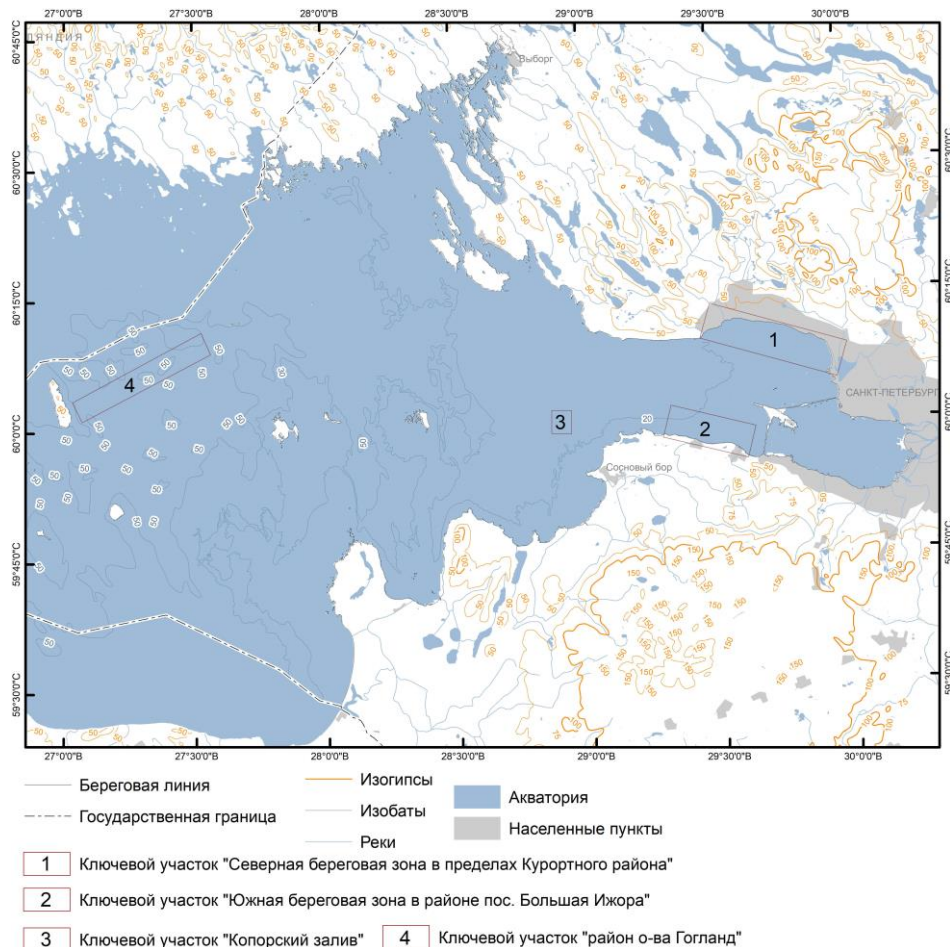


Рис. 37. Расположение ключевых участков проведения наблюдений за показателями недр в восточной части Финского залива

Ключевой участок «Северная береговая зона в пределах Курортного района»

Состав наблюдательной сети. Виды наблюдений

Береговые работы в пределах ключевого участка, включавшие в себя плановые инженерно-геологические обследования берегов и детальные работы на опорном профиле с отбором проб были выполнены в августе–сентябре 2016 г. Обследование было выполнено на 22 станциях наблюдения и одном опорном разрезе. Суммарная протяженность маршрутов составила 60 км. Велось описание и фотодокументация (рис. 39).

При работах на разрезе производилась выработка канав и закопшек, выполнялось измерение углов склонов и описание структурно-текстурных особенностей слоев, измерение параметров слоистости. Отобрано 11 образцов. Для определения мощности пляжевых отложений и геологического строения субаэральной части береговой зоны в августе 2016 г. выполнены георадиолокационные исследования на трех участках (рис. 39). В ноябре 2016 г. были организованы оперативные обследования на 13 станциях наблюдения, для которых в ходе летних обследований установлена максимальная активность опасных ЭГП (30 км маршрутов).

Морские экспедиционные геофизические

работы в субаквальной части береговой зоны Курортного района были выполнены 27–28 июля 2016 г. и включали в себя профилирование НСАП (9 профилей общей протяженностью 31,60 км) и ГЛБО (полоса обзора 100 м с каждого борта) (42 профиля общей протяженностью 61,78 км).

С целью заверки данных ГЛБО и получения материала для изучения инженерно-геологических свойств поверхностных отложений был произведен пробоотбор на 15 станциях и видеонаблюдение на шести станциях (рис. 39).

Экзогенные геологические процессы

Обследования 2016 г. выявили активизацию опасных экзогенных геологических процессов в береговой зоне ключевого участка, которые привели к значительной трансформации берегового профиля, размывам авантюн и повреждению береговой инфраструктуры. Активизация комплекса ЭГП в береговой зоне восточной части Финского залива произошла в результате серии сильных штормов осени–зимы 2015 г., происходивших на фоне положительных аномалий температуры, что привело к отсутствию защитного ледяного покрова.

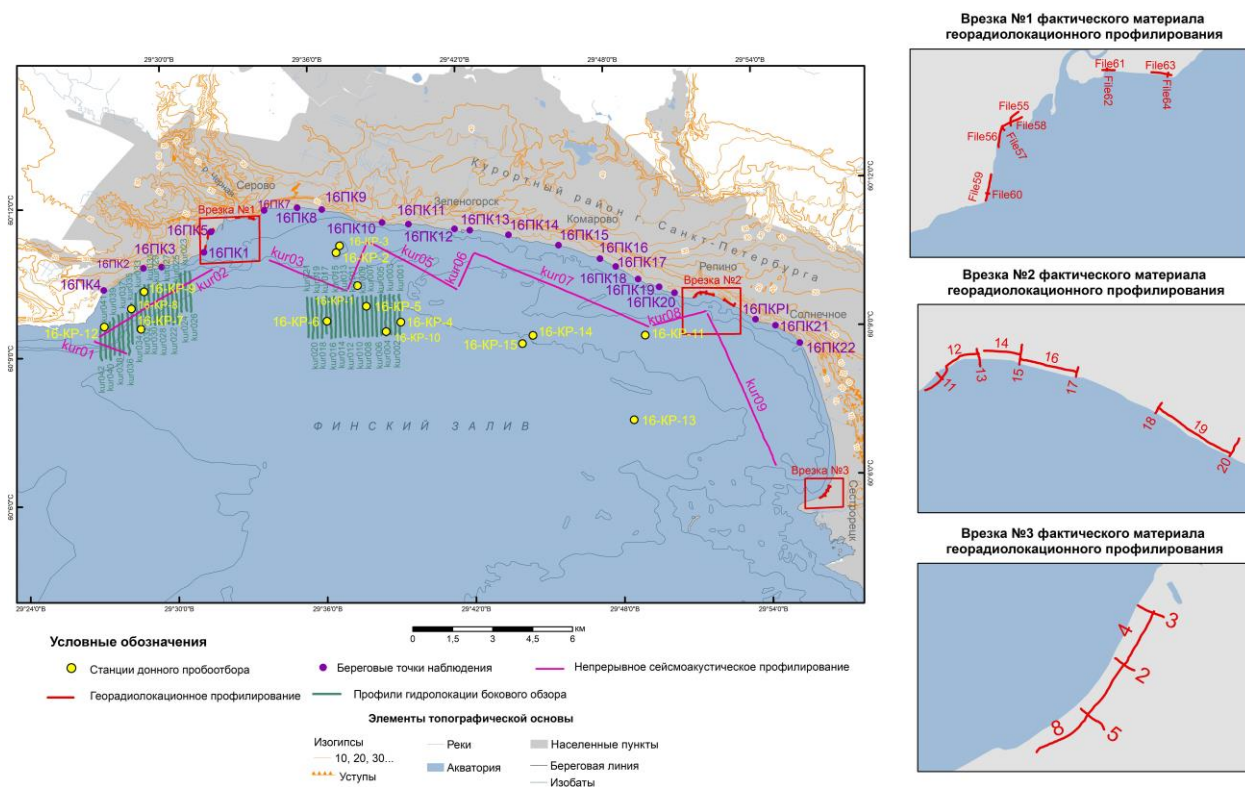


Рис. 39. Карта фактического материала работ на ключевом участке «Северная береговая зона в пределах Курортного района»

Наиболее разрушительным был шторм 5–7 декабря 2015 г., когда берега находились под воздействием шторма, вызванного циклоном северо-западного направления. Скорость ветра в порывах достигала 23 м/с. Высота волн в открытой части залива в пиковые периоды шторма по данным модели [meteo.pl], составляла 3–4 м. Вынос песчаного материала из тыловой части пляжей и подмыв подножия абразионных уступов привели к активизации гравитационных процессов. По данным оперативных обследований берегов наиболее значительные разрушения были зафиксированы на берегах западной окраины пос. Комарово (рис. 40), в пос. Репино (рис. 41) и Солнечное. Ситуация стабилизировалась к концу декабря после установления устойчивых отрицательных температур, смерзания рыхлых отложений пляжей и формирования ледяного покрова. По данным анализа результатов лазерного сканирования, выполненного в августе и декабре (после штормов) 2015 г. ООО «Морион» в рамках проекта по созданию Генеральной схемы берегозащиты Курортного района Санкт-Петербурга, выполняемых ГГУП СФ «Минерал» совместно со «ВСЕГЕИ», было установлено, что по окончании шторма объем безвозвратных потерь песчаного материала пляжей составил в пределах участков измерений в пос. Репино 0,9 м³, в пос. Серово – 1,4 м³, в пос. Комарово – 0,04 м³ с каждого метра берега, достигнув 57–59 % от

общего объема перемещенного во время шторма материала (рис. 42, 43).

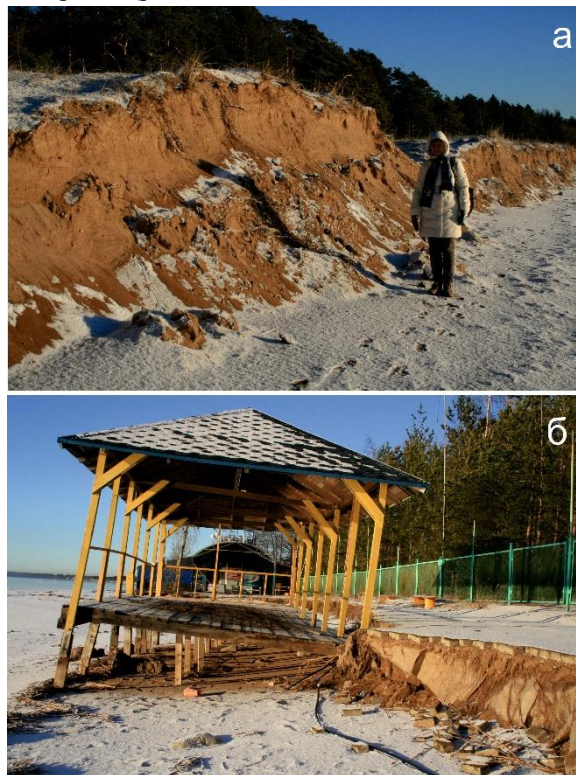


Рис. 40. Активный абразионный уступ, сформировавшийся в результате штормов декабря 2015 г. (вверху) и продолжение разрушения пляжной инфраструктуры на территории зоны отдыха «Пляжный Рай» (внизу) (пос. Комарово, фото О. В. Дроня, 29.12.2015)



Рис. 41. Активный абразионный уступ в песчаных отложениях и погибшие после штормов 2013 и 2015 гг. деревья (восточная окраина пос. Репино) (фото А. Ю. Сергеева, 05.12.2015)

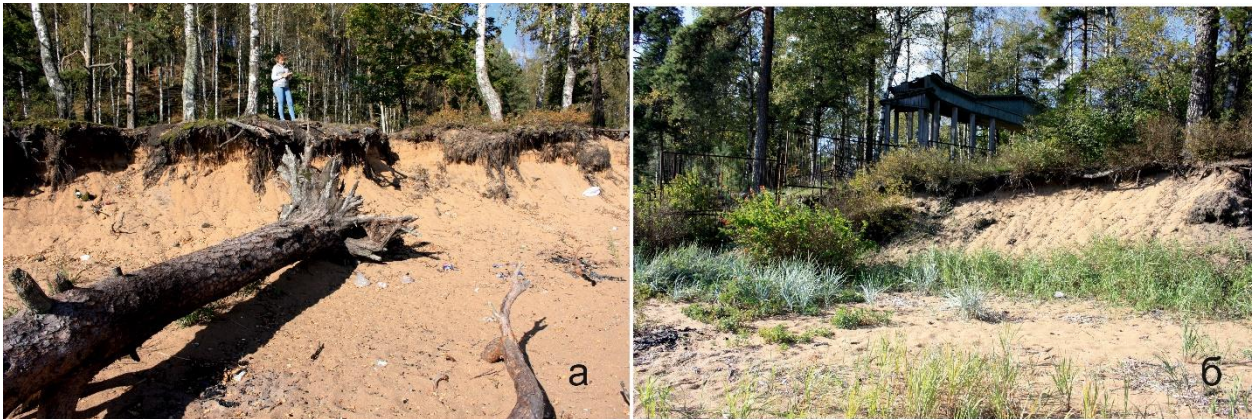


Рис. 42. Активизация осыпных процессов. Точка наблюдения 16-ПК-7: *а* – упавшие в результате активизации абразионного уступа деревья; *б* – активизация осыпных процессов



Рис. 43. Разрушение береговой инфраструктуры после декабрьских штормов: *а* – разрушенный променад в пос. Смолячково; *б* – размыв берегозащитных сооружений на участке канализационных коллекторов в г. Зеленогорск; *в* – разрушенное основание ресторана в пос. Комарово; *г* – подмыв основания лестницы променада в пос. Репино

Второй цикл активизации ЭГП в береговой зоне восточной части Финского залива, наблюдавшийся на протяжении годового цикла мониторинга, был обусловлен аномальным количеством атмосферных осадков летом 2016 г. По данным Санкт-Петербургского ЦГМС-р, лето 2016 года стало одним из самых дождливых на территории Санкт-Петербурга и Ленинградской области за длительный ряд наблюдений. В южных и центральных районах области количество

осадков составило от 400 до 490 мм за три летних месяца и превысило все имеющиеся аналоги прошлых дождливых лет (1987, 1998, 2000, 2009 года). В целом за лето 2016 года выпало от 1,5 до 2,0 норм осадков, в отдельных областях количество осадков достигло 220–244 % от нормы лета. В ходе наблюдений была выявлена значительная интенсификация процессов боковой эрозии (рис. 44).



Рис. 44. Боковая эрозия

Воздействие интенсификации эрозии является двояким. С одной стороны, эрозионные процессы наносят ущерб береговой инфраструктуре, однако с другой стороны, в результате увеличивается объем поступающих в береговую зону наносов, что на ряде участков, расположенных к западу от устьевых частей водотоков, отмечается увеличение ширины пляжей.

На участке активного развития осыпных процессов в пос. Репино было выполнено инженерно-геологическое обследование разреза (16КПР1), который целиком сложен песками различной крупности (рис. 45, 46; табл. 5).

В 2016 г. было проведено георадарное профилирование на трех участках берега в г. Сестрорецк (пляж «Дубки»), пос. Репино и пос. Молодежное-Серово (рис. 39).



Рис. 45. Работа на опорном разрезе (пос. Репино)

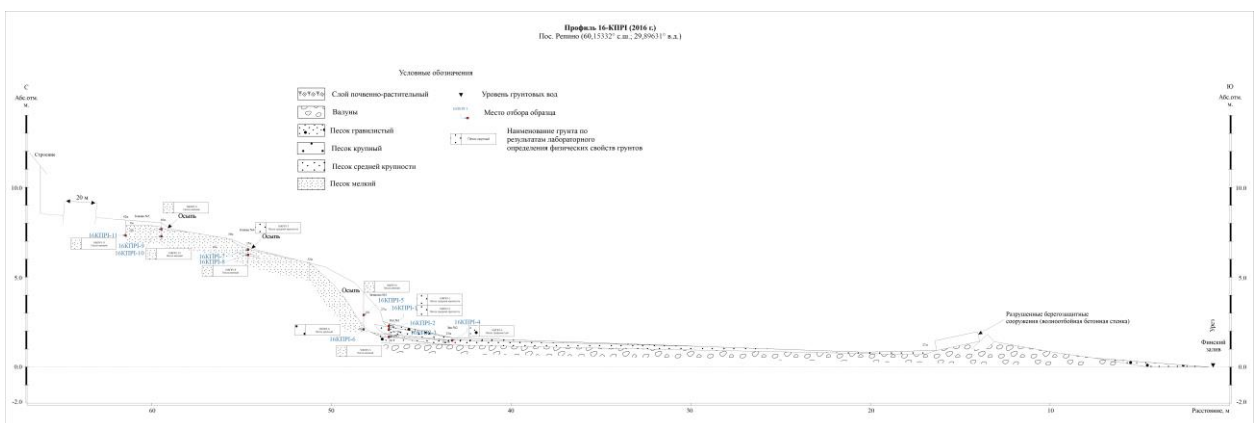


Рис. 46. Инженерно-геологический разрез 16КПР1 в пос. Репино на участке активного развития осыпных процессов

Таблица 5. Гранулометрический состав грунтов, опробованных в разрезе 16КПР1

№№ п/п	№ пробы	% содержание частиц по фракциям (мм)										Наименование грунта	
		>10.0	10.0-5.0	5.0-2.0	2.0-1.0	1.0-0.5	0.5-0.25	0.25-0.1	0.1-0.05	0.05-0.01	0.01-0.002		<0.002
1	16-КПР-I-1			0,9	19,9	27,0	42,2	9,9	0,2				песок средней крупности
2	16-КПР-I-2		0,3	1,8	3,9	21,6	42,4	29,7	0,2				песок средней крупности
3	16-КПР-I-3		0,3	2,3	6,4	13,5	8,3	68,8	0,5				песок мелкий
4	16-КПР-I-4	0,6	4,4	23,2	24,4	23,0	19,0	5,3	0,1				песок гравелистый
5	16-КПР-I-5					7,8	37,6	53,8	0,8				песок мелкий
6	16-КПР-I-6			0,2	6,6	62,0	25,4	5,6	0,2				песок крупный
7	16-КПР-I-7					1,2	60,0	38,4	0,4				песок средней крупности
8	16-КПР-I-8					2,4	27,6	69,6	0,4				песок мелкий
9	16-КПР-I-9		0,2	0,1	0,2	3,6	38,6	55,3	2,0				песок мелкий
10	16-КПР-I-10					1,1	33,6	65,0	0,3				песок мелкий
11	16-КПР-I-11					0,5	36,4	62,8	0,2				песок мелкий

В пределах береговой зоны пляжа «Дубки» были выполнены три георадарных профиля вдоль берега (профиль № 4, 6 и 8), наращивающие друг друга по длине. Три профиля (№ 3, 2, 5) были выполнены в перпендикулярном направлении, вкрест пляжа: от низменной террасы за пляжем до уреза воды.

На вдольбереговом профиле № 8 (рис. 47), являющимся наиболее показательным для отображения геологического строения изучаемой площади, выделено три георадарных комплекса. Первый (верхний) комплекс характеризуется косослоистым строением, выраженным наличием многочисленных наклонных осей синфазности сравнительно высокой амплитуды. По данным бурения, такая аномалия связана с прослоем гравийного материала (рис. 48). Второй комплекс имеет значительную мощность в северо-восточной части участка, и полностью выклинивается на территории Дубковского п-ова. Данный комплекс характеризуется менее выраженными

субгоризонтальными осями синфазности, что обуславливается более однородным литологическим строением толщи. Верхняя граница комплекса несогласная, резкая, прослеживается на глубине около 1–2 м от поверхности пляжа. Нижняя граница отчетливо выделяется на глубинах 3–5 м, с погружением в северо-восточном направлении по ярко выраженной оси синфазности высокой амплитуды, что обусловлено, по-видимому, как наличием грунтовых вод, так и сменой литологического состава отложений. Третий (нижний) комплекс развит в пределах Дубковского п-ова и сложен моренными валунными суглинками, что выражается в рассеянности сигнала и отсутствием ярких протяженных осей синфазности. Верхняя граница комплекса не ровная, расположенная на глубинах не более метра, с довольно резким погружением кровли в северо-восточном направлении, до глубин более 5 м в пределах пляжа «Дубовской».

Третий комплекс разделяется на два субкомплекса (IIIa – под Дубковским п-овом и

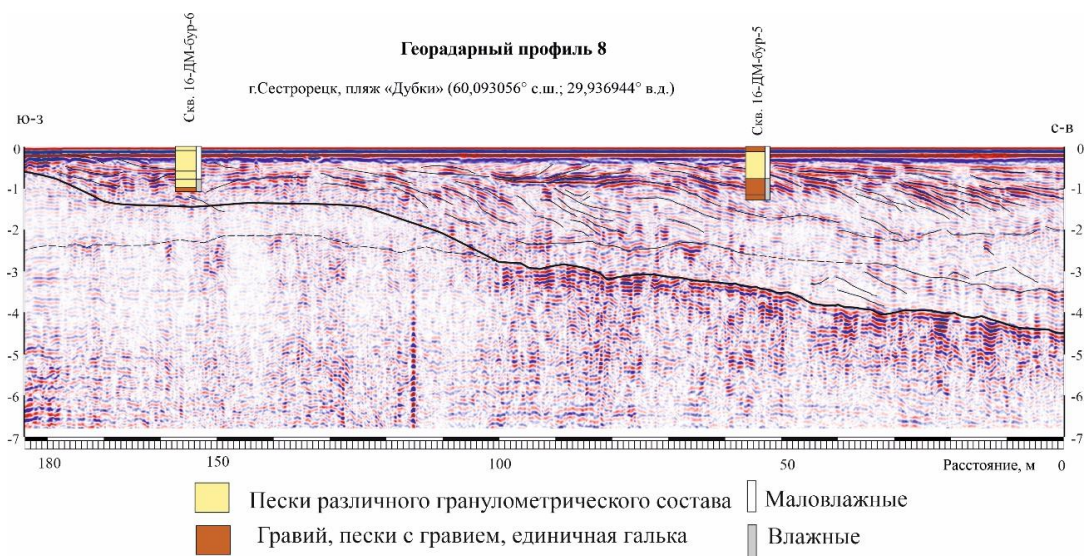


Рис. 47. Интерпретация радарограммы профиля № 8, расположенного вдоль берега

Шб – под пляжем «Дубки»), что обусловлено сменой геологического строения. Предположительно, субкомплекс Шб сложен флювиогляциальными или озерно-ледниковыми существенно песчаными образованиями, что выражается в наличии слоистости.

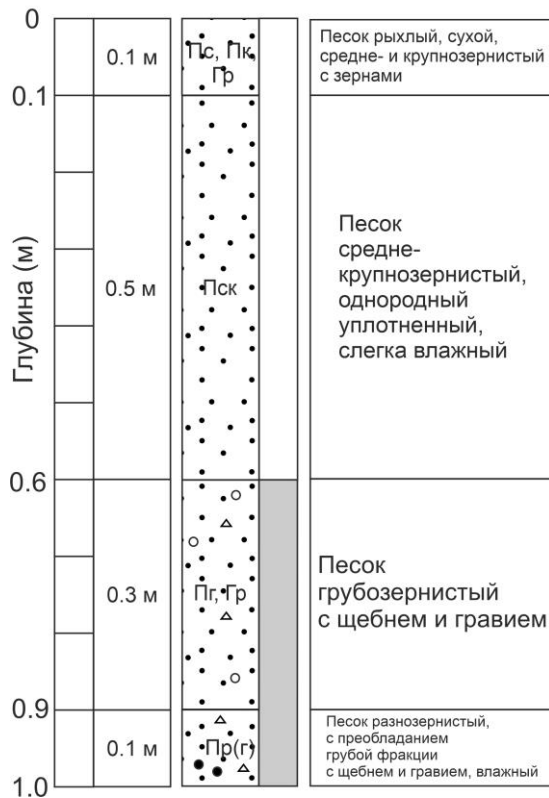
Опираясь на данные о геологическом строении района, можно интерпретировать георадарные комплексы следующим образом. Первый (верхний) комплекс представлен современными морскими песчаными отложениями, образованными в последние тысячелетия за счет волнового воздействия и вдольберегового переноса от м. Дубовской на северо-восток, о чем свидетельствует падение косых серых слоев. Мощность отложений этого комплекса увеличивается в том же направлении.

Второй комплекс представлен голоценовыми песчаными отложениями, по-видимому, литоринового времени, накапливающимися в береговой зоне при более низком уровне моря. В пределах же Дубовского п-ова обнажаются моренные валунные супеси и суглинки, слагающие его, и относящиеся к третьему георадарному комплексу.

В пределах участка береговой зоны в пос. Репино были выполнены четыре георадарных профиля вдоль берега (профиль № 12, 14, 16 и 19), три из которых наращивают друг друга. Поперек им были заложены шесть профилей (№ 11, 13, 15, 17, 18, 20), пересекающие пляж от береговой террасы за пляжем до уреза воды.

Скважина: 16-ДМ-бур-5

Район: Сестрорецк, пляж Дубки
 Положение устья скважины: на пляже, 1 абс.м
 Координаты: 60,09275 с.ш.
 29,93644 в.д.



Скважина: 16-ДМ-бур-6

Район: Сестрорецк, пляж Дубки
 Положение устья скважины: верхняя часть пляжа
 Координаты: 60,09241 с.ш.
 29,93479 в.д.

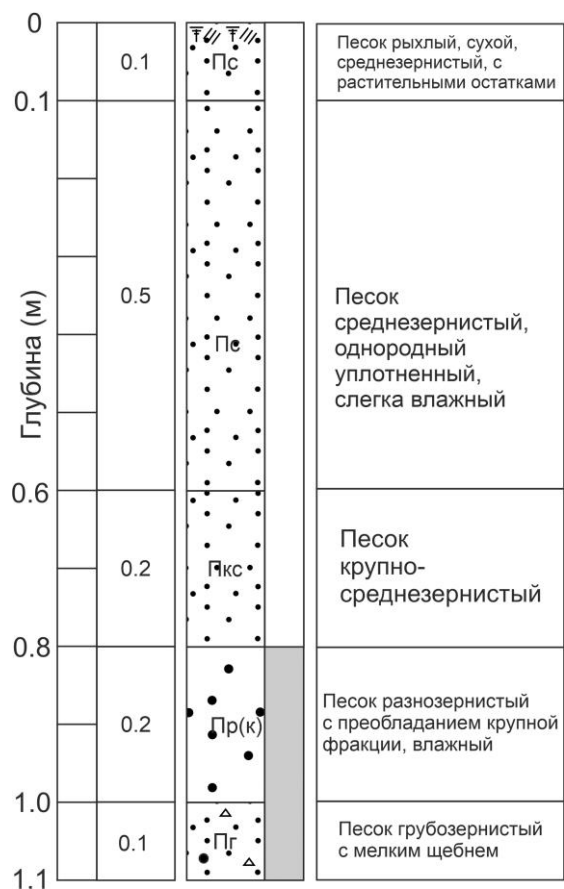


Рис. 48. Скважины № 16ДМбур-5 и 16ДМбур-6 неглубокого бурения участка пляжа «Дубки»

В ходе профилирования была охарактеризована практически вся территория исследуемого пляжа. Интерпретация георадиолокационных записей позволила проследить поверхность ледниковых отложений в пределах береговой зоны. Практически на всех профилях были выделены два георадарных комплекса: верхний, характеризующийся наличием многочисленных наклонных осей синфазности сравнительно высокой амплитуды, что соответствует косослоистому залеганию песчаных пляжевых отложений. На профиле, проходящем через авантюну или поднимающемся непосредственно на дюнный пояс, георадарная запись имела несколько иной вид – выделялась зона малой интенсивности отражающих поверхностей, что было вызвано однородностью, слагающих дноу песков (рис. 49).

Второй (нижний) комплекс широко развит на всей изучаемой территории, залегая ниже первого комплекса, и, местами, выходя на дневную поверхность в приурезовой зоне. Данный комплекс характеризуется менее выраженными субгоризонтальными осями синфазности и «разрушением» сигнала. Граница кровли второго комплекса неровная, слабо повышающаяся в сторону суши. На вдольбереговом профиле (№ 19) в восточной части участка работ поверхность нижнего комплекса имеет пологий валообразный подъем, относительной высотой около 1 м, в центральной части профиля (рис. 50). Подобная структура прослежена на дне в акватории по данным эхолотного профилирования и соответствует гряде, идущей вкrest береговой линии.

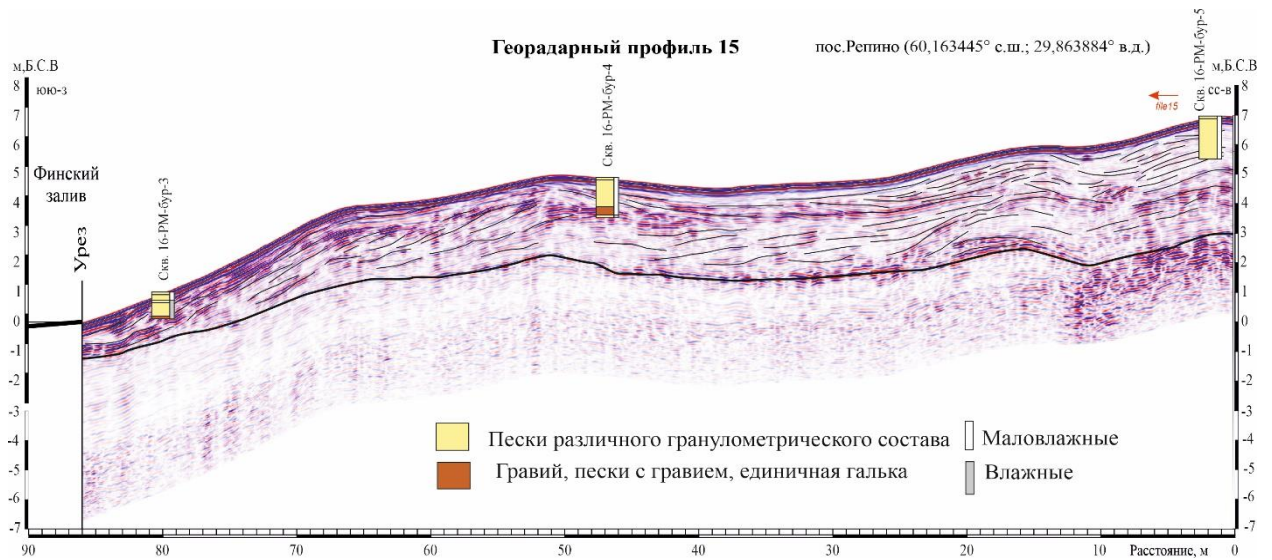


Рис. 49. Интерпретация радарограммы профиля № 15, пересекающего пляж и дюны поперек берега

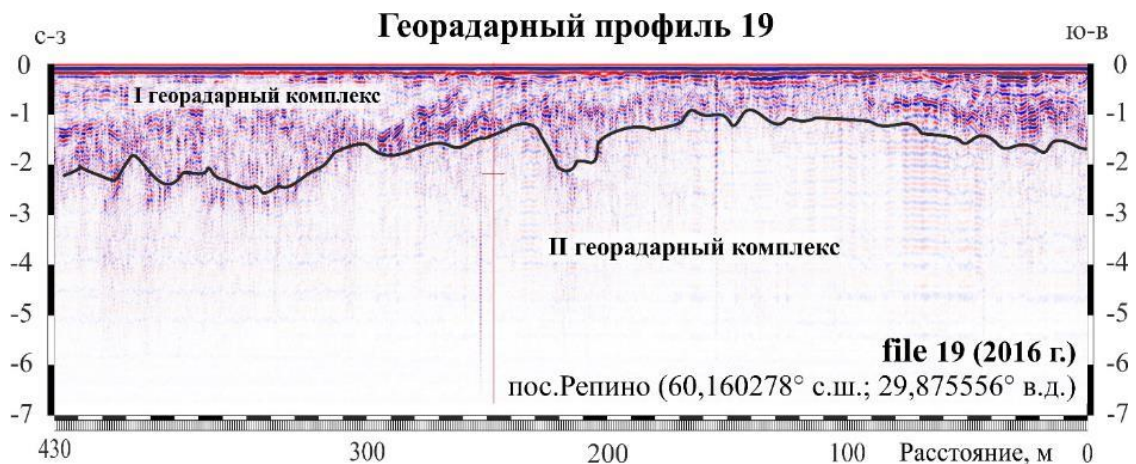


Рис. 50. Интерпретация радарограммы профиля № 19, идущей вдоль берега в восточной части участка

Проведенное неглубокое бурение позволило уточнить состав отложений, слагающих пляж и авантюну исследуемой территории. Интерпретация георадарных данных с использованием буровых колонок, показывает, что дюнные отложения в верхней части пляжа представлены уплотненными среднезернистыми, хорошо сортированными песками (рис. 51, скв. 16-PM-бур-5). По мере приближения к границе нижнего георадарного комплекса состав отложений меняется на более грубообломочный, в составе песков начинают преобладать грубозернистые фракции, встречается галька (рис. 51, скв. 16-PM-бур-6), а забой скважины часто заканчивается валунными отложениями.

Особенности георадарных записей второго комплекса, присутствие грубообломочного материала в буровых колонках на границе этого комплекса и обнажения валунных суглинков на урзе позволяют с уверенностью интерпретировать эти отложения как ледниковые моренные образования ошашковского горизонта. Их поверхность прослеживается под современными песчаными пляжевыми отложениями и имеет грядовое строение, с ориентировкой гряд в северо-восточном направлении и полого поднимающимися в сторону суши. Аккумулятивный пляж «Чудный», расположенный в бухте на западе участка, по-видимому, образован в локальном понижении между моренными выступами, заполняя неровность ледникового рельефа.

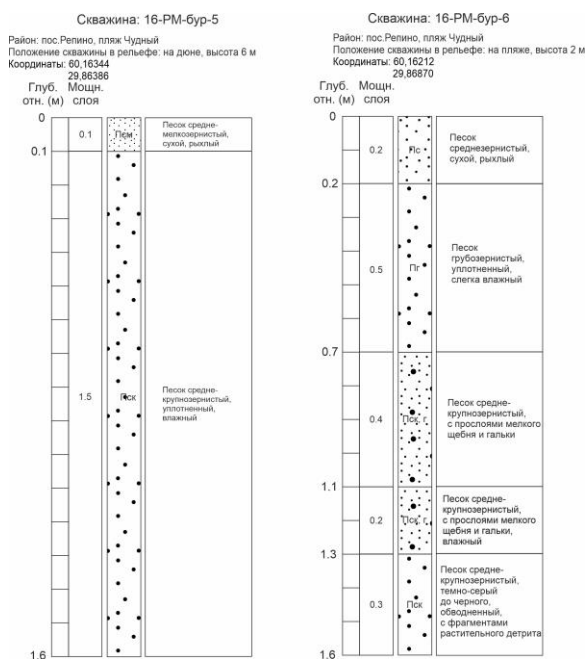


Рис. 51. Скважины № 16-PM-бур-5 и 16-PM-бур-6 неглубокого бурения участка в пос. Репино

В пределах приустьевого участка береговой зоны р. Чёрная в пос. Серово – пос. Молодежное были выполнены пять георадарных профиля вдоль берега (профиль № 59, 58, 56, 61 и 63). Поперек им были заложены пять профилей (№ 60, 57, 55, 62, 64), пересекающие пляж от береговой террасы за пляжем до уреза воды.

Устье реки Чёрная разделяет участок исследования на две части, различающихся особенностями геологического строения и развития, что отражается и прослеживается на георадарных записях.

Интерпретация результатов геофизического профилирования в западной части полигона позволила выделить три главных георадарных комплекса: первый (верхний), развитый на всей территории и представленный слабонаклонными хорошо прослеживаемыми многочисленными осями синфазности сравнительно высокой амплитуды. Мощность комплекса варьирует в разных частях берега от первых десятков сантиметров до 5–6 м с общим сокращением мощности в южном направлении, по мере приближения к мысу Лаутаранта. По данным бурения, вся толща комплекса представлена преимущественно грубозернистыми песками с многочисленными прослоями гравия (рис. 52).

Особенностью первого комплекса является наличие косослоистых песчаных отложений с преобладанием однонаправленного падения слоев в северном, северо-восточном направлении, указывающим на вдольбереговую перенос и отложение материала от мыса Лаутаранта (рис. 53а). В т.н. 16-СМБ-10 наблюдается изгиб береговой линии с отклонением в восточном направлении. Берег на этом участке представляет собой приустьевую отмершую косу, отгораживающую устье Смолячкова ручья. В настоящее время вдоль западного крыла бухты наблюдается рост вдольбереговой песчаной волны (косы), перемещающейся вдоль берега в северном направлении и расположенной между т.н. 16-СМБ-7 и 16-СМБ-9. На георадарном профиле № 58 отчетливо выделено это аккумулятивное тело (рис. 53б). Второй георадарный комплекс развит в приустьевых частях водотоков (Смолячков ручей и р. Чёрная), сменяя или подстилая отложения первого комплекса. Он характеризуется яркими отражающими границами, разнонаправленным падением слоев с осями синфазности высокой амплитуды. Отложения этого комплекса имеют аллювиальное происхождение и представлены довольно грубыми песками, с высоким содержанием гравийно-галечного материала.

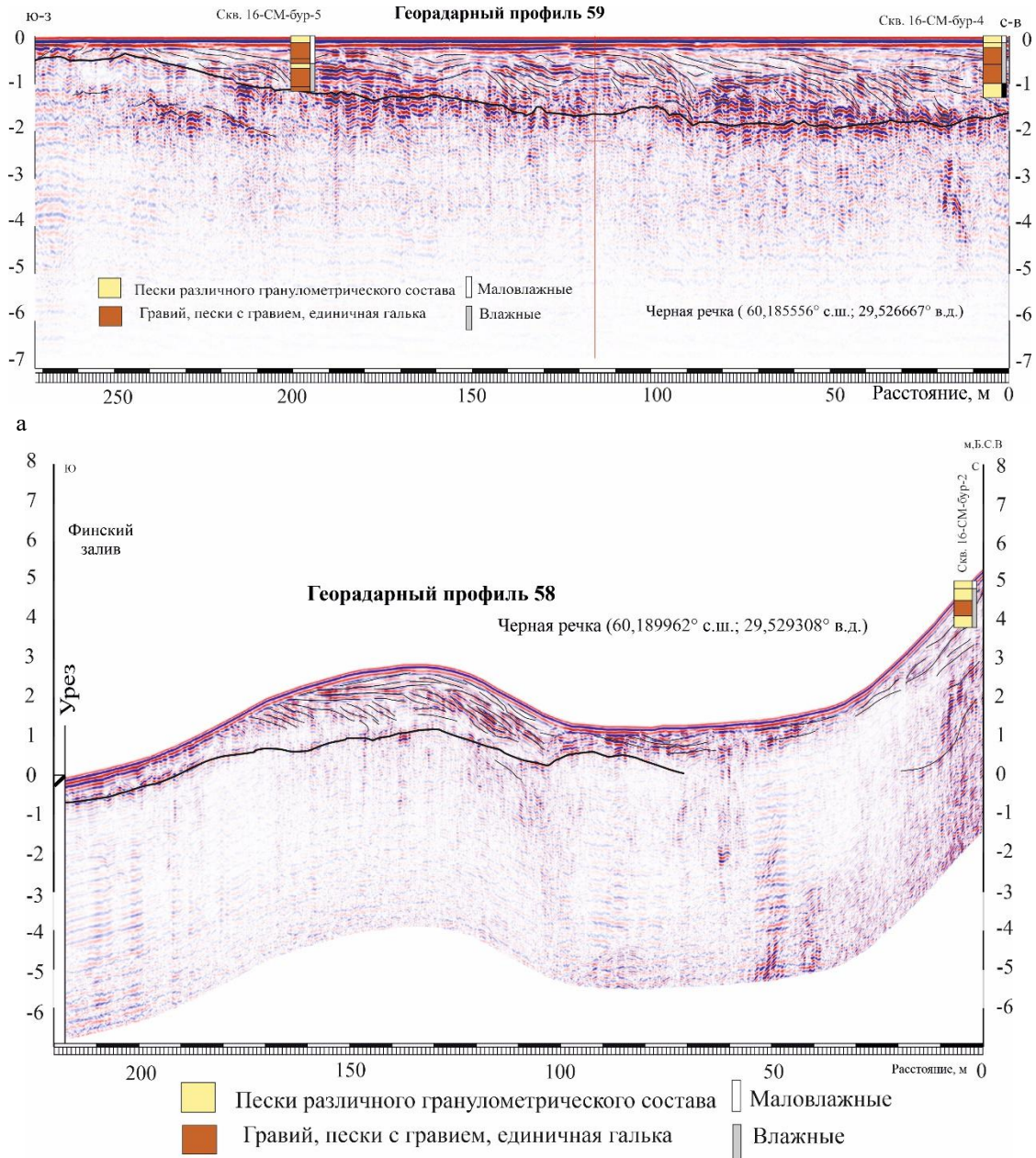


Рис. 53. Интерпретация радарограммы профиля № 59 (а) и 58 (б), идущего вдоль берега в западной части участка

Третий (нижний) георадарный комплекс имеет повсеместное распространение, фиксируется на всех западных профилях и расположен ниже первого комплекса, подстилая его. В районе мыса Лаутаранта этот комплекс подходит практически вплотную к дневной поверхности. Граница кровли комплекса отчетливая прослеживается по ярко выраженной оси синфазности высокой амплитуды. Такая аномалия объясняется наличием эрозионного горизонта (выделяется по несогласному контакту

отложений), сложенного, по-видимому, гравийным и галечным материалом, а также наличием здесь уровня грунтовых вод. Данные опорных геологических скважин [Экологический паспорт..., 2016], выполненных на побережье в этом районе, позволяют интерпретировать этот комплекс как отложения ледникового происхождения. Кровля ледниковых моренных валунных суглинков ошастковского горизонта расположена приблизительно на уровне современного уреза. Мощность отложений

достигает приблизительно 5 м, ниже залегают разномерные гравийные ожелезненные флювиогляциальные пески того же времени. Для

восточного крыла бухты характерно несколько иное приповерхностное геологическое строение (рис. 54).

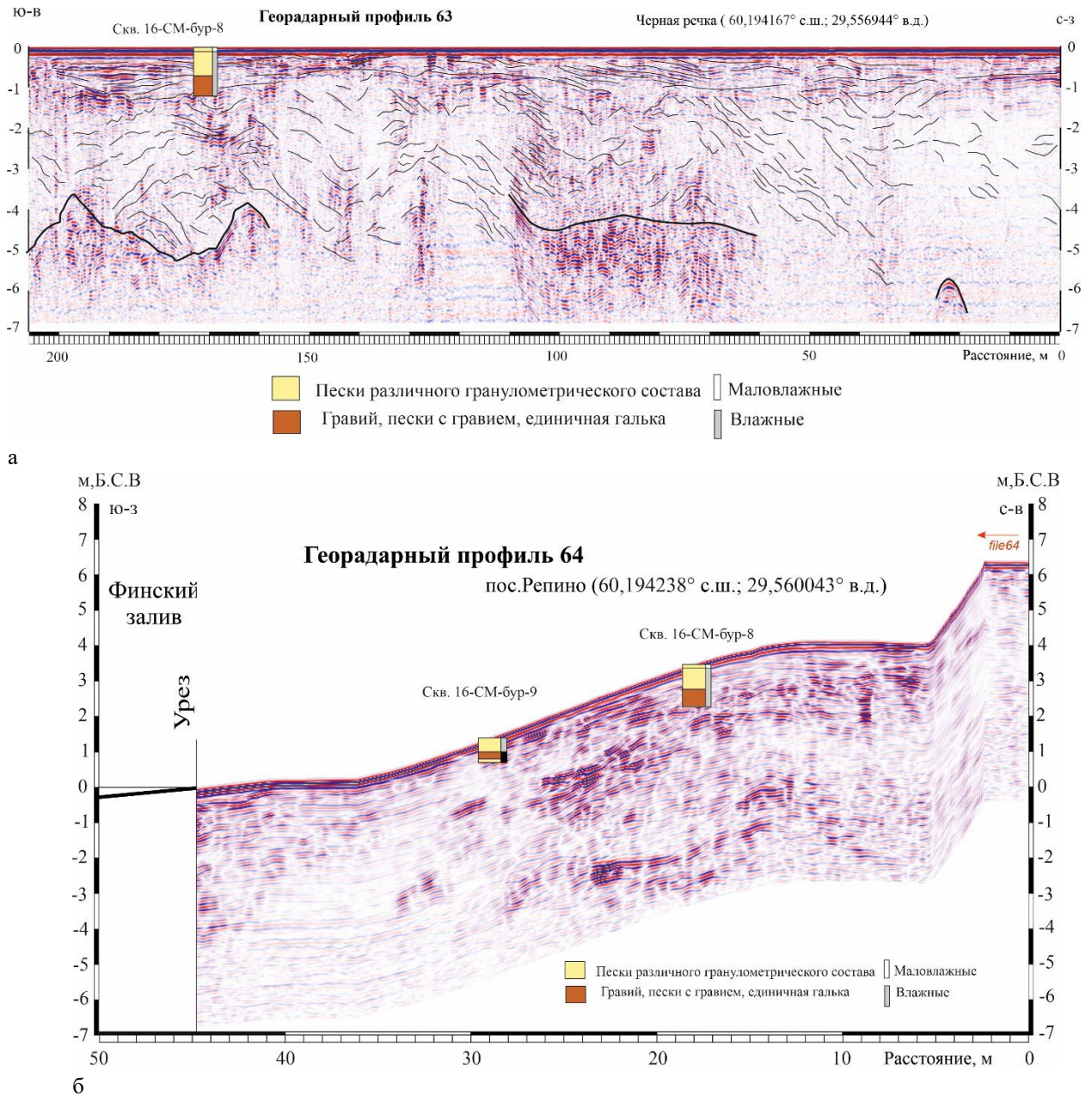


Рис. 54. Интерпретация радарограммы профилей № 63 (а) и 64 (б) в восточной части участка

По данным бурения, к востоку от устья р. Чёрная пляжевые отложения представлены преимущественно крупнозернистыми песками с зернами гравия. По данным вдольберегового георадарного профилирования, пески имеют слабоволнистое субгоризонтальное строение без явных косослоистых серий, что указывает на отсутствие здесь существенного вдольберегового переноса в формировании пляжевых отложений. На поперечных профилях в строении пляжа наблюдаются валообразные структуры,

примыкающие к абразионному уступу, достигающему 2 м высоты. Уступ выработан в песчаных отложениях. Как и в западной части района исследования, первый георадарный комплекс представлен современными пляжевыми отложениями. Однако однозначной интерпретации нижележащих, подстилающих комплексов провести не удалось. Предположительно, второй комплекс относится к переработанным русловыми процессами флювиогляциальным отложениям, а третий представлен моренными образованиями.

Профилирование ГЛБО позволило в значительной степени детализировать карту распределения донных грунтов, уточнить положение зон размыва, транзита и накопления отложений в пределах дна залива, а также конфигурацию ложбин стока (рис. 55). Профилирование ГЛБО, выполненное на

подводном береговом склоне в западной части исследуемого ключевого участка, позволило выявить локальные техногенные депрессии, образовавшиеся в результате подводной добычи песчаного материала (рис. 56).

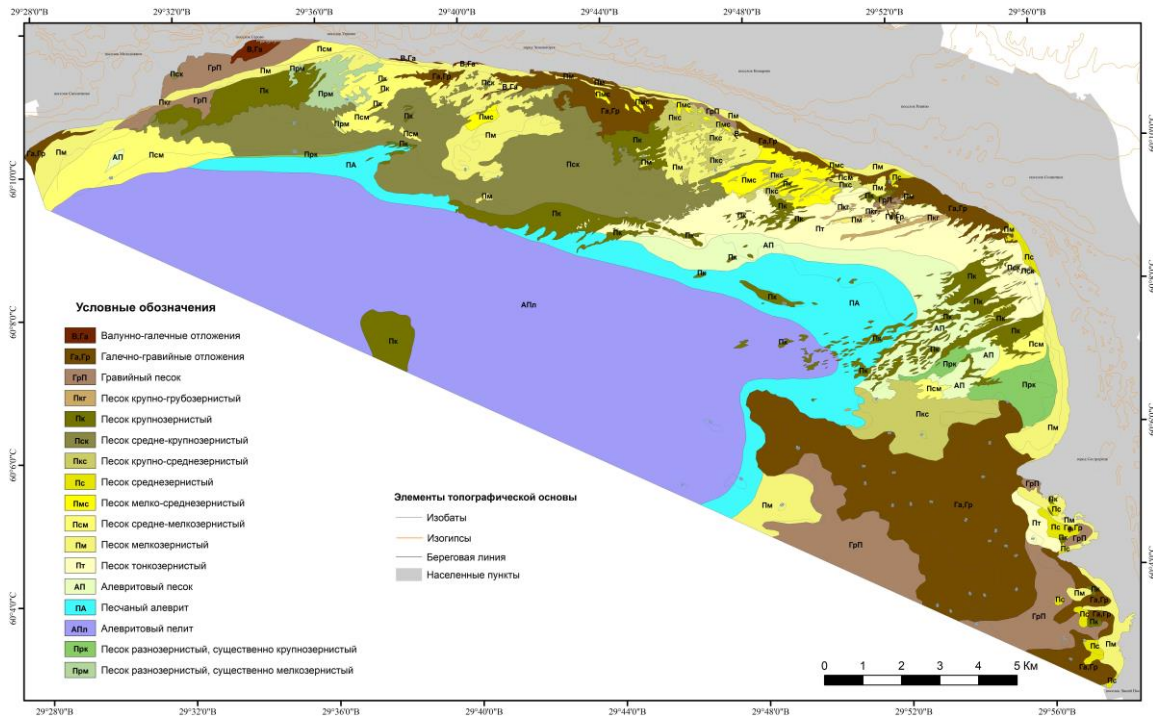


Рис. 55. Литологическая карта-схема участка «Северная береговая зона в пределах Курортного района»

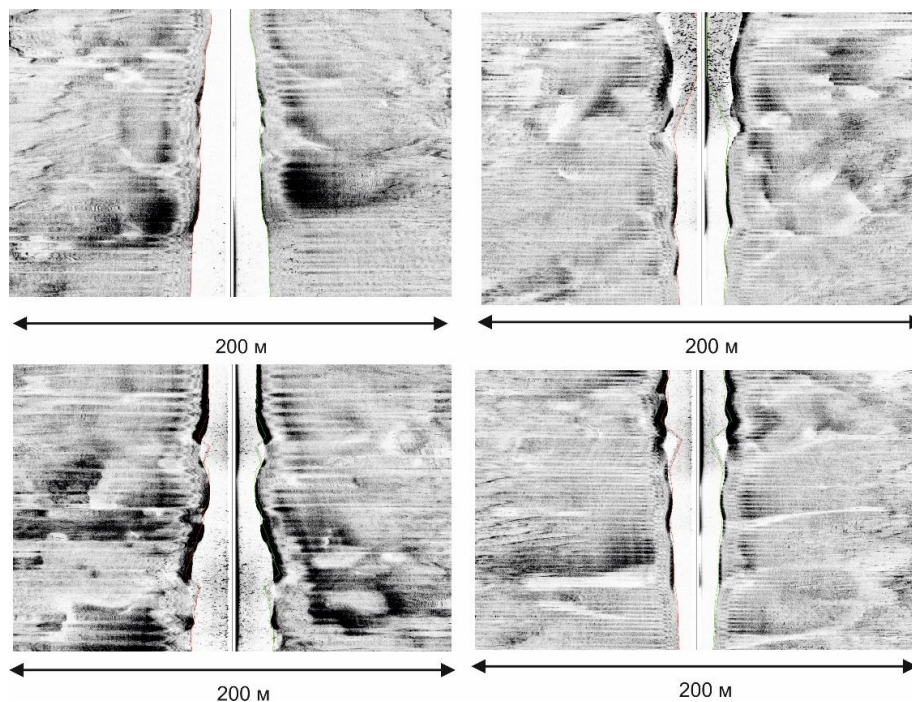


Рис. 56. Фрагменты ГЛБО с изображением подводных карьеров по добыче песка (профили 39, 41, 42)

По данным НСАП, относительная глубина карьеров достигает 3–5 м. Принципиально важным с точки зрения активизации экзогенных геологических процессов в береговой зоне является подводный размыв бровки террас, в том числе спровоцированный техногенной деятельностью (рис. 57).

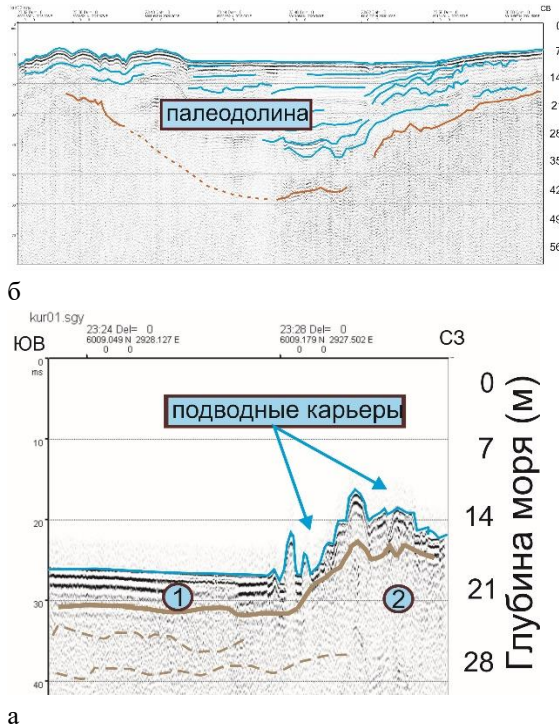


Рис. 57. Фрагменты профилей НСАП, выполненные в западной части ключевого участка «Северная береговая зона в пределах Курортного района» с изображением (профили: а – kur02, б – kur01): 1 – послеледниковые отложения, 2 – морена

Анализ материалов НСАП позволил также проследить палеодолины напротив устья р. Приветная и г. Сестрорецк (рис. 57, 58).

Выводы по состоянию геологической среды на участке «Северная береговая зона в пределах Курортного района»

В ходе береговых обследований была установлена активизация опасных ЭГП гравитационного типа в береговой зоне ключевого участка, которые привели к значительной трансформации берегового профиля, размывам авандюн и повреждению береговой инфраструктуры (рис. 59). Активизация комплекса ЭГП в береговой зоне восточной части Финского залива произошла в результате серии сильных штормов осени 2015 г., происходивших на фоне положительных аномалий температуры, что привело к отсутствию ледяного покрова. Вынос песчаного материала из

тыловой части пляжей и подмыв подножия абразионных уступов привели к активизации гравитационных процессов. Ситуация стабилизировалась к концу декабря после установления устойчивых отрицательных температур, смерзания рыхлых отложений пляжей и формирования ледяного покрова.

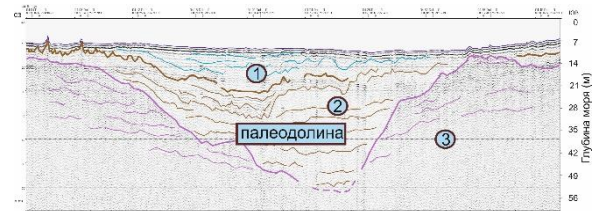


Рис. 58. Профиль НСАП kur09 с изображением палеодолины: 1 – отложения после-ледникового цикла (литориновые-постлиториновые пески, илы; Балтийского ледникового озера глины); 2 – ледниковые отложения: моренные суглинки и супеси ошашковского оледенения и, предположительно, более ранних стадиялов; 3 – предположительно, породы венда

В 2016 г. отмечен также летний цикл активизации ЭГП, связанный с аномальным количеством атмосферных осадков. В соответствии с результатами наблюдений Санкт-Петербургского ЦГМС-р, лето 2016 года стало одним из самых дождливых на территории Санкт-Петербурга и Ленинградской области за длительный ряд наблюдений. Количество осадков составило от 400 до 490 мм за три летних месяца и превысило все имеющиеся аналоги прошлых дождливых лет (1987, 1998, 2000, 2009 года). В целом за лето 2016 года вышло от 1,5 до 2,0 норм осадков, в отдельных областях количество осадков достигло 220–244 % от нормы лета. Аномальное количество осадков спровоцировало резкое усиление гравитационных ЭГП.

К аварийным участкам, на которых возможны чрезвычайные ситуации, относятся берег в районе Государственной резиденции РФ (пос. Солнечное), зоны отдыха «Пляжный Рай» (пос. Комарово), участок Приморского шоссе (пос. Репино).

Профилирование ГЛБО, выполненное на подводном береговом склоне в западной части исследуемого ключевого участка, позволило выявить локальные техногенные депрессии, образовавшиеся в результате подводной добычи песчаного материала. Анализ материалов НСАП позволил также проследить палеодолины напротив устья р. Приветная и Сестрорецка.

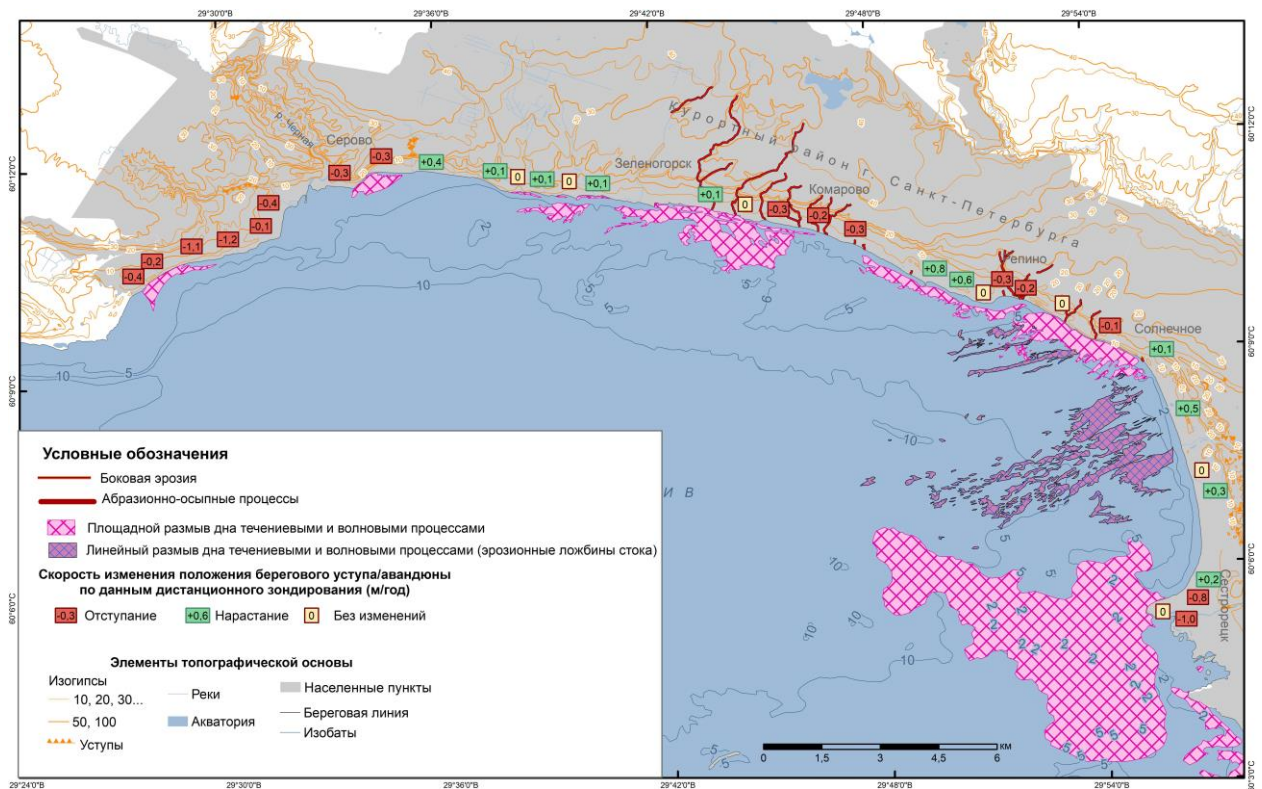


Рис. 59. Карта-схема проявлений опасных ЭГП ключевого участка «Северная береговая зона в пределах Курортного района»

Ключевой участок «Южная береговая зона в районе пос. Большая Ижора»

Состав наблюдательной сети. Виды наблюдений

Береговые маршруты на ключевом участке выполнялись в июле-сентябре 2016 г. Были выполнены инженерно-геологические обследования берегов и деталирные работы на двух опорных разрезах в районе развития интенсивных склоновых процессов в пос. Лебяжье. В ходе маршрутов (20 км) наблюдения велись на 90 базовых станциях, отобрано 16 образцов (рис. 60).

Выполнялся отбор образцов отложений пляжей и монолитов подстилающих пород, измерение углов склонов, описание и фотофиксация характера берегов, пляжей, береговых уступов и техногенных объектов, а также работы на опорных разрезах. На опорных разрезах 16ЛБР1 и 16ЛБР2, где наблюдаются наиболее активные осыпные и оползневые процессы, выполнялось инженерно-геологическое описание и отбор образцов. На разрезах отобрано 22 образца на гранулометрический анализ и 5 монолитов на комплексное изучение физических и физико-механических свойств грунтов.

На участке активного проявления ЭГП, где был заложен инженерно-геологический разрез

16ЛБР1, была проведена геодезическая съемка методом лазерного сканирования (рис. 61).

В ноябре 2016 г. были выполнены оперативные обследования на 5 станциях наблюдения, для которых в ходе летних обследований установлена максимальная активность опасных ЭГП (20 км маршрутов).

В субаквальной части береговой зоны ключевого участка были выполнены геофизические работы, включавшие в себя сейсмоакустическое профилирование (8 профилей общей протяженностью 27,0 км) и гидролокацию бокового обзора (23 профиля общей протяженностью 42,76 км) (ширина обзора – 100 м) (рис. 60).

Экзогенные геологические процессы

Анализ результатов обследований выявил тенденции, аналогичные описанным для ключевого участка «Северная береговая зона в пределах Курортного района». Резкая активизация штормовой активности в декабре 2015 г. на фоне положительной температурной аномалии, которая привела к отсутствию на акватории ледяного покрова, вызвала активную морскую абразию.

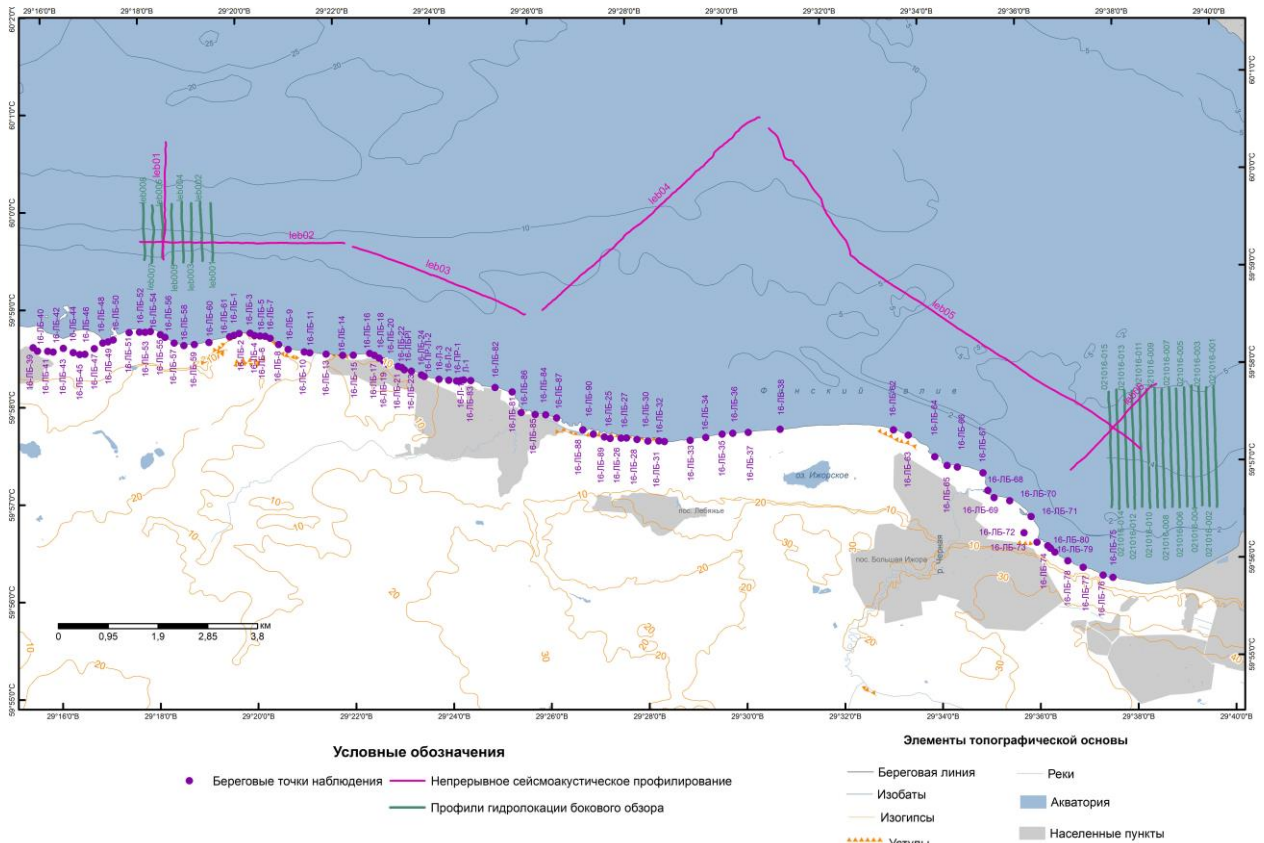


Рис. 60. Карта фактического материала работ на ключевом участке «Южная береговая зона в районе пос.Большая Изора»



Лазерное-1 - 59.970491° 29.390634°
Лазерное-2 - 59.971409° 29.386225°

Рис. 61. Расположение участка проведения геодезической съемки методом лазерного сканирования и положение инженерно-геологического разреза 16ЛБРІ

В свою очередь, результатом усиления абразии стала активизация оползневых и осыпных процессов. В пределах рассматриваемого ключевого участка указанные процессы представляют собой большую опасность в связи с большей высотой абразионно-денудационных уступов.

Активными гравитационными процессами характеризуется береговая зона в районе поселка и форта Красная Горка (западная часть

Лебяжинского городского поселения). Высота абразионно-гравитационных уступов, сложенных рыхлыми отложениями (пески, супеси, суглинки), здесь достигает 20–30 м. В данном районе выделяется три участка активизации осыпных, оползневых и эрозионных процессов (станции наблюдения 16-ЛБ-2, 16-ЛБ-4 – 16-ЛБ-6 и 16-ЛБ-18 – 16-ЛБ-24). Ряд участков находятся в аварийном состоянии (рис. 62).

По данным ретроспективного анализа материалов дистанционного зондирования, скорость отступления абразионно-оползневого уступа здесь достигает 1 м/год, в результате чего создается угроза безопасности жилых строений и сохранности полотна автодороги (рис. 63).

На абразионно-осыпном склоне в западной части пос.Красная Горка (в районе форта) было выполнено детальное инженерно-геологическое обследование разреза 16ЛБРІІ (рис. 64). Высота уступа 28 м. В разрезе выделяются три пачки, в гранулометрическом составе отложений преобладают пески различного гранулометрического состава, подчиненное положение занимают прослой супесей и грубообломочных отложений (гравий, галька, мелкие валуны).



Рис. 62. Активизация склоновых процессов под воздействием абразии. а, б – район причала № 5, Красная Горка; в, г – аварийные участки в пос. Красная Горка

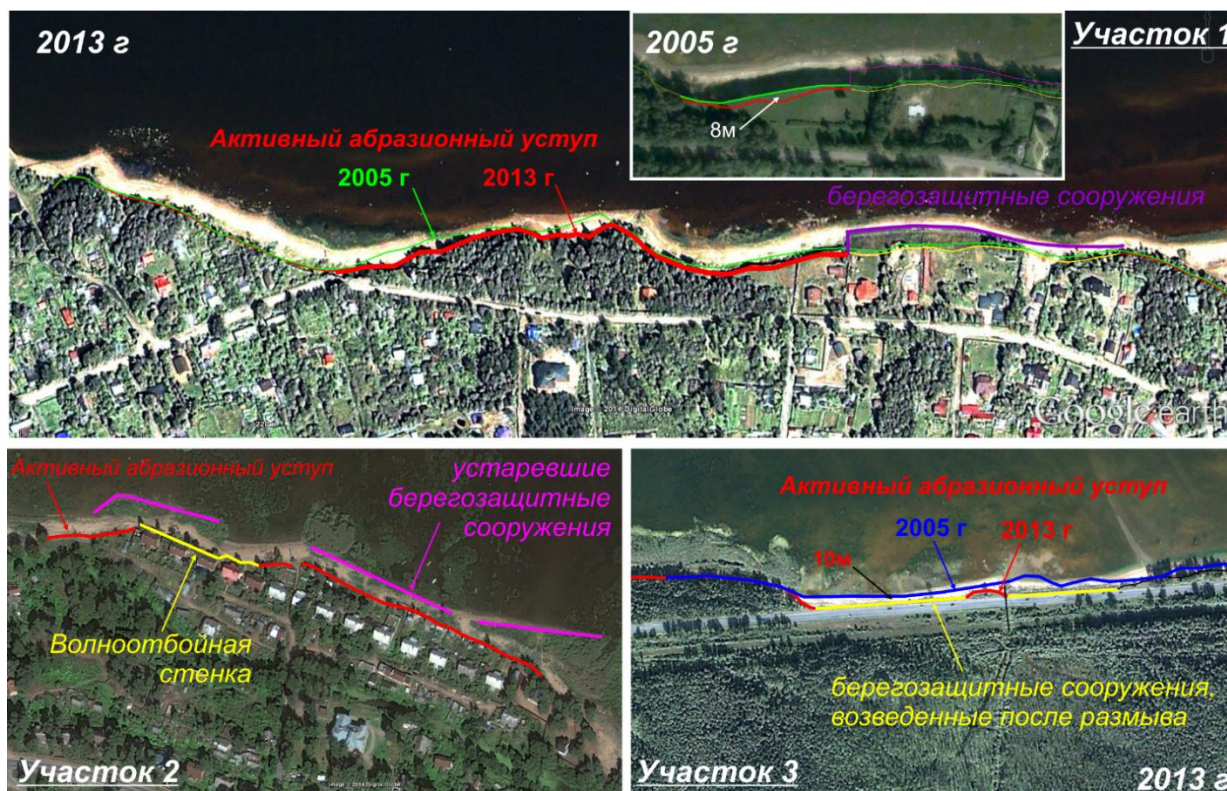


Рис. 63. Результаты ретроспективного анализа космических снимков аварийного участка в пос. Красная Горка (Лебяжинское городское поселение)

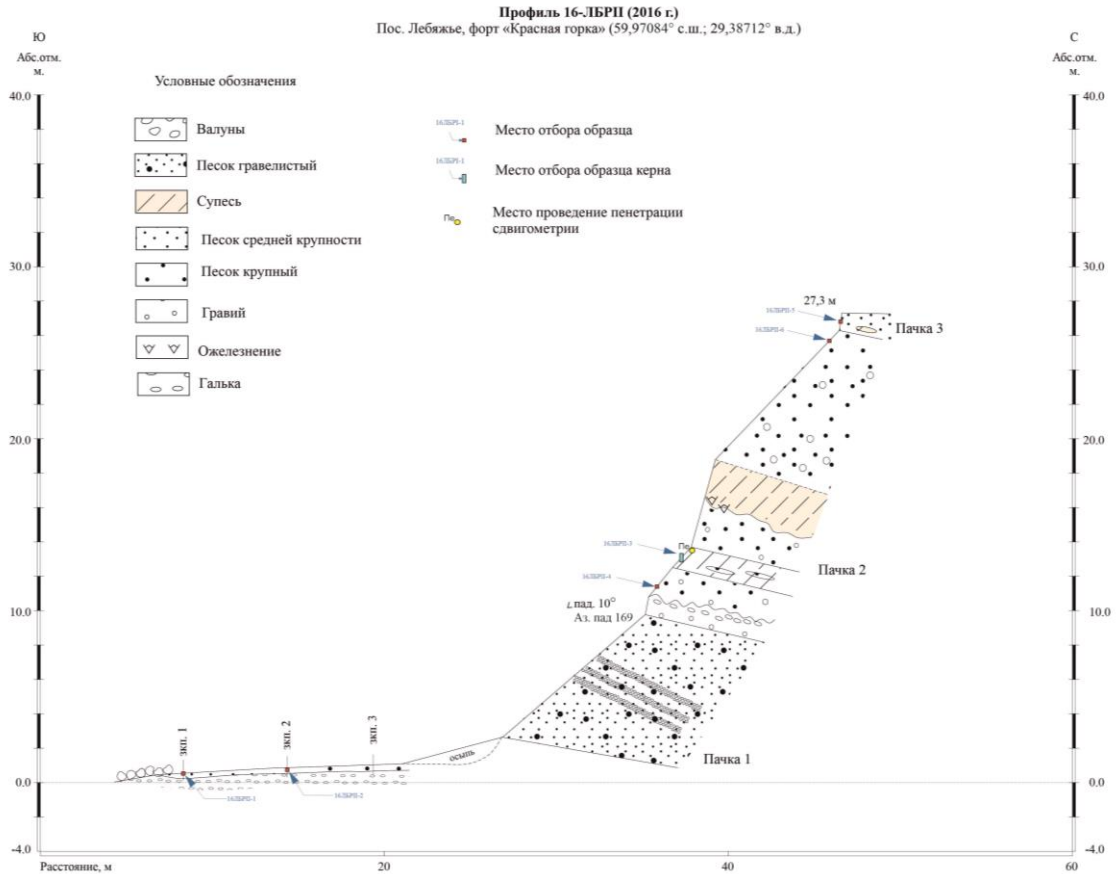


Рис. 64. Опорный инженерно-геологический разрез 16ЛБРИ

Верхняя пачка представлена прослоем крупно-среднезернистых песков (содержание частиц 0,25–0,5 мм 40 %, частиц 0,5–1,0 мм – 25 %) и гравийных песков, формирующих осыпь с углом наклона около 30° на отметке 18–26 м (рис. 65).

Ниже в разрезе выделяются прослой несогласно залегающих супесей (пылеватые пески, природная влажность 7,5 %, плотность

2,6 г/см³) (табл. 6), гравийных песков и грубообломочных отложений (до мелких валунов). Углы наклона в этой части разреза наиболее крутые. Отложения нижней пачки представлены гравийными песками с примесью мелкой гальки. У подножия склона сформирован осыпной склон (высота осыпного тела в момент наблюдений 8 м, ширина около 20 м).

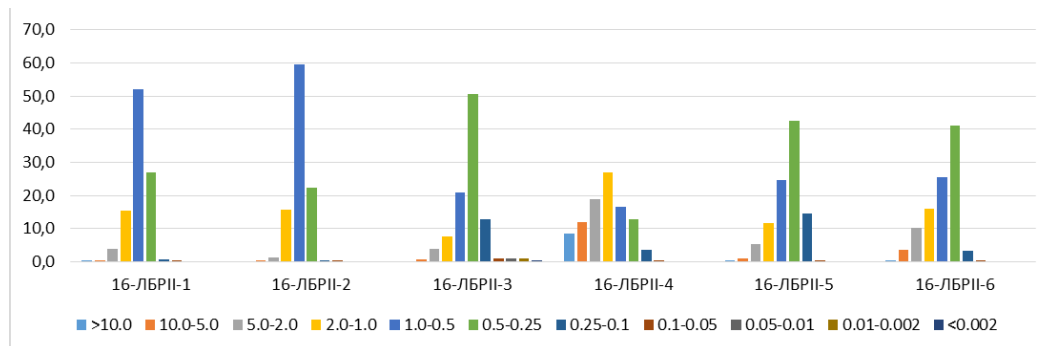


Рис. 65. Гистограммы гранулометрических распределений образцов отложений абразионно-осыпного склона в районе форта Красная Горка (разрез 16ЛБРИ)

Таблица 6. Физические и физико-механические свойств грунтов в инженерно-геологическом разрезе 16ЛБPI и на урзе воды на участке, примыкающем к разрезу 16ЛБPII

№ пробы	Глубина отбора проб, м	Влажность на границе, д.е.		Число пластичности Ip, д.е.	Массовая доля органического вещества, д.е.	Природная влажность W, д.е.	Плотность грунта ρ , г/см ³	Плотность частиц грунта ρ_s , г/см ³	Плотность сухого грунта ρ_d , г/см ³	Коеф. пористости e, д.е.	Коеф. водонасыщенности Sr, д.е.	Показатели консистенции, д.е.		Наименование грунта
		текучести WL	раскатывания Wp									IL	CV	
16ЛБPI-12	0-0,2				0,01	0,226	1,99	2,67	1,62	0,645	0,94			Песок пылеватый
16ЛБPI-18	11,3-11,5	0,279	0,216	0,063	0,02	0,169		2,68				-0,75		Супесь твердая
16ЛБPI-18	8,8-9,0	0,292	0,223	0,069	0,02	0,246	2,01	2,67	1,61	0,653	1	0,33	0	Супесь пластичная
16ЛБPI-19	4,0-4,2	0,272	0,21	0,062	0,01	0,222	2,04	2,66	1,67	0,592	1	0,19	-0,04	Супесь пластичная
16ЛБ-1	0-0,2	0,251	0,166	0,085	0,02	0,222	2,04	2,71	1,67	0,62	0,97	0,66	0,41	Суглинок мягкопластичный
16ЛБ-2	0-0,2	0,694	0,391	0,303	0,07	0,697	1,58	2,64	0,93	1,838	1	1,01	0,48	Ил глинистый
16ЛБ-3	0-0,2	0,275	0,226	0,049	0,02	0,24	2,03	2,7	1,64	0,65	1	0,29	0,06	Супесь пластичная
16ЛБ-4	0-0,2	0,162	0,118	0,044	0,01	0,111	2,29	2,68	2,06	0,3	0,99	-0,16	-0,11	Супесь твердая
16ЛБ-5 (16ЛБPII-3)	0-0,2				0,01	0,075		2,65						Песок пылеватый
16ЛБ-6	0-0,2				0,01	0,073		2,64						Песок средней крупности

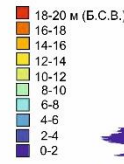
Отложения пляжевой ступени сложены крупнозернистыми песками, мощность которых не превышает 10-20 см, заполняющими пространство между крупными валунами на поверхности валунно-галечных отложений.

Для одного из наиболее сильно подверженных осыпным и оползневым процессам участков береговой зоны, расположенном в пос. Красная Горка, летом 2016 г. было выполнено лазерное сканирование (рис. 66) и детальное обследование опорного разреза 16ЛБРИ (рис. 67).

Анализ результатов лазерного сканирования показывает, что высота абразионно-гравитационного уступа составляет 20 м, в верхней и средней частях склона выделяются зеркала – крутые участки (угол склона до 90°), представляющие собой зеркала скольжения оползневых тел. На остальной части склона преобладают уклоны около 30-35°, представляющие собой тела осыпей, углы склона которых близки к естественным. На пляже выделяются оплывины, сформировавшиеся при перемещении масс грунта.

Результаты инженерно-геологических исследований показали, что уступ сложен преимущественно супесями (на горизонте 9–12,5 м асб. выс. – твердые супеси; ниже – супеси пластичные) с прослоями суглинков (рис. 67). По гранулометрическому составу среди отложений преобладают пылеватые пески (содержание тонкопесчаной фракции (0,1–0,05 мм) от 43,2 до 74,7 %, среднее 58,9 %; содержание частиц крупноалевритовой фракции (0,002–0,05 мм) от 8,47 до 54,1 %, среднее 25,4 %) (рис. 68).

Высота



Угол склона

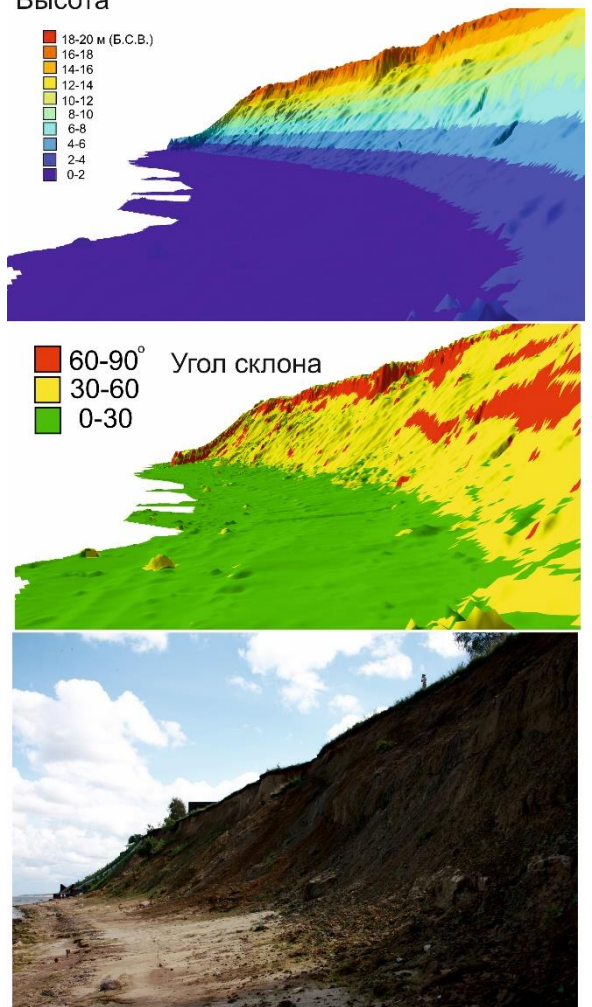


Рис. 66. Трехмерная модель рельефа, углы склона и фотография в сентябре 2016 г. аварийного участка в пос. Красная Горка (Лебяжинское городское поселение)

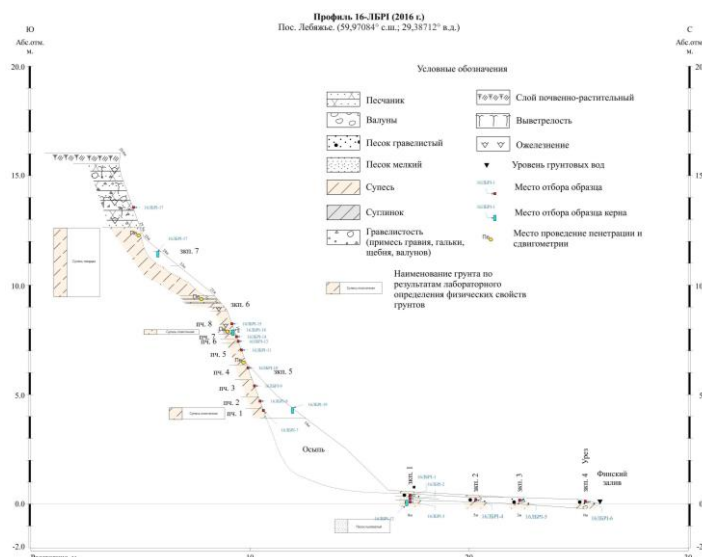


Рис. 67. Опорный инженерно-геологический разрез в районе пос. Лебяжье

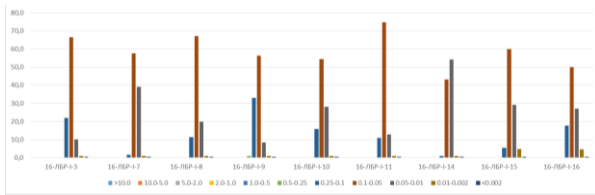


Рис. 68. Гистограммы гранулометрического состава образцов абразионно-оползневой уступа в пос. Лебяжье (разрез 16ЛБ1)

Результаты определения физических свойств грунтов, выполненные в специализированной лаборатории ОАО «ЛенморНИИпроект» (в соответствии с ГОСТ 5180-2015), показали, что влажность грунтов на границе текучести составляет от 0,27 до 0,29, на границе раскатывания – 0,21–0,22. Влажность (природная) колеблется в интервале от 17 до 26 %, плотность грунта составляет около 2,00 г/см³ (табл. 5).

По сравнению с наблюдениями 2015 г. резко выросла протяженность аварийного участка (57 км шоссе Санкт-Петербург – Ручьи) (рис. 69).



Рис. 69. Активизация абразионно-оползневых процессов вблизи аварийного участка шоссе Санкт-Петербург – Ручьи

В связи с существенным увеличением количества атмосферных осадков в ходе наблюдений также было выявлено усиление боковой эрозии как в устьевых частях ручьев и рек, так и на склонах (временные потоки) (рис. 70).



Рис. 70. Боковая эрозия (станции А – 16-ЛБ-12, Б – 16-ЛБ-24)

Выполненное профилирование методом ГЛБО позволило расширить площадь детального акустического обследования морского дна, сделанного в предыдущие годы и проследить границу развития грубообломочных отложений, расположение которой по отношению к береговой линии играет принципиальную роль в оценке баланса осадочного материала в береговой зоне (рис. 71).

Анализ профилей НСАП позволил проследить характер поверхности морены и мощности различных горизонтов послеледниковых отложений, включая ледниково-озерные глины и песчаные толщи, слагающие голоценовые террасы. Также установлено расположение и глубина подводных карьеров по добыче песка (рис. 72). Данные ГЛБО и НСАП легли в основу субаквальной части карты-схемы проявления опасных ЭПП (рис. 73).

Выводы по состоянию геологической среды на участке «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.

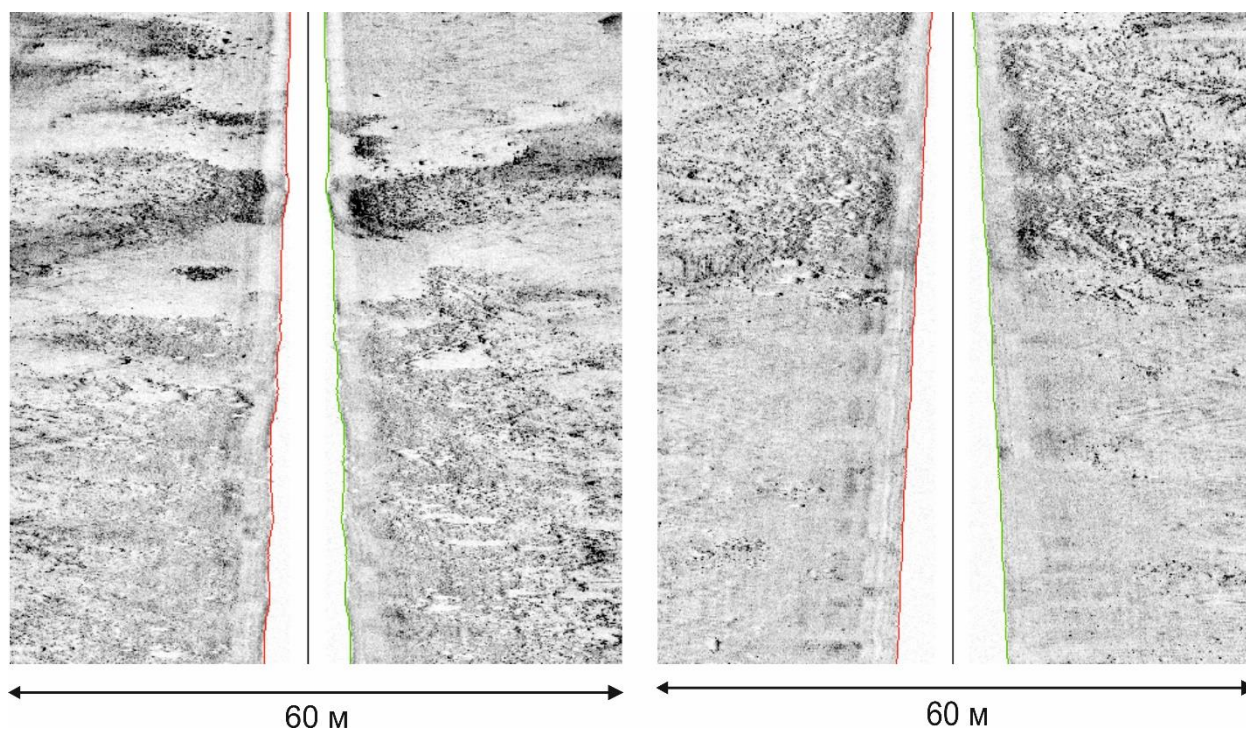


Рис. 71. Фрагменты сонограмм ГЛБО с изображением границы песчаных и грубообломочных отложений

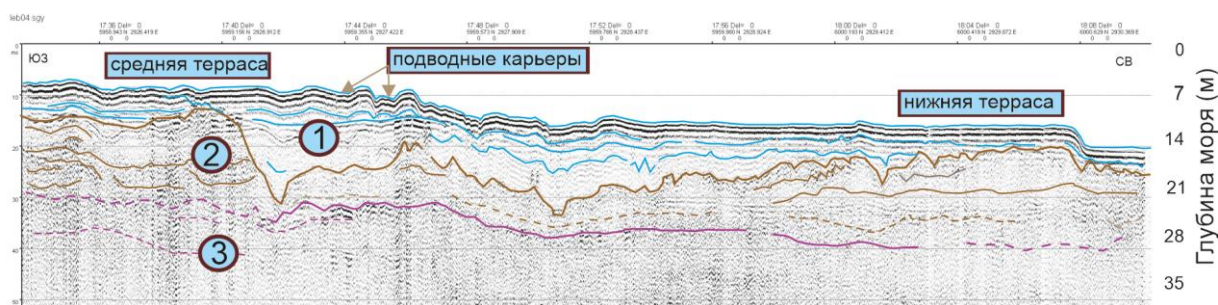


Рис. 72. Профиль НСАП lev04, пересекающий серию подводных вдольбереговых террас: 1 – отложения последнего ледникового цикла (литориновые–постлиториновые пески, илы; Балтийского ледникового озера глины); 2 – ледниковые отложения: моренные суглинки и супеси ошастковского (лужского) оледенения и, предположительно, более ранних стадий; 3 – предположительно, породы венда

Высота абразионно-гравитационных уступов, сложенных рыхлыми отложениями (пески, супеси, суглинки) здесь достигает 20-30 м. Выявлено три участка активизации осыпных, оползневых и эрозионных процессов (станции наблюдения 16-ЛБ-2, 16-ЛБ-4 – 16-ЛБ-6 и 16-ЛБ-18 – 16-ЛБ-24).

Наиболее опасного уровня гравитационно-эрозионные процессы достигают между станциями наблюдения 16-ЛБ-18 – 16-ЛБ-24, где они угрожают жилым постройкам и участку автодороги. Активный оползневой (оплывной) уступ здесь сложен преимущественно супесями, с прослоями, обогащенными глинистым материалом. Неустойчивости склонов

способствует наличие в разрезе уступов глинистых прослоев и зон разгрузки подземных вод. Отдельные прослои глин в толще супеси, валунных супесей и суглинков прослеживаются на протяжении всего описанного участка берега. Зоны разгрузки подземных вод приурочены, преимущественно, к верхним частям склонов.

Участком, требующим повышенного внимания и регулярного мониторинга, является береговая зона в районе 57 км шоссе Санкт-Петербург–Ручьи (станции наблюдения 16-ЛБ-32 16-ЛБ-34). В результате комплексного воздействия морской абразии, снижения прочностных свойств абразионных уступов, выработанных в песчаной террасе вследствие

разгрузки подземных вод и вызванных этими факторами осыпных процессов, опасные ЭГП угрожают участку трассы шоссе Санкт-Петербург–Ручьи. В 2013 г. на аварийном участке длиной 500 м выполнено берегоукрепление (наброска бетонных глыб, откосное укрепление основания шоссе), в результате чего ситуация резко ухудшилась, усилились абразионные и осыпные процессы по периферии сооружения, длина аварийного участка достигла 800 м.

Профилирование методом ГЛБО позволило выявить зоны подводного размыва. С помощью анализа профилей НСАП была установлена мощность различных горизонтов послеледниковых отложений, включая ледниково-озерные глины и песчаных толщ, слагающих голоценовые террасы. Также установлено расположение и глубина подводных карьеров по добыче песка.

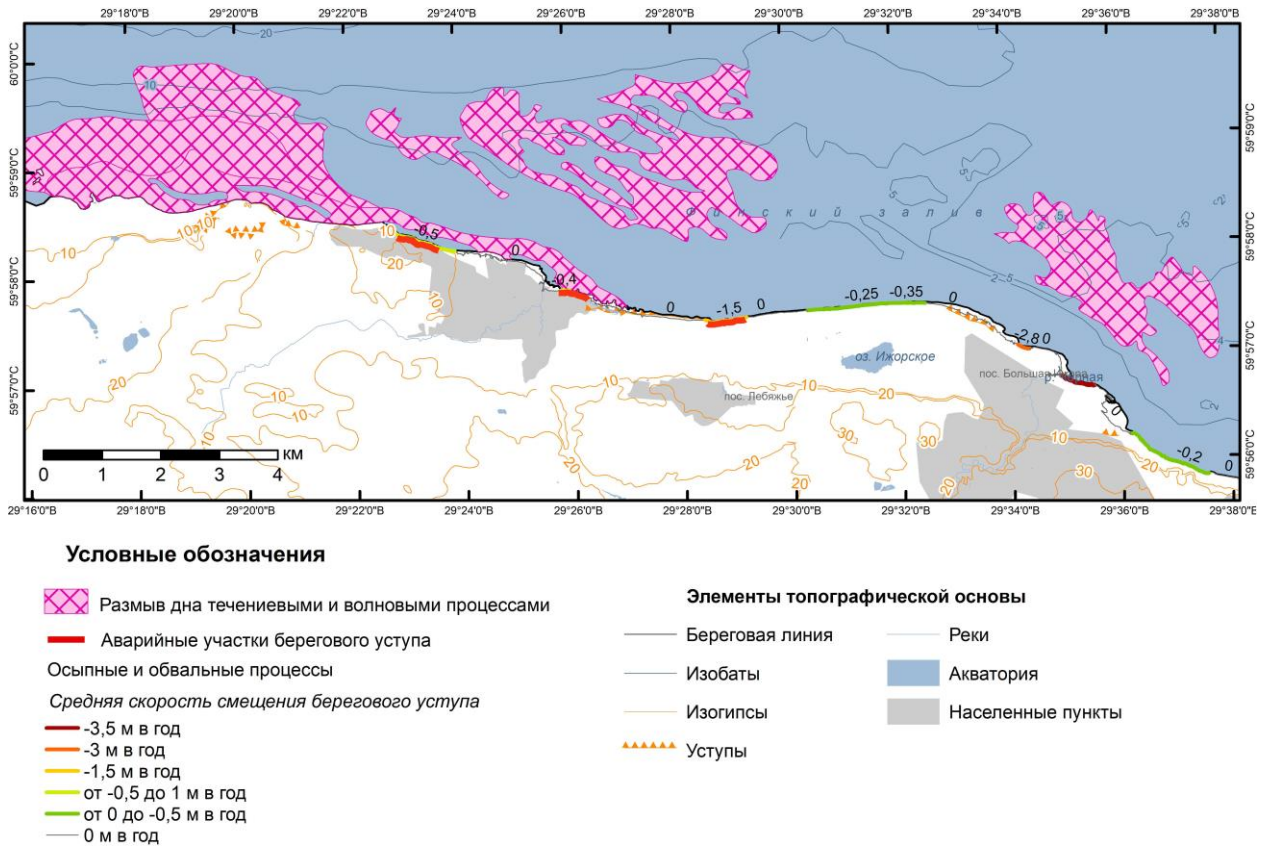


Рис. 73. Карта-схема проявлений опасных ЭГП ключевого участка «Южная береговая зона в районе пос. Большая Ижора»

Ключевой участок «Копорский залив»

В предыдущие годы мониторинга для данного участка были выполнены съемки ГЛБО и многолучевым эхолотом, позволившие выявить и закартировать более 200 покмарков различных генераций на относительно небольшой площади [Информационный бюллетень ..., 2014]. В пределах участка установлены тектонические нарушения и зоны трещиноватости. Потенциальными причинами образования покмарков на этом участке могут являться разгрузка вод вендского водоносного горизонта. Эпизодически в придонных водах покмарков

фиксируются гидрохимические аномалии, которые, однако, не имели устойчивого характера [Жамойда и др., 2013; Иванова и др., 2011]. В то же время, в грунтах внутри покмарков было установлено присутствие метана, причем не только в современных илах на поверхности дна, но и в подстилающих глинах Балтийского ледникового озера, характеризующихся крайне низким содержанием органического вещества. При этом в метане были выявлены тяжелые изотопы углерода, характерные для относительно глубинных источников. Поле покмарков

расположено в непосредственной близости от Ленинградской атомной электростанции, что и определяет необходимость изучения процессов образования покмарков, т. к. к настоящему времени сохраняется явная неопределенность в понимании их генезиса в Копорском заливе. Основной задачей работ на ключевом участке «Копорский залив» было выяснение динамики развития и уточнение генезиса покмарков, как индикаторов зон предполагаемой подводной разгрузки подземных вод.

Состав наблюдательной сети. Виды наблюдений

В 2016 г. (25-26 июля) для части изученной ранее площади было выполнено профилирование ГЛБО (10 профилей общей протяженностью 10,37 км, полоса обзора 75 м с каждого борта) и НСАП (два профиля общей длиной 12,92 км) (рис. 74). В задачи работ входило выяснение динамики развития и уточнение генезиса покмарков, определение активности газовой флюидности проявлений

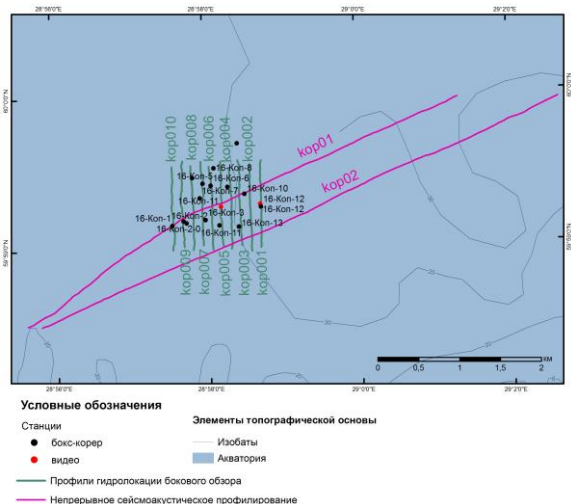


Рис. 74. Карта фактического материала ключевого участка «Копорский залив»

Пробоотбор (14 станций) на участке «Копорский залив» были выполнены с использованием бокс-корера. Отбирались пробы-монолиты на изучение физических и физико-механических свойств, пробы на гранулометрический анализ, на определение газовой составляющей грунтов и придонной воды, а также пробы грунтов на геохимический анализ и придонной воды на гидрохимию. Положение станций пробоотбора выбиралось с учетом выполненной съемки методом ГЛБО для того, чтобы опробовать площади сгущения покмарков и фоновые станции, где покмарков заведомо нет. На двух станциях было выполнено подводное

видео профилирование.

Экзогенные геологические процессы

Съемка морского дна методом ГЛБО подтвердила наличие значительного количества покмарков (рис. 75). Диаметр покмарков в Копорском заливе не превышает 10-18 м, глубина не превышает первых десятков сантиметров.

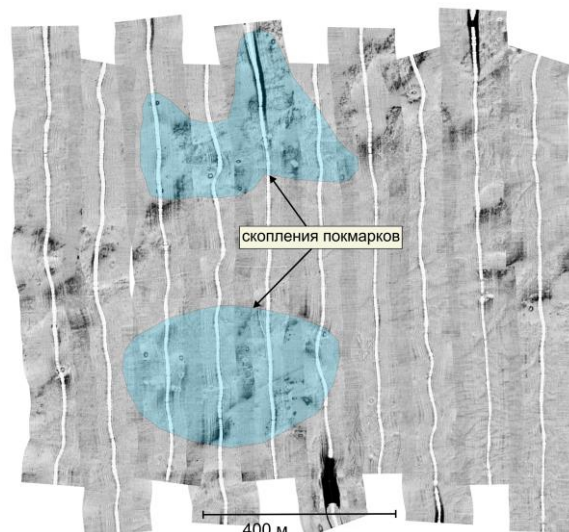


Рис. 75. Схема-мозаика ГЛБО ключевого участка «Копорский залив» (2016 г.)

Дочетвертичные образования дна Копорского залива представлены породами редкинского и котлинского горизонтов валдайской серии верхнего венда. Местные стратоны редкинского горизонта – старорусская свита, котлинского горизонта – василеостровская и воронковская свиты (рис. 76). Старорусская свита представлена миктитами, песчаниками, аргиллитами и аргиллитоподобными глинами, алевролитами общей мощностью не более 45 м. Василеостровская свита разделяется на нижнюю (песчаную) и верхнюю (глинистую) подсвиты. Нижняя часть василеостровской свиты обособляется в качестве гдовских слоев с преобладанием субаркозовых песчаников и алевролитов сероватого и красно-бурого цветов. Мощность гдовских слоев 30–50 м. Верхняя подсвита представлена толщей гидрослюдистых глин с алевроитовыми прослоями. Породы венда повсеместно перекрыты четвертичными осадками [Атлас ..., 2010].

Поле покмарков располагается в пределах зоны малоамплитудных разломов и разрывов. От осевой части залива в юго-восточном направлении в непосредственной близости от поля распространения покмарков протягивается палеодолина, в бортах которой последовательно

обнажаются породы василеостровской свиты, гдовские слои, и на дне палеовреза породы старорусской свиты. С песчаными слоями связан вендский водоносный комплекс, приобретающий мощный глинистый водоупор вблизи зоны развития покмарков. На склонах палеодолины, врезанной до отметок от -75 до -80 м может происходить подводная разгрузка подземных вод. Воды комплекса – трещинно-пластовые, напорные, хлоридные натриевые, и степень минерализации последовательно увеличивается от 3 до 35 г/дм³ и более. Воды вендского комплекса характеризуются высокими концентрациями хлора и брома [Гидрогеология СССР, 1967; 1968; Коротков, 1982].

Четвертичные отложения на участке представлены мореной лужской стадии валдайского оледенения, а также

неоплейстоценовыми ленточными глинами и глинами Балтийского Ледникового озера. Анализ записей НСАП показывает, что покмарки выявляются в пределах участка, характеризующегося близповерхностным расположением слоистых ледниково-озерных отложений, перекрытых лишь тонким (до 0,5 м) слоем илов или покровных песков. Обычно ледниково-озерные отложения плащеобразно перекрывают морену, нивелируя ледниковый рельеф, а их поверхность имеет выровненный характер. В Копорском заливе в пределах поля покмарков внутренние границы ледниково-озерных отложений имеют гребенчатый характер (рис. 77). Возможно, такие границы обусловлены внутренними дислокациями толщи, в том числе спровоцированными выходами (просачиванием) грунтовых вод, хотя однозначно (без проведения бурения) этого утверждать нельзя.

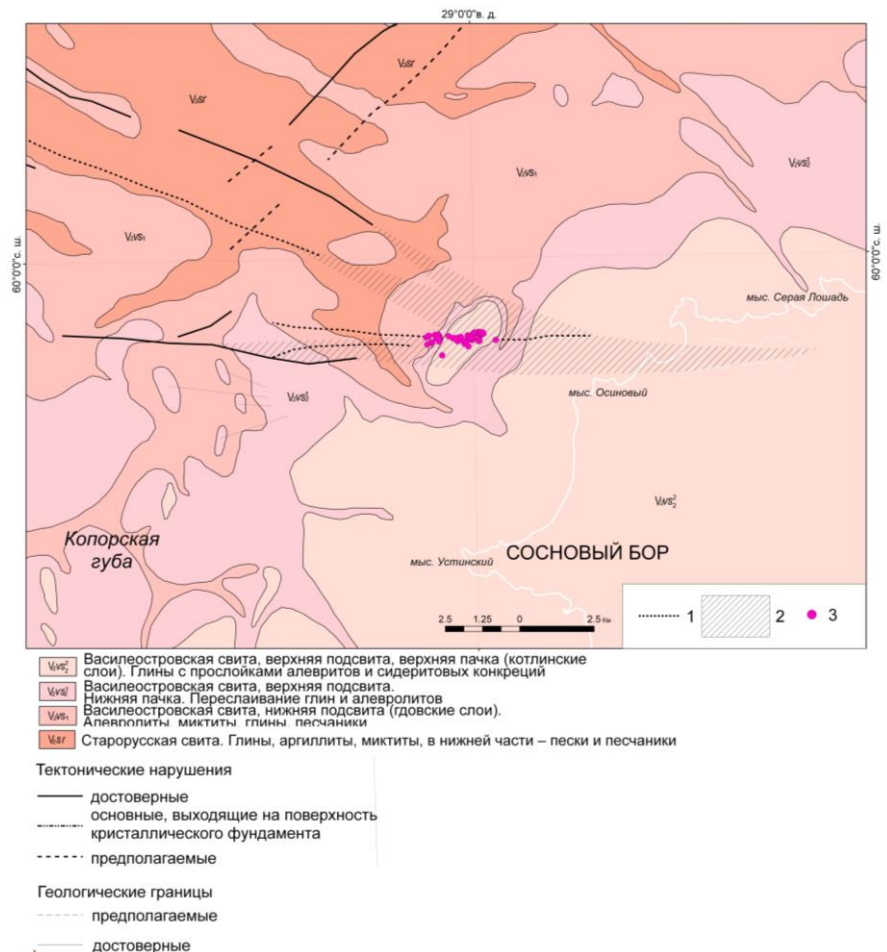


Рис. 76. Фрагмент карты дочетвертичных образований [Атлас..., 2010] с полем покмарков: 1 – мелкоамплитудные разломы; 2 – зона повышенной трещиноватости и проницаемости дочетвертичных пород, 3 – поле покмарков

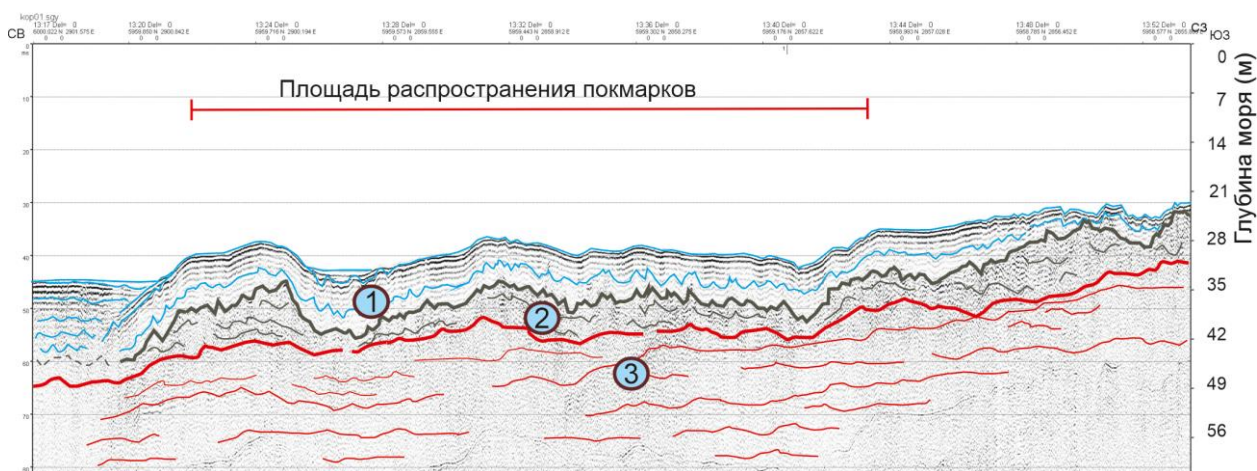


Рис. 77. Профиль НСАП кор01, пересекающий поле покмарков в Копорском заливе: 1 – отложения Балтийского ледникового озера – глины); 2 – ледниковые отложения: моренные суглинки и супеси осташковского (лужского) оледенения; 3 – породы венда

Донные поверхностные грунты (мощностью 10–20 см) представлены пелитовыми алевритами, алевритовыми пелитами, песчаными алевритами (рис. 78, табл. 7), сформировавшимися на эрозионной поверхности ледниково-озерных отложений. Покровные пески, как правило, плохо сортированы, с включением как алевропелитового

материала, так и зерен гравийно-галечной размерности. На ряде станций, по данным пробоотбора, отмечены дисковидные железомарганцевые конкреции диаметром до 3–5 см, а также обрастание грубообломочного материала корками железомарганцевых окислов.

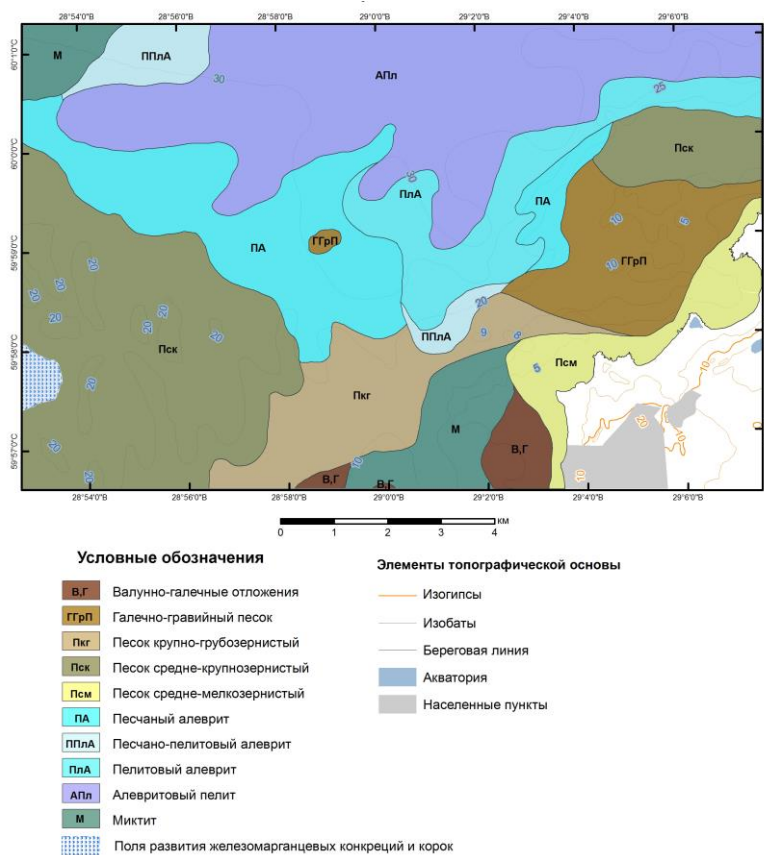


Рис. 78. Литологическая карта-схема участка «Копорский залив»

Подводная видеосъемка указывает на следы активной жизнедеятельности бентосных организмов (рис. 79).



Рис. 79. Поверхность морского дна со следами жизнедеятельности бентосных организмов: 16-коп-11 (вверху) и 16-коп-12 (внизу).

В целом приуроченности покмарков к определенному типу поверхностных грунтов установлены не были. От типа грунта может зависеть скорость, с которой покмарк теряет свою форму или заиляется. Анализ газовой составляющей (табл. 8) в грунтах показал, что средняя концентрация метана в воздушном зазоре (headspace) проб грунтов, отобранных в покмарках или непосредственно рядом с ними, составляет 28,135 ppm, а максимальная – 68,109 ppm. В фоновых пробах в пределах этого же участка средняя концентрация метана составляет 6,564 ppm, а максимальная – 7,846 ppm. Таким образом, концентрация метана в грунтах из покмарков в несколько раз выше, чем в грунтах за пределами покмарков.

С целью комплексного изучения выявленных кратероподобных структур были проведены гидрохимические исследования. Прежде всего отбор проб придонной воды проводился непосредственно в пределах «кратеров» покмарков. Для определения фоновых значений были отобраны пробы придонной воды и с глубины 25 м на том же участке, но заведомо вне

кратеров покмарков. Результаты аналитических исследований приведены в таблице 9, а сопоставление характеристик выборок, характеризующих придонные воды в кратерах покмарков и «фоновые» воды вне их в таблице 10.

Из приведенных данных следует, что по своему химическому составу придонные воды, отобранные в кратерах покмарков, по ряду химических элементов, заметно отличаются от придонных вод, отобранных вне кратеров. Фоновые концентрации В, Na, Mg, Ca, Cr, Sr в придонных водах кратеров покмарков заметно превышают их концентрации в водах, отобранных вне кратеров. Для остальных определяемых элементов концентрации в придонных водах, отобранных в кратерах покмарков и вне их, близки между собой.

Согласно данным, приведенным в таблице 10, средние медианные концентрации В и Sr в водах, отобранных в кратерах покмарков, превышают их фоновые концентрации, при этом концентрация Ва в обоих случаях приблизительно равны. Исходя из вышеизложенного, можно предположить, что природа образования покмарков в пределах Копорского залива связана с разгрузкой вод вендского водоносного комплекса по системе малоамплитудных разломов и зон трещиноватости.

Покмарки, выявляемые на записи ГЛБО, могут быть дифференцированы по контрастности проявления на сонограммах. По-видимому, наиболее контрастные покмарки являются свидетельством недавней активизации выхода подземных вод или высачивания вод в настоящее время (рис. 80). Значительная часть покмарков в той или иной мере перекрыта осадками. Можно предполагать, что это неактивные покмарки и высачивание подземных по ним в настоящий момент не происходит (рис. 81).

Локально наблюдаются скопления покмарков на небольшой площади в пределах относительно однородных полей донных грунтов (рис. 82, 83). Подводное телепрофилирование не выявило существенных различий грунтов поверхности морского дна внутри покмарков и вне их. При этом обращает на себя внимание, что покмаркам на этих участках присуща различная степень контрастности (экспозиции), что, вероятно, свидетельствует о пульсационном характере процесса, приводящего к образованию покмарков.

Таблица 7. Физико-механические свойства донных грунтов на ключевом участке «Копорский залив»

№ пробы	Глубина отбора проб, м	Влажность на границе, д.е		Число пластичности Ip, д.е.	Массовая доля органического	Природная влажность W, д.е.	Плотность грунта ρ, г/см ³	Плотность частиц грунта ρ _s , г/см ³	Плотность	Коэф. Пористости e, д.е.	Коэф. водонасыщенности Sr, д.е.	Показатели консистенции, д.е.		Наименование грунта
		сухого грунта	IL						СВ					
												Pd, г/см ³		
16-коп-4	0-0.15	1,232	0,567	0,665	0,08	3,201	1,16	2,61	0,28	8,434	0,99	3,96		ил глинистый
16-коп-9	0-0.16	1,061	0,588	0,473	0,08	2,816	1,17	2,62	0,31	7,552	0,98	4,71		ил глинистый
16-коп-10	0-0.17	0,492	0,276	0,216	0,03	0,826	1,53	2,71	0,84	2,228	1,00	2,55		ил глинистый

Таблица 8. Содержание газовой составляющей в донных грунтах и придонной воде на ключевом участке «Копорский залив»

№пробы	метан	этан	этилен	пропан	пропилен	i-бутан	n-бутан	бутен-1+ i-бутилен	i-пентан	n-пентан	Гелий	Азот	Кислород	Двуокись углерода	Аргон
	CH ₄	C ₂ H ₆	C ₂ H ₄	C ₃ H ₈	C ₃ H ₆	i-C ₄ H ₁₀	n-C ₄ H ₁₀	C ₄ H ₈ +i-C ₄ H ₈	i-C ₅ H ₁₂	n-C ₅ H ₁₂	He	N ₂	O ₂	CO ₂	Ar
	концентрация, ppm в воздушном зазоре (headspace)										Концентрация, % в воздушном зазоре				
16-КОП-1	37,758	0,030	0,139	0,022	0,045	0,002	0,004	0,000	0,605	0,003	0,005	79,678	18,776	0,430	1,050
16-КОП-3-1	23,680	0,092	0,247	0,059	0,099	0,005	0,017	0,145	1,159	0,002	0,001	79,127	19,249	0,147	1,070
16-КОП-3	18,215	0,070	0,190	0,045	0,076	0,004	0,013	0,112	0,892	0,001	0,005	79,049	19,079	0,187	1,060
16-КОП-4-2 (0-0.06м)	68,109	0,053	0,311	0,145	0,068	0,007	0,011	0,006	0,684	0,006	0,009	79,077	19,167	0,250	1,070
16-КОП-4-2 (0.2-0.3м)	56,038	0,206	0,184	0,149	0,027	0,008	0,024	0,045	1,014	0,001	0,006	79,077	19,577	0,200	1,140
16-КОП-5	10,574	0,095	0,106	0,044	0,093	0,003	0,006	0,071	0,443	0,005	0,006	79,099	19,149	0,197	1,040
16-КОП-6	9,414	0,042	0,094	0,045	0,061	0,003	0,015	0,010	2,036	0,053	0,004	79,080	19,030	0,167	1,020
16-КОП-7	7,846	0,049	0,111	0,013	0,050	0,000	0,007	0,106	0,595	0,022	0,006	79,360	19,080	0,270	1,090
16-КОП-8	13,930	0,049	0,174	0,049	0,060	0,003	0,005	0,025	0,599	0,000	0,005	77,579	20,679	0,470	1,050
16-КОП-9	15,502	0,076	0,220	0,050	0,074	0,000	0,021	0,097	1,012	0,013	0,006	79,439	18,979	0,264	1,109
16-КОП-10	5,994	0,055	0,192	0,045	0,063	0,006	0,009	0,038	0,466	0,000	0,005	80,080	18,588	0,150	1,080
16-КОП-12	6,797	0,071	0,224	0,056	0,076	0,013	0,043	0,123	1,135	0,012	0,005	78,940	19,338	0,457	1,080
16-КОП-14	5,617	0,064	0,380	0,087	0,076	0,000	0,000	0,011	0,967	0,000	0,009	79,600	19,000	0,267	1,109
16-КОП-1Вода	5,628	0,113	0,095	0,150	0,001	0,139	0,093	0,092	2,194	0,089	0,001	79,090	19,120	0,350	1,100
16-КОП-4 Вода	6,351	0,039	0,007	0,022	0,004	0,008	0,012	0,074	0,520	0,000	0,002	78,780	19,330	0,170	1,090
16-КОП-9Вода	6,581	0,022	0,035	0,001	0,008	0,002	0,002	0,000	0,491	0,023	0,007	78,980	19,540	0,107	1,190
16-КОП-10Вода	4,240	0,019	0,014	0,025	0,000	0,000	0,006	0,073	0,527	0,007	0,003	79,357	18,980	0,370	1,040

желтый цвет - покмарки, голубой - вне покмарков

Таблица 9. Результаты гидрохимического анализа придонных вод, отобранных в пределах поля покмарков в Копорском заливе

№ пробы	Содержание элементов (мкг/дм ³)																ppm
	B	Na	Mg	K	Ca	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	As	Sr	Cd	Ba	Pb	U	Hg
16-КОП-8	281	787200	102700	31500	29200	0,17	0,021	0,59	1,35	4,01	0,58	693	0,046	20,3	0,29	0,15	<0.5
16-КОП-4	393	1108300	143000	43600	37600	0,36	0,019	0,56	1,06	0,66	0,81	931	0,034	21,6	0,33	0,053	<0.5
16-КОП-9	307	855800	111300	34200	31200	0,41	0,032	0,85	1,96	2,76	0,77	739	0,032	19,5	0,28	0,056	<0.5
16-КОП-3	316	896400	116300	35800	32500	0,09	0,031	0,71	1,79	2,61	0,54	763	0,065	20,3	0,29	0,1	<0.5
16-КОП-1	407	1159300	150600	46100	40400	0,44	0,033	1,02	1,53	2,37	0,81	956	0,037	20,4	0,31	0,081	<0.5
16-КОП-10	382	1092500	141500	43500	38800	0,2	0,021	0,63	1,18	1,4	0,71	906	0,023	19,5	0,26	0,089	<0.5

Примечание. Концентрация Hg во всех пробах ниже порога обнаружения – 0,5 ppm

Таблица 10. Сопоставление средних медианных концентраций придонной воды в кратерах покмарков и фоновых проб (мкг/дм³)

	B	Na	Mg	K	Ca	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	As	Sr	Cd	Ba	Pb	U
	Фоновые воды															
Среднее	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															
Среднее	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

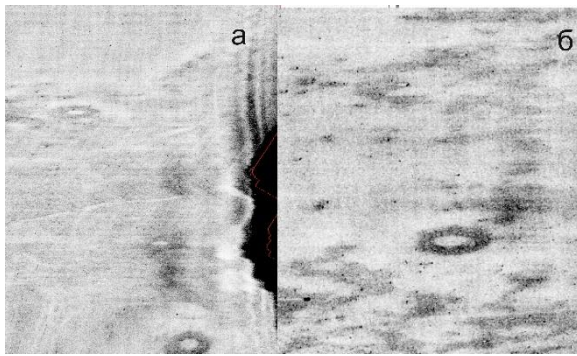


Рис. 80. Фрагменты сонограмм профилей (диапазон 75 м): а – кор05, б – кор06 с покмарками, характеризующимися контрастным проявлением, и, вероятно, активизированными

Можно предположить, что часть покмарков активизирована или недавно была активизирована, в то время как кратеры, перекрытые осадками – отмершие (реликтовые). К сожалению, более точно определить время активации покмарков с использованием имеющихся в наличии методов геолого-геофизических исследований и навигационной привязки невозможно.

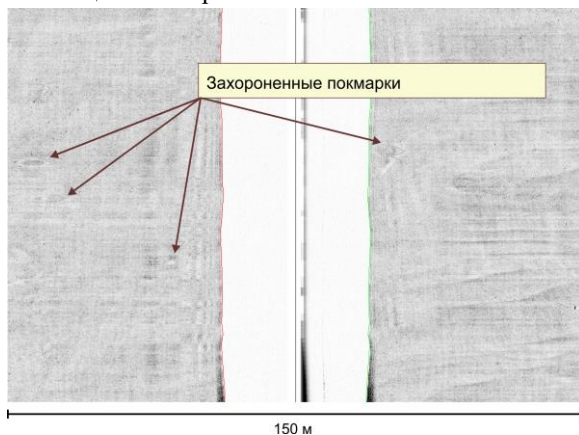


Рис. 81. Перекрытые донными осадками покмарки (профиль ГЛБО кор003)

Выводы по состоянию геологической среды на участке «Копорский залив»

Подтверждено широкое распространение активизированных (контрастных) покмарков в северо-восточной части Копорского залива, что свидетельствует об активных экзогенных процессах (рис. 84). Судя по полученным данным, отсутствует связь образования покмарков с выходами биогенных газов, т.к. на этом участке развиты ледниковые и водно-ледниковые отложения, крайне обедненные органическим веществом. Можно предположить, что покмарки в северо-восточной части Копорского залива обусловлены разгрузкой подземных вод вендских водоносных горизонтов. Обращает на себя

внимание пространственная близость или совмещение поля покмарков с разрывными нарушениями субширотного простирания и оперяющими их зонами трещиноватости, что может способствовать выходу растворов глубинного происхождения. Наличие разновозрастных генераций покмарков, с выделением молодых, зрелых и реликтовых разностей, указывает на пульсационный характер их возникновения. Однако механизм формирования покмарков до конца не выяснен. Неопределенным остается вопрос времени активации процессов, приводящих к образованию покмарков.

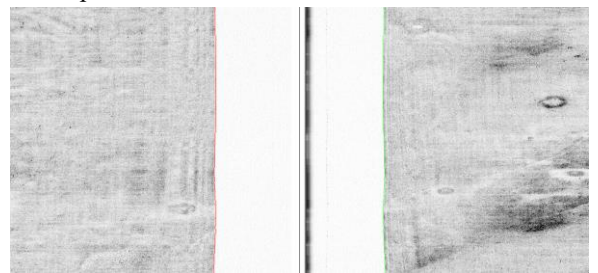


Рис. 82. Фрагмент сонограммы (диапазон 75 м) профиля кор07 с изображением скоплений покмарков различных генераций

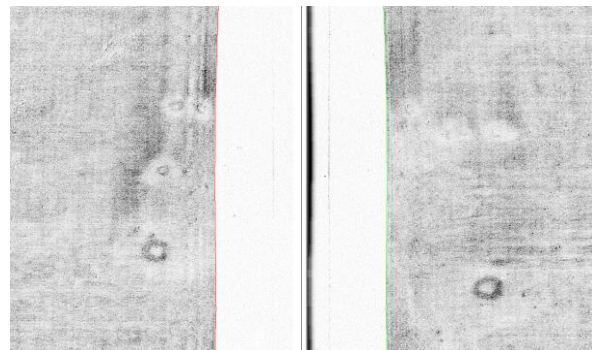


Рис. 83. Фрагмент сонограммы (диапазон 75 м) профиля кор08 с изображением скоплений покмарков различных генераций

В дальнейшем представляется целесообразным 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, а также проведением гидрохимического профилирования в придонном слое воды.

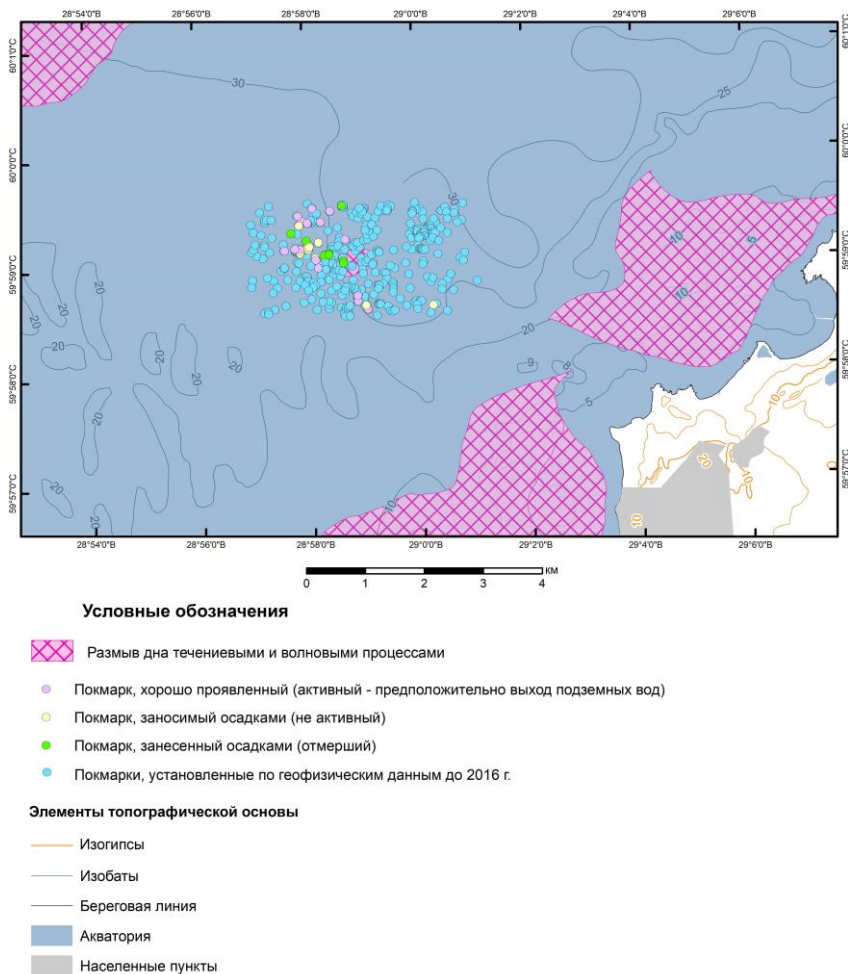


Рис. 84. Карта-схема проявлений ЭГП на участке «Копорский залив»

Ключевой участок «Район острова Гогланд»

Состав наблюдательной сети. Виды наблюдений. Задачами работ на ключевом участке в районе острова Гогланд было выявление зон проявлений газо-флюидной разгрузки. Были выполнены работы по непрерывному сейсмическому профилированию (НСАП) в объеме 93,65 км и работы по гидролокации бокового обзора (ГЛБО) в объеме 51,41 км (ширина обзора – 150 м) (рис. 85). По результатам проведенных геофизических работ были намечены станции донного пробоотбора (25 станций), таким образом, чтобы охарактеризовать зоны развития покмарков, зоны распространения газонасыщенных илов без покмарков и зоны, где в придонном геологическом разрезе не фиксируется значимое содержание газов. Для получения кернов длиной до 2 м для послынного отбора проб (монолитов) с целью изучения изменчивости физических и физико-

механических свойств грунтов по разрезу, а также химического состава грунтов использовалась тяжелая грунтовая прямоточная трубка. Пробы на определение гранулометрического состава, геохимические пробы, пробы на газовую составляющую в грунтах, а также пробы придонной воды отбирались из бокс-корера.

Экзогенные геологические процессы

На профилях НСАП прослеживается довольно сложное строение геологического разреза, в котором выделяются сейсмокомплексы, соотносимые с коренными породами, ледниковыми образованиями и отложениями всех стадий развития Балтийского моря, начиная с деградации ледникового покрова и до настоящего времени (рис. 86, 87).

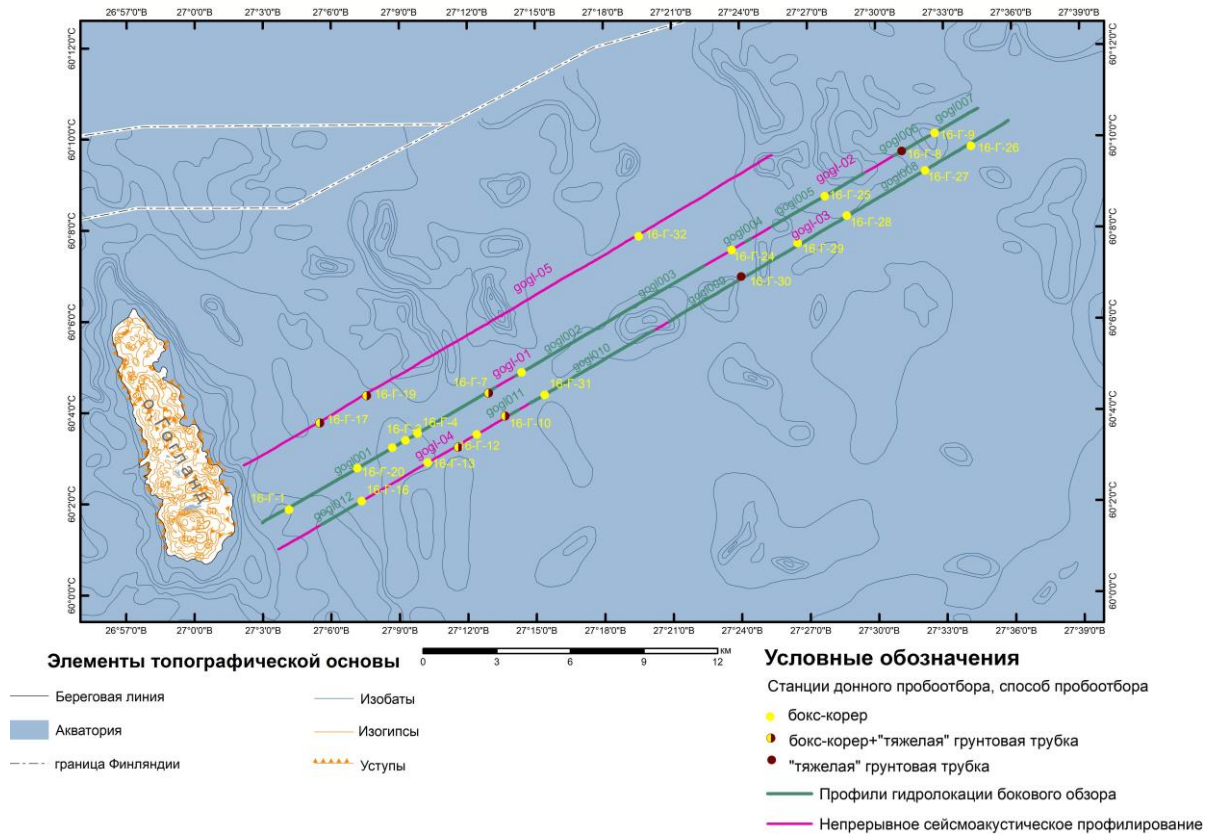


Рис. 85. Карта фактического материала ключевого участка «Район острова Гогланд»

Локально установлены морены, предположительно, двух генераций. Возможно, появление второй морены связано с подвижками ледника. На профилях НСАП выделены зоны развития газонасыщенных осадков, что фиксируется по специфическому рассыпанию акустического сигнала, обусловленному высокой пористостью отложений (рис. 86, 87). В пределах полей развития современных алевропелитовых илов (мощностью до 10 м) зафиксированы проседания грунта (кратеры (?)) диаметром до 100-120 м и относительной глубиной до нескольких метров, предположительно, диагностируемые как покмарки (рис. 88). Эти отрицательные формы рельефа дифференцируются по степени их проявленности на разрезах НСАП. Выделяются хорошо проявленные проседания поверхности дна, которые могут считаться активизированными. К второй категории относятся воронки в той или иной степени погребенные под поверхностными грунтами. В этом случае воронка может быть сглажена или полностью сnivelирована и проявляться только на разрезах НСАП. В единичных случаях удалось выявить аномалию,

обусловленную, по-видимому, высокой концентрацией газа в осадках, где можно прогнозировать выход газов с формированием нового покмарка. На записях ГЛБО в районе о-ва Гогланд лишь изредка можно опознать покмарки (кратеры) (рис. 89). Вероятно, это обусловлено относительным однообразием поверхностных грунтов и неконтрастными бортами воронок, слабо проявленными в рельефе дна (пологие склоны).

Опробованные донные грунты в пределах зоны распространения покмарков по своим физическим и физико-механическим свойствам все относятся к категории глинистых илов. Все пробы грунтов характеризуются крайне высокой природной влажностью, низкой плотностью и очень высоким коэффициентом пористости, а также низкими значениями сопротивления вращательному срезу и удельному сопротивлению пенетрации (табл. 11–13). После извлечения кернов из пробоотборников происходило их немедленное растрескивание и разрушение. Иногда отмечался сильный запах сероводорода.

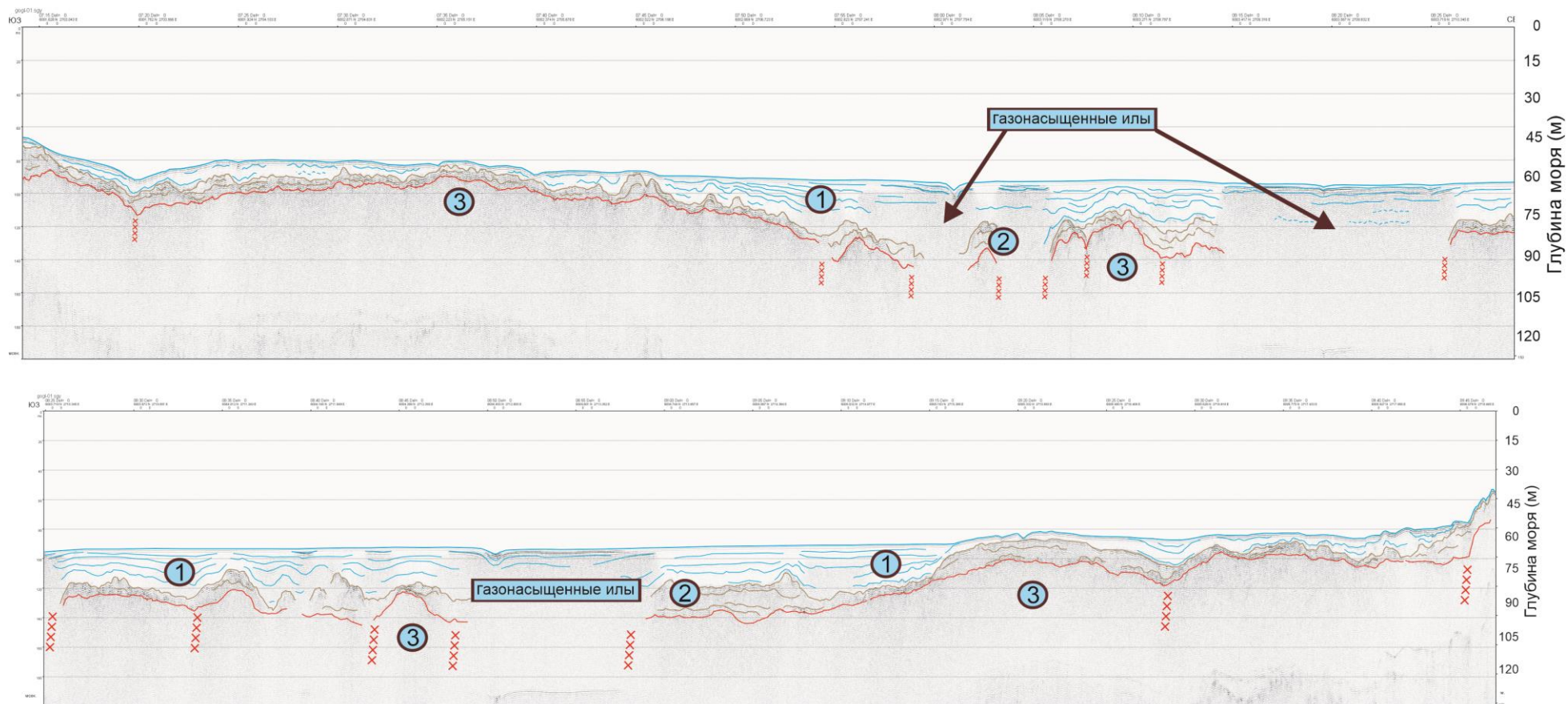


Рис. 86. Профиль НСАП gog101, на котором зафиксированы зоны распространения газонасыщенных глинистых илов: 1 – отложения послеледникового цикла (литориновые–постлиториновые пески, илы; Анцилового озера глины; Балтийского ледникового озера глины); 2 – ледниковые отложения: моренные суглинки и супеси ошастковского (лужского) оледенения; 3 – предположительно породы «граниты рапакиви»

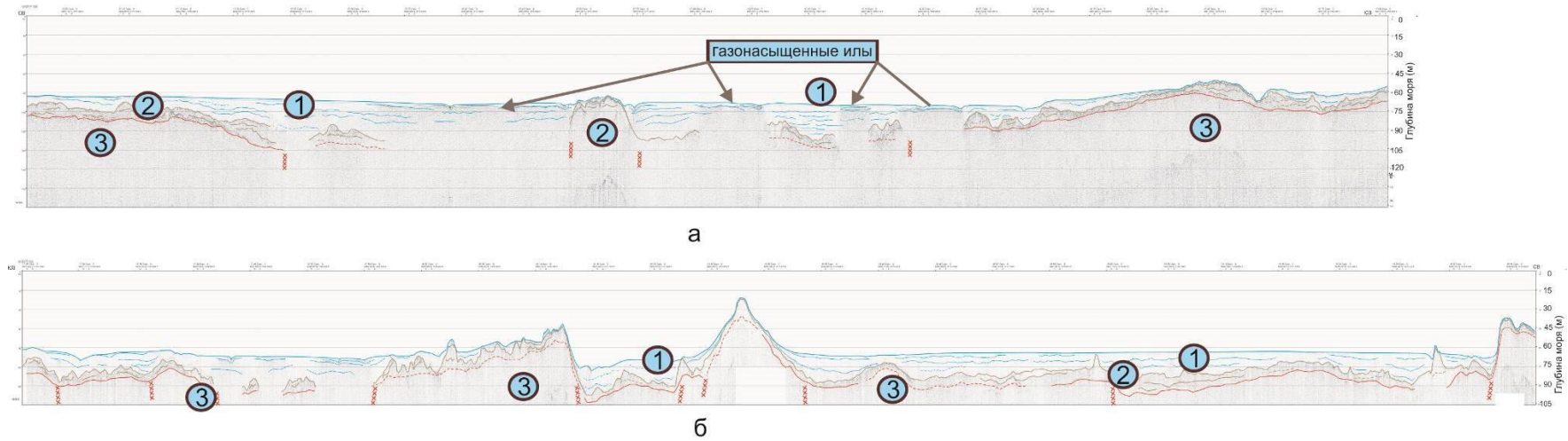


Рис. 87. Профили НСАП gog1-04 (а), на котором зафиксированы зоны распространения газонасыщенных глинистых илов и профиль gog1-05 (б): 1 – отложения последнего ледникового цикла (литориновые–постлиториновые пески, илы; Анцилового озера глины; Балтийского ледникового озера глины); 2 – ледниковые отложения: моренные суглинки и супеси осташковского (лужского) оледенения; 3 – предположительно, породы «граниты рапакиви»

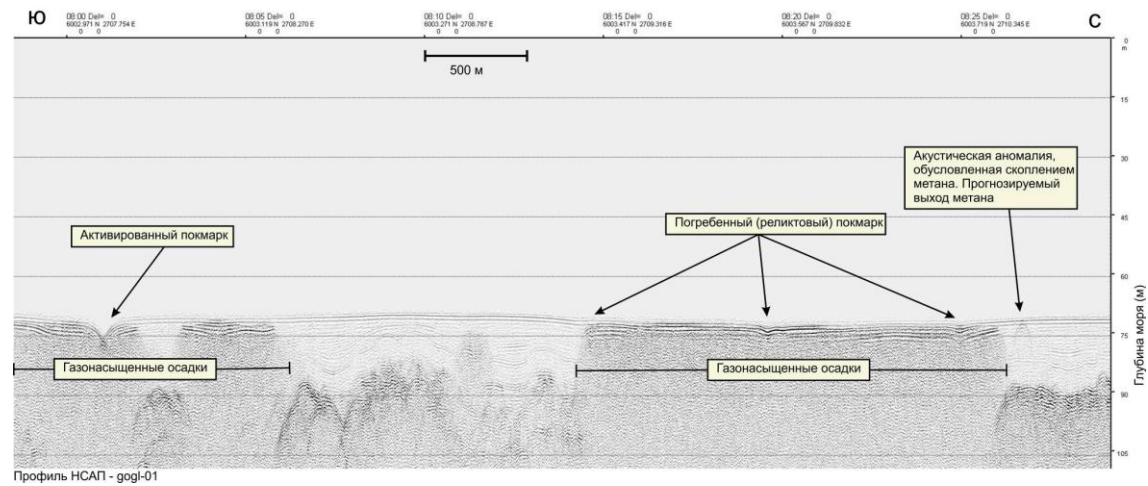


Рис. 88. Предполагаемые поймаки на профиле НСАП gog1-01: активизированные, погребенные и прогнозируемые, расположенные в пределах зоны распространения газонасыщенных глинистых илов

Таблица 11. Результаты определения физико-механических свойств грунтов донных отложений ключевого участка «Район о-ва Гогланд»

№№ п/п	№ станции	Глубина отбора проб, см	Влажность на границе, д.е		Число пластичности I _p , д.е.	массовая доля органического вещества, %	Природная влажность W, д.е.	Плотность грунта ρ, г/см ³	Плотность частиц грунта γ, г/см ³	Плотность сухого грунта Pd, г/см ³	Коэф. пористости e, д.е.	Коэф. водонасыщенности Sr, д.е.	Показатели консистенции, д.е.		Наименование грунта
			текущая W _L	раскатывая W _p									I _L	C _B	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	16-г-24-1	-	1,404	0,773	0,631	0,06	2,955	1,19	2,64	0,30	7,784	1,00	3,46		ил глинистый
2	16-г-29-1	-	1,068	0,547	0,521	0,09	2,372	1,23	2,69	0,36	6,366	1,00	3,50		ил глинистый
3	16-г-29-2	-	1,052	0,546	0,506	0,11	2,438	1,23	2,72	0,36	6,606	1,00	3,74		ил глинистый
4	16-г-28-1	-	0,962	0,548	0,414	0,11	2,332	1,22	2,56	0,37	6,003	1,00	4,31		ил глинистый
5	16-г-27-1	-	1,113	0,517	0,596	0,12	3,044	1,15	2,55	0,28	7,971	0,97	4,24		ил глинистый
6	16-г-26	-	1,358	0,723	0,635	0,13	3,340	1,16	2,54	0,27	8,507	1,00	4,12		ил глинистый
7	16-г-19-2	0-25	1,359	0,604	0,755	0,10	3,528	1,16	2,56	0,26	9,001	1,00	3,87		ил глинистый
8	16-г-19-2	25-50	1,104	0,569	0,535	0,08	2,556	1,20	2,62	0,34	6,764	0,99	3,71		ил глинистый
9	16-г-19-2	50-75	1,204	0,587	0,617	0,09	2,824	1,16	2,64	0,30	7,693	0,97	3,63		ил глинистый
10	16-г-19-2	75-100	1,188	0,610	0,578	0,08	2,518	1,21	2,63	0,34	6,649	1,00	3,30		ил глинистый
11	16-г-19-2	100-125	1,198	0,571	0,627	0,09	2,365	1,22	2,61	0,36	6,207	1,00	2,86		ил глинистый
12	16-г-8-2	0-24	1,227	0,568	0,659	0,09	2,723	1,18	2,61	0,32	7,225	0,98	3,27		ил глинистый
13	16-г-8-2	24-50	1,204	0,653	0,551	0,09	2,660	1,20	2,62	0,33	6,985	1,00	3,64		ил глинистый
14	16-г-8-2	50-76	1,252	0,601	0,651	0,09	2,398	1,21	2,60	0,36	6,301	0,99	2,76		ил глинистый
15	16-г-8-2	76-102	1,270	0,642	0,628	0,09	2,404	1,20	2,58	0,35	6,307	0,98	2,81		ил глинистый
16	16-г-8-2	102-128	1,302	0,743	0,559	0,10	2,384	1,22	2,60	0,36	6,212	1,00	2,94		ил глинистый
17	16-г-8-2	128-152	1,322	0,706	0,616	0,10	2,367	1,20	2,58	0,36	6,245	0,98	2,70		ил глинистый
18	16-г-17-2	0-24	1,470	0,727	0,743	0,13	3,763	1,14	2,52	0,24	9,508	1,00	4,09		ил глинистый
19	16-г-17-2	24-46	1,173	0,683	0,490	0,10	2,826	1,17	2,59	0,31	7,466	0,98	4,37		ил глинистый
20	16-г-17-2	46-69	1,217	0,576	0,641	0,09	2,630	1,17	2,60	0,32	7,054	0,97	3,20		ил глинистый
21	16-г-17-2	69-92	1,248	0,618	0,630	0,09	2,557	1,17	2,62	0,33	6,953	0,96	3,08		ил глинистый
22	16-г-17-2	92-115	1,225	0,623	0,602	0,09	2,455	1,18	2,60	0,34	6,616	0,97	3,04		ил глинистый
23	16-г-17-2	115-138	1,156	0,614	0,542	0,10	2,250	1,22	2,60	0,38	5,932	0,99	3,02		ил глинистый
24	16-г-7-2	0-24	0,961	0,560	0,401	0,09	2,345	1,22	2,61	0,36	6,145	0,99	4,45		ил глинистый
25	16-г-7-2	24-49	1,081	0,591	0,490	0,08	2,547	1,18	2,63	0,33	6,9	0,97	3,99		ил глинистый
26	16-г-7-2	49-74	0,962	0,544	0,418	0,09	2,446	1,20	2,61	0,35	6,486	0,98	4,55		ил глинистый
27	16-г-7-2	74-100	1,172	0,565	0,607	0,08	2,190	1,21	2,62	0,38	5,91	0,97	2,68		ил глинистый
28	16-г-7-2	100-127	1,155	0,613	0,542	0,09	2,107	1,20	2,60	0,39	5,729	0,96	2,76		ил глинистый
29	16-г-7-2	127-151	1,168	0,600	0,568	0,09	2,100	1,21	2,61	0,39	5,677	0,96	2,64		ил глинистый

Продолжение таблицы 11. Результаты определения физико-механических свойств грунтов ключевого участка «Район о-ва Гогланд»

№№ п/п	№ станции	Глубина отбора проб, см	Влажность на границе, д.е		Число пластичности Ip, д.е.	массовая доля органического вещества, %	Природная влажность W, д.е.	Плотность грунта ρ , г/см ³	Плотность частиц грунта ρ_s , г/см ³	Плотность сухого грунта ρ_d , г/см ³	Коэф. пористости e , д.е.	Коэф. водонасыщенности S_r , д.е.	Показатели консистенции, д.е.		Наименование грунта
			текучести WL,	раскатывания Wp									IL	СВ	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	16-г-30-1	0-24	0,978	0,532	0,446	0,07	1,723	1,25	2,65	0,46	4,777	0,96	2,67		ил глинистый
2	16-г-30-1	24-47	1,087	0,553	0,534	0,07	2,355	1,22	2,63	0,36	6,224	0,99	3,37		ил глинистый
3	16-г-30-1	47-70	1,014	0,635	0,379	0,08	2,251	1,22	2,59	0,38	5,912	0,99	4,26		ил глинистый
4	16-г-30-1	70-93	0,984	0,584	0,400	0,07	2,143	1,24	2,64	0,39	5,681	0,99	3,90		ил глинистый
5	16-г-30-1	93-116	0,783	0,465	0,318	0,05	1,647	1,30	2,69	0,49	4,475	0,99	3,72		ил глинистый
6	16-г-30-1	116-139	0,707	0,416	0,291	0,04	1,602	1,31	2,74	0,50	4,45	0,99	4,08		ил глинистый
7	16-г-30-1	139-164	0,704	0,443	0,261	0,04	1,657	1,31	2,74	0,49	4,553	1,00	4,65		ил глинистый
8	16-г-30-1	164-188	0,677	0,413	0,264	0,05	1,631	1,31	2,72	0,50	4,471	0,99	4,61		ил глинистый
9	16-г-10-1	0-24	1,529	0,819	0,710	0,14	3,850	1,14	2,50	0,24	9,636	1,00	4,27		ил глинистый
10	16-г-10-1	24-46	1,367	0,680	0,687	0,12	3,624	1,14	2,54	0,25	9,303	0,99	4,29		ил глинистый
11	16-г-10-1	46-69	1,164	0,567	0,597	0,09	2,472	1,21	2,57	0,35	6,372	1,00	3,19		ил глинистый
12	16-г-10-1	69-92	1,165	0,540	0,625	0,08	2,345	1,23	2,63	0,37	6,141	1,00	2,89		ил глинистый
13	16-г-10-1	92-114	1,082	0,619	0,463	0,08	2,280	1,22	2,62	0,37	6,055	0,99	3,59		ил глинистый
14	16-г-10-1	114-138	1,179	0,576	0,603	0,08	2,216	1,23	2,62	0,38	5,85	0,99	2,72		ил глинистый
15	16-г-12-1	0-24	1,137	0,673	0,464	0,10	2,925	1,14	2,59	0,29	7,907	0,96	4,85		ил глинистый
16	16-г-12-1	24-48	1,157	0,621	0,536	0,08	2,467	1,22	2,63	0,35	6,477	1,00	3,44		ил глинистый
17	16-г-12-1	48-72	1,076	0,548	0,528	0,08	2,223	1,23	2,63	0,38	5,881	0,99	3,17		ил глинистый
18	16-г-12-1	72-97	1,114	0,593	0,521	0,08	2,138	1,21	2,63	0,39	5,815	0,97	2,97		ил глинистый
19	16-г-12-1	97-121	1,110	0,537	0,573	0,08	2,002	1,24	2,62	0,41	5,338	0,98	2,56		ил глинистый
20	16-г-12-1	121-145	1,133	0,593	0,540	0,09	2,046	1,21	2,61	0,40	5,563	0,96	2,69		ил глинистый

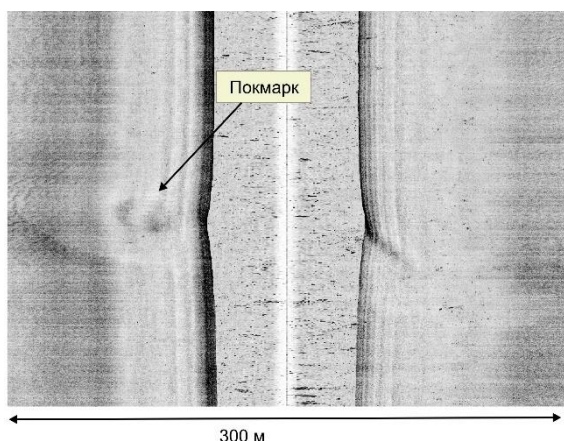


Рис. 89. Покмарк в районе о-ва Гогланд на записи ГЛБО (2016 г.)

Таблица 12. Сопrotивление вращательному срезу грунтов, отобранных в районе о-ва Гогланд

№ станции	Интервал, см	кПа
16-Г-7-1	2-7	0,02
16-Г-7-1	9-14	0,07
16-Г-7-1	16-21	0,07
16-Г-7-1	27-32	0,11
16-Г-7-1	36-41	0,11
16-Г-7-1	45-50	0,17
16-Г-7-1	54-59	0,12
16-Г-7-1	63-68	0,17
16-Г-7-1	69-74	0,18
16-Г-7-1	78-83	0,22
16-Г-7-1	86-91	0,22
16-Г-7-1	96-101	0,18
16-Г-8-1	1-6	0,12
16-Г-8-1	7-12	0,15
16-Г-8-1	13-18	0,15
16-Г-8-1	19-24	0,15
16-Г-8-1	25-29	0,15
16-Г-8-1	32-37	0,17
16-Г-8-1	39-44	0,17
16-Г-8-1	45-50	0,17
16-Г-8-1	52-57	0,2
16-Г-8-1	59-64	0,21
16-Г-8-1	65-70	0,21
16-Г-8-1	71-76	0,23
16-Г-8-1	77-82	0,2
16-Г-8-1	83-88	0,18
16-Г-8-1	90-95	0,18
16-Г-10-2	13-18	0,07
16-Г-10-2	20-25	0,08
16-Г-10-2	26-31	0,1
16-Г-10-2	34-39	0,11
16-Г-10-2	40-45	0,15
16-Г-10-2	46-51	0,17
16-Г-10-2	52-57	0,18
16-Г-10-2	58-63	0,19
16-Г-10-2	64-69	0,15

№ станции	Интервал, см	кПа
16-Г-10-2	70-75	0,17
16-Г-10-2	77-82	0,17
16-Г-10-2	83-88	0,2
16-Г-10-2	89-94	0,2
16-Г-10-2	95-100	0,2
16-Г-10-2	101-106	0,19
16-Г-17-1	5-10	0,11
16-Г-17-1	14-19	0,12
16-Г-17-1	25-30	0,12
16-Г-17-1	32-37	0,12
16-Г-17-1	42-47	0,11
16-Г-17-1	52-57	0,14
16-Г-17-1	62-67	0,18
16-Г-17-1	72-77	0,22
16-Г-17-1	82-87	0,2
16-Г-17-1	91-96	0,24
16-Г-19-1	2-7	0,1
16-Г-19-1	8-3	0,09
16-Г-19-1	14-19	0,12
16-Г-19-1	20-25	0,17
16-Г-19-1	26-31	0,23
16-Г-19-1	33-38	0,14
16-Г-19-1	40-45	0,17
16-Г-19-1	46-51	0,17
16-Г-19-1	53-58	0,18
16-Г-19-1	60-65	0,19
16-Г-19-1	67-72	0,2
16-Г-19-1	74-79	0,22
16-Г-19-1	80-85	0,2
16-Г-19-1	87-92	0,2
16-Г-19-1	94-99	0,22
16-Г-19-1	101-106	0,22
16-Г-19-1	107-112	0,22

Выделение газовой составляющей из донных осадков и определение ее химического состава проводилось в ФГБУ «ВНИИОкеангеология». Изотопный состав углерода ($\delta^{13}C$) выражается в единицах смещения соотношения изотопов $^{13}C/^{12}C$ по сравнению с международным стандартом PDB, где $\delta^{13}C\text{‰} = \{[(^{13}C/^{12}C) \text{ образец} : (^{13}C/^{12}C) \text{ стандарт}] - 1\} \times 1000$.

По литературным данным [Прасолов, 1990; Хефс, 1983], известно, что изменение изотопного состава углерода достаточно жестко обусловлено различием в генезисе метана. Так, близповерхностный «биогеенный» метан, образующийся за счет жизнедеятельности микробов в современных условиях, является наиболее изотопно легким. Величина $\delta^{13}C$ в этом случае варьирует в интервале ($-90 \text{‰} \div -60 \text{‰}$).

Таблица 13. Удельное сопротивление пенетрации грунтов, отобранных в покмарках о-ва Гоглан

16-Г-7-1		16-Г-8-1		16-Г-10-2	
Интервал, см	кг/см ²	Интервал, см	кПа	Интервал, см	кПа
8	1,39	2	1,39	2	<1
15	1,39	7	2,17	7	<1
24	0,96	13	2,17	13	<1
33	1,39	18	2,68	18	<1
40	1,39	25	3,85	25	<1
50	3,00	31	3,85	31	<1
60	2,17	38	8,67	38	<1
68	3,39	44	7,16	45	1,50
74	5,13	51	7,16	52	3,39
83	8,67	57	5,13	58	4,42
93	6,02	64	6,02	64	4,42
102	1,39	70	6,02	79	1,79
		77	8,67	83	2,40
		82	8,67	89	2,68
		89	7,16	95	6,02
		95	8,67	102	7,16
				106	7,16
Г-17-1		16-Г-19-1			
Интервал, см	кПа	Интервал, см	кПа	Интервал, см	кПа
6	<1	7	1,28	23	13,54
14	<1	14	1,39	29	8,67
22	2,17	20	1,39	35	8,67
31	1,79	26	3,85	42	6,02
39	2,17	32	2,68	48	7,16
49	1,64	39	2,17	54	17,69
60	2,68	46	3,85	59	24,08
70	8,67	53	8,67	66	34,67
80	8,67	59	7,16	72	13,54
89	8,67	66	6,02	77	8,67
98	6,02	73	6,02	84	6,02
		79	7,16	99	3,39
		86	8,67	105	7,16
		93	8,67	111	4,42
		99	8,67	116	8,67
		106	7,16	122	7,16
		112	8,668	129	10,70
				135	6,02
				142	4,42
				148	5,13
				154	6,02
				160	7,16

Концентрация метана в донных отложениях, слагающих предположительные кратеры покмарков, расположенных в районе о-ва Гогланд, как правило, крайне высока и колеблется в интервале от 5 до 37%. На фоновых станциях 16-Г-9, 16-Г-26, 16-Г-32, расположенных вне кратеров покмарков, концентрация метана составляла менее 0,06 %. Результаты лабораторного определения метана и его гомологов приведены в таблице 14. Обращает на себя внимание достаточно заметная дифференциация содержаний метана по глубине

опробования. Четкой зависимости изменения концентрации метана с глубиной опробуемой части разреза не установлено. Максимальные для станции опробования концентрации метана могут быть приурочены как к верхней части разреза донных отложений, так и к его нижней части (рис. 90). Столь высокие концентрации метана в донных отложениях, слагающих покмарки, подтверждают предположение, что они образованы за счет выходов метана.

Таблица 14. Содержание метана и его гомологов в донных осадках и придонной воде на ключевом участке «район о-ва Гогланд»

№пробы	метан	этан	этилен	пропан	пропилен	i-бутан	n-бутан	буген-1+ i-бутилен	i-пентан	n-пентан
	CH ₄	C ₂ H ₆	C ₂ H ₄	C ₃ H ₈	C ₃ H ₆	i-C ₄ H ₁₀	n-C ₄ H ₁₀	C ₄ H ₈ +i-C ₄ H ₁₀	i-C ₅ H ₁₂	n-C ₅ H ₁₂
концентрация, ppm в воздушном зазоре (headspace)										
16-Г-7-3В	374132,972	0,000	0,235	1,223	0,108	0,030	0,458	0,097	0,925	0,000
16-Г-7-1Н	219619,302	1,607	0,257	0,505	0,000	0,143	0,261	0,159	0,238	0,067
16-Г-8-1В	53618,981	0,740	0,611	0,786	0,162	0,200	0,517	0,103	2,426	0,117
16-Г-8-1Н	202618,341	1,827	0,245	0,770	0,172	0,145	0,795	0,168	0,304	0,000
16-Г-9-1В	652,728	0,051	0,273	0,091	0,041	0,024	0,093	0,056	2,238	0,059
16-Г-10-3В	334329,757	1,596	0,270	1,164	0,129	0,059	0,654	0,161	0,721	0,039
16-Г-10-1Н	113360,949	1,663	0,225	0,444	0,079	0,011	0,316	0,231	1,785	0,000
16-Г-12-2В	5701,776	1,387	0,190	0,579	0,085	0,039	0,081	0,069	0,546	0,073
16-Г-12-1Н	205445,429	0,000	0,407	0,445	0,158	0,056	0,360	0,097	0,410	0,019
16-Г-17-3В	88746,834	1,567	0,195	0,927	0,122	0,038	0,223	0,162	1,992	0,023
16-Г-17-2Н	141595,521	1,544	0,257	0,458	0,123	0,015	0,275	0,181	0,393	0,000
16-Г-19-3В	137789,959	1,607	0,301	0,832	0,020	0,078	0,363	0,068	0,758	0,031
16-Г-19-1Н	117627,677	1,454	0,187	0,362	0,056	0,028	0,266	0,009	1,075	0,002
16-Г-26В	543,395	0,088	0,371	0,163	0,111	0,046	0,076	0,072	0,807	0,016
16-Г-32-1В	32,635	0,148	1,010	0,112	0,070	0,003	0,004	0,044	0,609	0,000
16-Г-9Вода	9,654	0,103	0,072	0,109	0,011	0,189	0,341	0,063	2,384	0,200
16-Г-12-2Вода	14,203	0,006	0,032	0,023	0,016	0,041	0,085	0,547	1,300	0,249
16-Г-32-1Вода	2,283	0,010	0,027	0,003	0,002	0,000	0,002	0,010	2,146	0,000

Следует отметить, что вероятно, выход метана на поверхность происходит не постоянно, а в пульсирующем режиме.

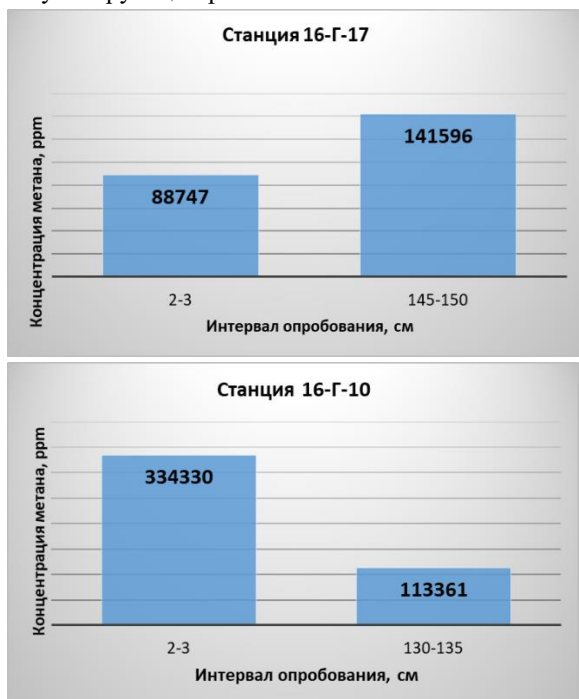


Рис. 90. Распределение концентраций метана по разрезу

Газовые залежи характеризуются более тяжелым изотопным составом метана. Величина $\delta^{13}\text{C}$ для различных типов месторождений, как правило, варьирует в интервале ($-55\text{‰} \div -35\text{‰}$),

однако известны мелкие залежи с изотопно легким метаном, где параметр $\delta^{13}\text{C}$ может достигать величины -60‰ . Изотопный состав высокотемпературного глубинного метана меняется в интервале $\delta^{13}\text{C}$ ($-25\text{‰} \div -15\text{‰}$), то есть по изотопному составу он является наиболее тяжелым. Величина $\delta^{13}\text{C}$ морских карбонатов ≈ 0 . Одна из разновидностей таких карбонатов принята за эталон (стандарт), $\delta^{13}\text{C} = 0$.

Изотопный состав углерода ($\delta^{13}\text{C}$) в пробах донных отложений, слагающих тела покмарков, расположенных в районе о. Гогланд, представлен в таблице 15. Изотопный состав метана покмарков ($\delta^{13}\text{C}$) для большинства изученных станций находится в интервале значений (от $-60,99$ до $-76,7$), что, согласно приведенным в начале раздела литературным данным, позволяет говорить о его низкотемпературном, малоглубинном «биогенном» генезисе. Исключением является изотопный состав С, зафиксированный на станции 16-Г-10. Величина ($\delta^{13}\text{C}$) в данном случае составляет $-55,9$, в забое скважины и $-58,3$ в верхнем слое осадков. Такой изотопный состав углерода близок к составу, характерному для газовых залежей с изотопно легким метаном, а с другой стороны, близок к граничным значениям, характерным для метана современной «биогенной» генерации. Таким образом, можно предположить, что в данном случае происхождение метана обусловлено обоими

источниками генерации.

По литературным данным, 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]. В нашем случае Σ гомологов метана в пробах осадков колеблется от 2×10^{-4} % до $5,6 \times 10^{-4}$ % (табл. 16). В пробах придонной воды отобранных в пределах кратеров покмарков содержание Σ гомологов метана составляет $2,3 \times 10^{-4}$ % (табл. 17), что приблизительно соответствует их содержанию на фоновых станциях.

Соотношение O_2/N_2 (табл. 18) в пробах донных отложений на фоновых станциях 16-Г-9, 16-Г-26, 16-Г-32, расположенных вне кратеров покмарков, приблизительно соответствует их соотношению в воздухе. В пробах, отобранных в донных отложениях, слагающих тела покмарков,

соотношение O_2/N_2 заметно отличается от стандартного соотношения в воздухе. В данном случае наблюдается значительный дефицит кислорода.

Таблица 15. Изотопный состав углерода в пробах донных грунтов, слагающих покмарки

	№ пробы	Содержание метана (ppm)	$\delta^{13}C$, ‰
1	16-Г-8-1В	53618,98	-70,46
2	16-Г-8-1Н	202618,34	-70,47
3	16-Г-17-3В	88746,83	-72,801
4	16-Г-17-2Н	141595,52	-69,176
5	16-Г-10-3В	334329,76	-58,341
6	16-Г-10-1Н	113360,95	-55,961
8	16-Г-19-3В	137789,96	-60,99
7	16-Г-19-1Н	117627,68	-76,775
9	16-Г-7-3В	374132,97	-69,184
10	16-Г-7-1Н	219619,3	-69,331
11	16-Г-12-1Н	205445,43	-71,036

Таблица 16. Содержание метана, суммы его гомологов и неуглеводородных газов в пробах донных грунтов р-на о-ва Гогланд

№ п/п	№ пробы	CH ₄	Σ гомологов	Концентрации в воздушном зазоре				
				He	N ₂	O ₂	CO ₂	Ar
		ppm		%				
1	16-Г-7-3В	374133,0	3,08	0,01	60,36	0,37	0,14	1,06
2	16-Г-7-1Н	219619,3	3,24	0,01	67,60	8,13	0,2397	1,04
3	16-Г-8-1В	53619,0	5,66	0,01	76,40	16,89	0,2067	1,02
4	16-Г-8-1Н	202618,3	4,43	0,01	69,38	8,93	0,197	1,09
5	16-Г-9-1В	652,7	2,93	0,00	78,05	19,32	0,36	1,09
6	16-Г-10-3В	334329,8	4,80	0,00	61,96	3,17	0,19	1,087
7	16-Г-10-1Н	113360,9	4,75	0,01	73,33	14,02	0,167	1,04
8	16-Г-12-2В	5701,8	3,05	0,01	79,16	18,79	0,187	1,06
9	16-Г-12-1Н	205445,4	1,95	0,00	69,02	8,41	0,791	1,06
10	16-Г-17-3В	88746,8	5,25	0,00	74,64	14,75	0,15	1,149
11	16-Г-17-2Н	141595,5	3,25	0,00	72,48	12,05	0,167	1,009
12	16-Г-19-1Н	117627,7	3,44	0,00	73,20	13,30	0,403	1,09
13	16-Г-19-3В	137790,0	4,06	0,00	71,66	12,95	0,167	1,09
14	16-Г-26В	543,4	1,75	0,00	79,06	19,05	0,187	1,07
15	16-Г-32-1В	32,6	2,00	0,01	79,18	19,44	0,157	1

Таблица 17. Содержание метана, суммы его гомологов и неуглеводородных газов в пробах придонной воды р-на о-ва Гогланд

№ п/п	№ пробы	CH ₄	Σ гомологов	Концентрации в воздушном зазоре				
				He	N ₂	O ₂	CO ₂	Ar
		ppm		%				
1	16-Г-12-2	14,2	2,30	0,01	79,11	19,00	0,207	1,05
2	16-Г-32-1	2,3	2,20	0,01	79,78	18,34	0,167	1,08
3	16-Г-9	9,7	3,47	0,00	78,87	19,78	0,1047	1,09

Такое отличие, вероятно, обусловлено протекающими в осадках микробиологическими процессами, а именно – анаэробным окислением метана.

Содержание метана в пробах придонной воды, отобранных в пределах предполагаемых кратеров покмарков, выше, чем в пробах, отобранных на фоновых станциях (табл. 17) и в целом выше, чем в придонных водах всего Финского залива.

Таблица 18. Соотношение O_2/N_2 в пробах донных отложений и воды (район о. Гогланд)

№ пробы	N_2	O_2	O_2/N_2
16-Г-7-1Н	67,60	8,13	0,120
16-Г-7-3В	60,36	0,37	0,006
16-Г-8-1В	76,40	16,89	0,221
16-Г-9-1В	78,05	19,32	0,247
16-Г-12-1Н	69,02	8,41	0,122
16-Г-26В	79,06	19,05	0,241
16-Г-32-1В	79,18	19,44	0,246
16-Г-8-1Н	69,38	8,93	0,129
16-Г-10-1Н	73,33	14,02	0,191
16-Г-10-3В	61,96	3,17	0,051
16-Г-12-2В	79,16	18,79	0,237
16-Г-17-2Н	72,48	12,05	0,166
16-Г-17-3В	74,64	14,75	0,198
16-Г-19-1Н	73,20	13,30	0,182
16-Г-19-3В	71,66	12,95	0,181
16-Г-12-2Вода	79,11	19,00	0,240
16-Г-32-1Вода	79,78	18,34	0,230
16-Г-9Вода	78,87	19,78	0,251

Литохимия донных отложений района о-ва Гогланд

Средние медианные концентрации химических элементов в донных отложениях, слагающих тела покмарков, представлены в таблице 19, а средние медианные концентрации химических элементов в донных отложениях в пробах донных отложений фоновых станций, расположенных вне кратеров покмарков, в таблице 20.

Сопоставляя выборки, характеризующие распределение химических элементов в грунтах, слагающих предположительные покмарки и выборки из грунтов, вне покмарков, т. е. характеризующие их фоновое распределение элементов, с помощью метода математической статистики «Сравнение по средним дисперсиям» можно отметить, что значимое различие между выборками (при уровне значимости $Q = 5\%$) отмечено только для SiO_2 , Co, Sc, Ce, Mo, Pb, Zn, Cd. Высокие концентрации Co, Mo, Pb, Zn, Cd,

характерны для «фоновых» станций, а SiO_2 для станций, расположенных в пределах предполагаемых покмарков. Но в целом можно констатировать, что принципиальных различий между химическим составом донных грунтов, слагающих покмарки, и донных грунтов, расположенных вне кратеров, не установлено.

С целью комплексного изучения выявленных кратероподобных структур (покмарков) были проведены гидрохимические исследования. Отбор проб придонной воды проводился непосредственно в пределах «кратера» покмарка. Для определения фоновых значений были отобраны пробы придонной воды в границах поля покмарков, вне расположения «кратеров». Результаты аналитических исследований приведены в таблице 20. По своему химическому составу придонные воды, отобранные в кратерах покмарков, существенно не отличаются от придонных вод, отобранных вне кратеров (аномальные концентрации на фоновой станции 16-Г-26 по ряду причин в данном случае не рассматриваются).

Результаты литохимических и гидрохимических работ являются косвенным подтверждением сделанного ранее заключения, что образование покмарков в районе о. Гогланд обусловлено, в первую очередь, выходами метана (выходом газов, состоящих преимущественно из метана).

Выводы по состоянию геологической среды на участке «Район острова Гогланд»

На участке «Район о-ва Гогланд» в пределах полей распространения газонасыщенных грунтов, по данным профилирования НСАП, выявлены многочисленные воронки, предположительно, интерпретируемые как покмарки диаметром до 100–200 м с глубиной воронки до 3,5 м. На профилях ГЛБО классические формы покмарков не просматриваются. Первые результаты газогеохимических исследований свидетельствуют в пользу гипотезы «современного» биогенного источника метана, однако вопрос остается дискуссионным и требует дополнительных исследований. Механизм формирования покмарков, равно как и динамика процесса также остается неопределенным.

Карта-схема проявления опасных ЭГП в пределах ключевого участка «Остров Гогланд» показана на рис. 91.

Таблица 19. Статистические параметры распределения химических элементов в пробах грунтов, слагающих покламки в районе о. Гогланд

	Кол-во обр.	Среднее	Медиана	Минимум	Максимум	Ст.откл.
SiO ₂ %	16	41,1	40,5	29,0	49,0	5,7
Al ₂ O ₃ %	16	10,3	11,0	3,9	15,0	3,2
MgO %	16	2,1	2,4	0,7	3,0	0,6
CaO %	16	0,8	0,8	0,4	1,2	0,2
Fe ₂ O ₃ %	16	4,5	4,7	1,6	6,5	1,5
K ₂ O %	16	2,8	3,0	1,0	4,0	0,9
Na ₂ O %	16	0,9	1,0	0,3	1,4	0,4
P ₂ O ₅ %	16	0,2	0,2	0,1	0,4	0,1
Sr %	16	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Ba %	16	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
TiO ₂ %	16	0,5	0,5	0,2	0,7	0,1
MnO %	16	0,3	0,1	0,1	1,2	0,4
V ppm	16	64,0	66,0	31,0	87,0	14,9
Cr ppm	16	52,4	51,5	14,0	94,0	17,2
Co ppm	16	10,9	10,0	7,0	16,0	2,7
Ni ppm	16	34,3	34,0	14,0	48,0	10,3
Zr ppm	16	71,5	71,0	36,0	110,0	18,5
Nb ppm	16	11,0	11,0	4,0	15,0	2,5
Sc ppm	16	12,0	11,5	4,7	19,0	4,5
Ce ppm	16	73,9	79,5	28,0	120,0	27,8
La ppm	16	55,3	57,5	13,0	82,0	19,2
Y ppm	16	17,1	16,0	9,2	24,0	4,6
Yb ppm	16	1,6	1,6	0,8	2,6	0,5
Be ppm	16	2,5	2,6	1,1	3,9	0,8
Li ppm	16	34,3	24,0	5,0	65,0	20,0
Mo ppm	16	3,1	2,6	1,3	7,1	1,6
Cu ppm	16	18,6	18,5	11,0	28,0	4,8
Pb ppm	16	7,8	7,3	1,0	13,0	3,8
Zn ppm	16	31,9	32,0	18,0	50,0	8,0
Ag ppm	16	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0
Ga ppm	16	9,1	8,8	2,9	14,0	3,8
B ppm	16	52,7	54,0	33,0	68,0	10,5
Cd ppm	16	0,8	0,2	0,1	2,3	0,8

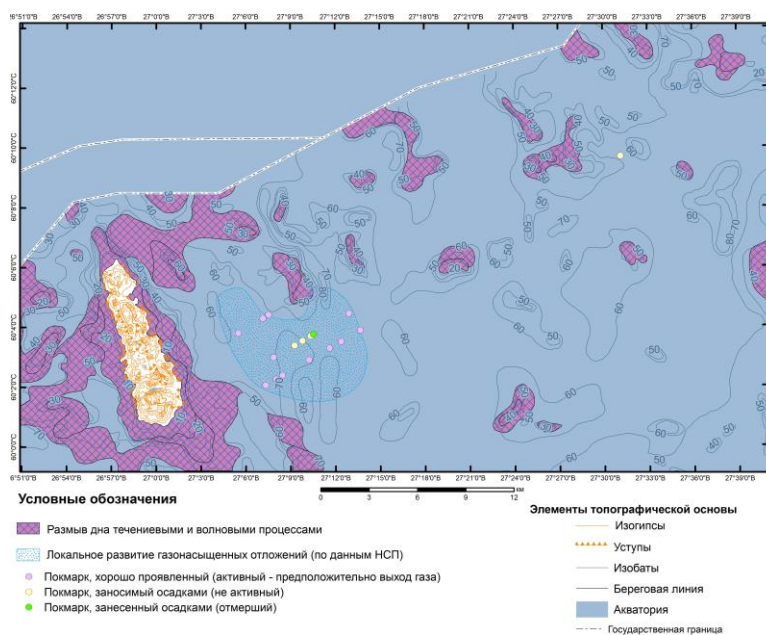


Рис. 91. Карта-схема проявления опасных ЭГП на участке район о-ва Гогланд

Таблица 20. Статистические параметры распределения химических элементов в пробах грунтов, отобранных вне воронок покмарков

	Кол-во обр.	Среднее	Медиана	Минимум	Максим.	Ст.откл.
SiO ₂ %	4	36,0	34,0	31,0	43,0	6,2
Al ₂ O ₃ %	4	9,9	10,0	8,8	11,0	1,1
MgO %	4	1,8	1,9	1,4	2,0	0,3
CaO %	4	0,8	0,7	0,7	1,0	0,2
Fe ₂ O ₃ %	4	4,2	3,7	3,6	5,2	0,9
K ₂ O %	4	2,4	2,6	2,1	2,6	0,3
Na ₂ O %	4	0,7	0,8	0,7	0,8	0,1
P ₂ O ₅ %	4	0,3	0,3	0,1	0,4	0,2
Sr %	4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Ba %	4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
TiO ₂ %	4	0,4	0,4	0,4	0,5	0,0
MnO %	4	0,3	0,3	0,3	0,4	0,1
V ppm	4	64,3	58,0	58,0	77,0	11,0
Cr ppm	4	51,3	49,0	34,0	71,0	18,6
Co ppm	4	12,7	13,0	11,0	14,0	1,5
Ni ppm	4	38,7	37,0	34,0	45,0	5,7
Zr ppm	4	88,0	78,0	56,0	130,0	38,0
Nb ppm	4	11,3	11,0	9,8	13,0	1,6
Sc ppm	4	9,9	8,8	8,8	12,0	1,8
Ce ppm	4	59,3	54,0	54,0	70,0	9,2
La ppm	4	49,3	51,0	45,0	52,0	3,8
Y ppm	4	15,3	15,0	14,0	17,0	1,5
Yb ppm	4	1,5	1,4	1,4	1,7	0,2
Be ppm	4	2,4	2,2	2,2	2,8	0,3
Li ppm	4	27,3	25,0	21,0	36,0	7,8
Mo ppm	4	6,8	6,8	4,9	8,6	1,9
Cu ppm	4	19,0	21,0	14,0	22,0	4,4
Pb ppm	4	13,2	16,0	7,7	16,0	4,8
Zn ppm	4	38,7	44,0	22,0	50,0	14,7
Ag ppm	4	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0
Ga ppm	4	7,6	7,9	5,0	9,9	2,5
B ppm	4	50,7	47,0	40,0	65,0	12,9
Cd ppm	4	1,8	1,9	1,4	2,2	0,4

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



Геолого-геофизические работы были выполнены на трех ключевых участках (рис. 92). На двух прибрежных ключевых участках: «Основание Куршской косы» и «Северное побережье Самбийского п-ва» работы включали профилирование методами ГЛБО, а также донный пробоотбор с использованием бокс-корера и подводное фотовидеопрофилирование.

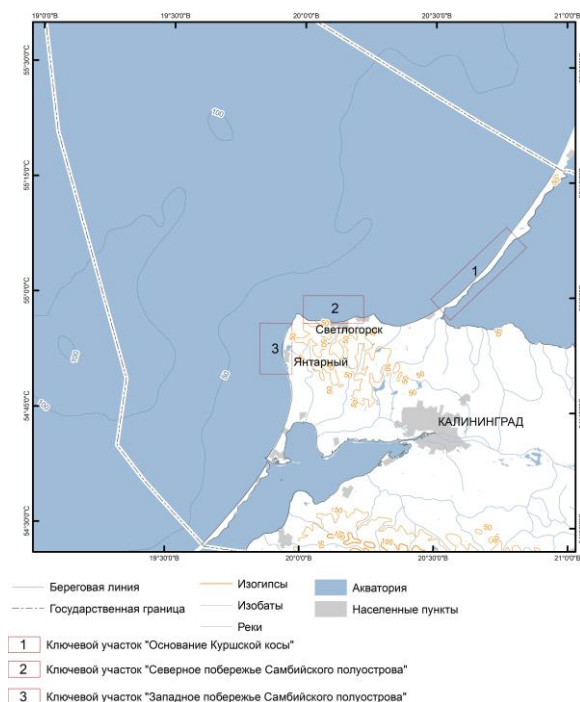


Рис. 92. Расположение ключевых участков района работ «Российский сектор юго-восточной части Балтийского моря, примыкающий к Калининградской области»

На ключевом участке «Западное побережье Самбийского полуострова» в акватории были выполнены только геофизические работы (ГЛБО). Любые работы, предполагающие непосредственный контакт с донной поверхностью, в частности донный пробоотбор, в 2016 г. были запрещены ФСБ и ВМФ. Всего было выполнено 80 км ГЛБО, поверхностный донный пробоотбор был осуществлен на 25 станции. Морские работы выполнялись с борта ИС «Норд-3» (рис. 93).

Работы берегового отряда на полигоне «Калининградский шельф» были сосредоточены на ключевых участках «Северное побережье Самбийского полуострова», «Западное побережье Самбийского полуострова» и «Куршская коса». Выполнялись вдольбереговые маршруты (50 км),

нивелировки по опорным профилям, отбор поверхностных отложений пляжей по ранее отработанной методике, наблюдения за интенсивностью экзогенных геологических процессов и техногенеза в береговой зоне, отработка инженерно-геологических опорных разрезов.



Рис. 93. Исследовательское судно «Норд-3»

Ключевой участок «Северное побережье Самбийского полуострова»

Состав наблюдательной сети. Виды наблюдений

В задачи геолого-геофизических исследований субаквальной части ключевого участка входило уточнение динамики изменения конфигурации площадей размыва морского дна, а также выявление и уточнение положения эрозионных ложбин стока, что важно для прогноза развития побережья в условиях дефицита наносов. Для этого были выполнены 4 профиля ГЛБО общей протяженностью 20 км (рис. 94), субпараллельно береговой линии, которые отчасти повторяют ранее проведенные здесь съемки ГЛБО в режиме мониторинга. Для интерпретации съемки ГЛБО, а также определения физико-механических свойств грунтов выполнен отбор грунтов на 15 станциях. Для изучения сложного распределения донных осадков по данным ГЛБО профилирования проведено телепрофилирование на 6 станциях (рис. 94).

Береговые маршруты выполнялись как с использованием автотранспорта, так и с применением моторной лодки. В пределах ключевого участка было выполнено изучение инженерно-геологического разреза по двум профилям в районе пос. Рыбное (мощность разреза 16,5 м) и пос. Филино (мощность разреза 25 м).

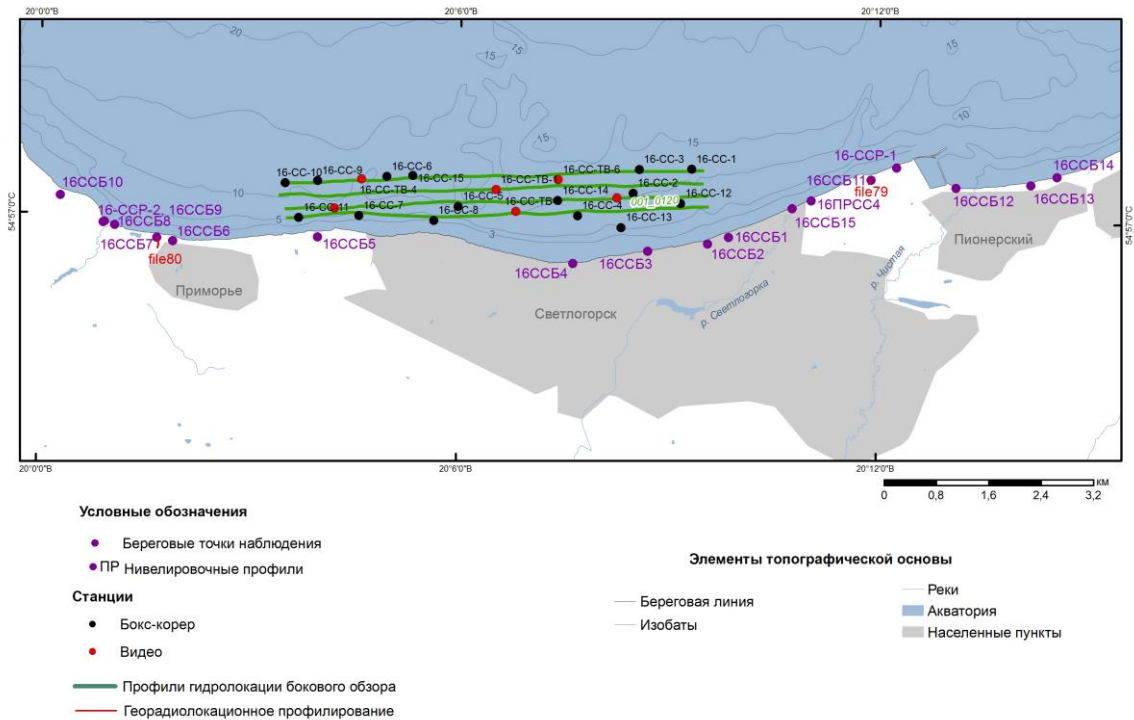


Рис. 94. Карта фактического материала полевых работ на ключевом участке «Северное побережье Самбийского полуострова» в 2016 г

В ходе работ выполнялось описание геологического строения берегового уступа и пляжа, сопровождающееся отбором образцов отложений, измерением физико-механических свойств грунтов, включая пенетрационные свойства и сопротивление вращательному срезу, фиксацией элементов залегания пород и крутизны склонов обнажений.

Для прослеживания геологического строения склона выполнялось георадиолокационное профилирование (рис. 94) на участках развития оползневых процессов общей протяженностью 0,26 пог. км. На 79-м профиле отражений не обнаружено – это связано с высоким поглощением сигнала преимущественно глинистой верхней части разреза. На 80-м профиле прослеживаются субгоризонтальные слабые отражения, что говорит об однородной структуре разреза, сложенного преимущественно супесями. На берегу к востоку от г. Светлогорск проводилось повторное нивелировочное профилирование.

Наземное лазерное сканирование в береговой зоне г. Светлогорск было проведено на протяжении 533 м (рис. 95). Измерения проводились на наветренном склоне клифа, от уреза моря до бровки. На исследуемом участке были произведены измерения с 11 точек стояния сканера. Расположение проекции облака точек представлено на рисунке 95.

Экзогенные геологические процессы

Ключевой участок «Северное побережье Самбийского полуострова» характеризуется высокой интенсивностью абразионных и обвальнo-осыпных процессов. В сочетании с высокой концентрацией в непосредственной близости от береговой полосы рекреационной инфраструктуры (в том числе, курорты федерального значения в г. Светлогорск) это обуславливает повышенную степень геологической опасности. Объектами ведения наблюдений 2016 г. были обвальные, осыпные, оползневые, абразионно-гравитационные процессы в береговой зоне, гравитационно-абразионные и гравитационно-эрозионные процессы на дне.

Обследования показали, что активные абразионно-гравитационные уступы высотой до 40 м сложены рыхлыми четвертичными, неогеновыми и палеогеновыми породами. Развитию активных гравитационных процессов способствует наличие зон разгрузки подземных вод. Прослеживается четкая связь интенсивности экзогенных геологических процессов на берегу и подводном береговом склоне.



■ Облако точек сканирования 2016 г.

Рис. 95. Схема расположения участка вблизи г. Светлогорск

По результатам обследований выделено шесть участков наиболее активного развития опасных ЭПП, в том числе угрожающих жилым постройкам, сооружениям рекреационной и транспортной инфраструктуры.

В результате берегового инженерно-геологического обследования были уточнены границы развития активных склоновых процессов, произведено уточнение положения поверхностей скольжения крупных оползней, проведено ранжирование их по степени активности. Были выделены участки берега, где оползневые процессы в настоящее время не связаны с абразионными процессами и развиваются в результате ослабления прочности пород за счет переувлажнения атмосферными осадками и подземными водами (рис. 96).

В подобных условиях образуется оползень блокового типа со сдвигом пород вниз по склону без значительной деформации геологического строения оползшего блока. Цирк оползня имеет диаметр в несколько сотен метров (рис. 96в). Подобные глубокие оползни на берегах Самбийского п-ова в настоящее время не активны и существуют на протяжении более 100 лет, что устанавливается по анализу топографических карт масштаба 1:25 000 начала XX в. На отдельных участках побережья обнаженная поверхность скольжения, расположенная выше тела оползня, характеризуется активным высачиванием грунтовых вод и образованием вторичных обвално-осыпных процессов в верхней части берегового уступа (рис. 96б).

Между м.Таран и пос. Фирино выделяется обширный оползневой цирк, в современном

абразионно-оползневом уступе активно проявлены локальные оползни и овражная эрозия. Развитие гравитационных процессов провоцируется абразией. Скорость отступления уступа на ряде участков в период с 2002 до 2012 г. достигает 2 м/год. В западной части Филинской бухты (т.н. 16-ССБ-8) – активные осыпные процессы с оползанием деревьев по склону. Опасные ЭПП угрожают сооружениям базы отдыха Балтийского флота (аварийный участок длиной 150 м, скорость отступления уступа 0,8 м/год с 2002 по 2012 г., 1,5 м/год с 2007 по 2012 г., расстояние до ближайшего объекта на 2013 г. – 9,5 м). В восточной части пос. Приморье происходят активные осыпные процессы.

В районе пос. Фирино было выполнено изучение инженерно-геологического разреза (мощность разреза 25 м). В ходе работ выполнялось описание геологического строения берегового уступа и пляжа, сопровождающиеся отбором образцов отложений, измерением физико-механических свойств грунтов, включая пенетрационные свойства и сопротивление вращательному срезу, фиксацией элементов залегания пород и крутизны склонов обнажений (рис. 97).

Нижняя часть уступа в Филинской бухте сложена цементированными железненными песчаниками фации «крант» мощностью до 8 м (рис. 98). Выше разрезы абразионно-гравитационных уступов надстраиваются кварцево-глауконитовыми песками пальвеской свиты олигоцена, перекрывающимися отложениями неогена.



Рис. 96. Оползни к востоку от м. Таран: *а* – пример глубокого оползня; *б* – развитие вторичных склоновых процессов в верхней части берегового уступа; *в* – оконтуривание поверхностей скольжения оползней



Рис. 97. Изучение инженерно-геологического разреза: *а* – измерение мощности слоев; *б* – отбор монолитов грунта для измерения физико-механических свойств

Ожелезненные песчаники фации «крант» по гранулометрическому составу относятся к

пескам средней крупности (пески крупно-среднезернистые, содержание фракции 0,25–0,5 мм – 55 %, фракции 0,5–1,0 мм – 20–24 %). Песчаники сцементированы, что определяет крутые углы склона (близкие к 80°). Выше расположена пачка рыхлых крупнозернистых песков, к которой приурочена осыпная часть склона (уклон около 30°). Верхняя часть разреза сложена пластичными супесями. В гранулометрическом спектре преобладают средне- и мелкозернистые пески, осадок плохо сортирован (вес модальной фракции не превышает 24 %), характеризуется одномодальными распределениями, количество частиц менее 0,05 мм составляет от 9 до 24 % (рис. 99).

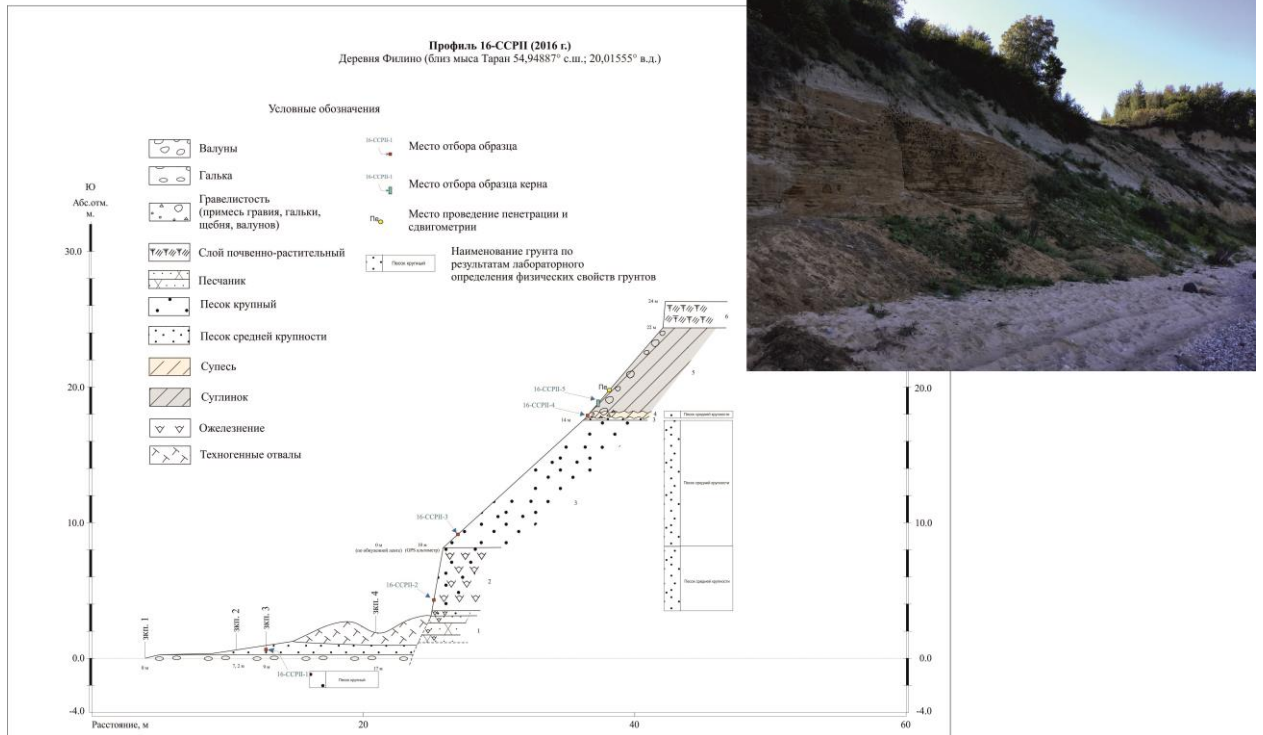


Рис. 98. Инженерно-геологический разрез в пос.Филино (16ССР-II)

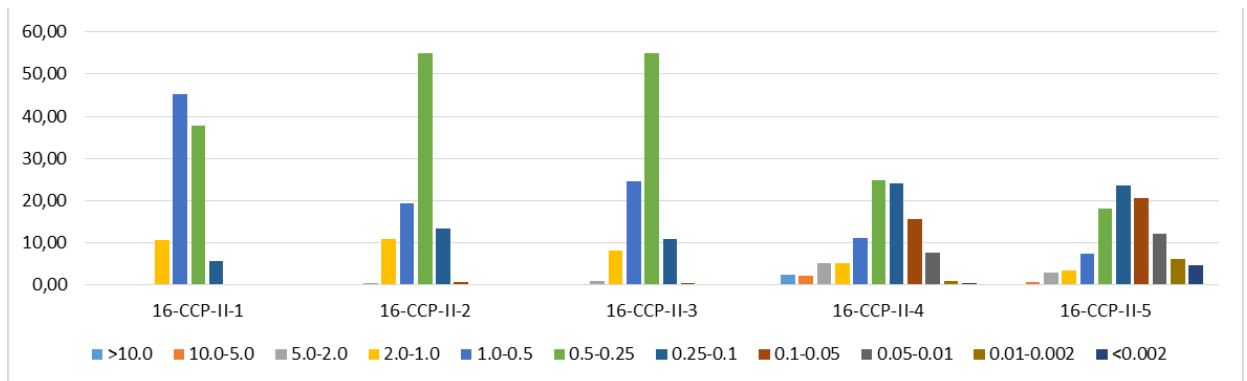


Рис. 99. Гистограммы гранулометрических распределений образцов абразионно-осыпного уступа в пос. Филино (разрез 16ССР-II)

Результаты определения физических свойств грунтов, выполненные в специализированной лаборатории ОАО «ЛенМорНИИПроект» (в соответствии с ГОСТ 5180-2015) показали, что влажность грунтов на границе текучести составляет 0,165, на границе раскатывания – 0,136. Влажность (природная) 15,6 %, плотность грунта 2,16 г/см³ (табл. 21, 22). Отложения пляжевой ступени представлены крупными песками (пески средне-крупнозернистые, содержание частиц 0,5–1,0 мм – 45,15 %, частиц 0,25–0,5 мм – 37,73 %). На морском побережье выделены участки активного проявления склоновых процессов, в результате переувлажнения атмосферными осадками и грунтовыми водами,

высачивающимися по водоупорным суглинистым горизонтам и формирующим на склонах поверхностные оплывины. В результате сползания грунта происходит деградация береговой террасы, с расположенными на ней объектами инфраструктуры и постепенное отступление бровки уступа.

Таблица 21. Результаты определений физических свойств монолитов грунтов, отобранных в разрезах и на побережье Калининградской области

№№ п/п	№№ геологич. выработок	Глубина отбора проб, м	Влажность на границе, д.е.		Число пластичности Ip, д.е.	Массовая доля органического	Природная влажность W, д.е.	Плотность грунта ρ , г/см ³	Плотность частиц грунта ρ_s , г/см ³	Плотность сухого грунта ρ_d , г/см ³	Коэф. пористости e , д.е.	Коэф. водонасыщенности S_r , д.е.	Показатели консистенции, д.е.		Наименование грунта
			текучести WL,	раскатывания Wp									IL	СВ	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	16-ЗСБ-14	-	0,163	0,120	0,043	0,01	0,092	2,20	2,67	2,01	0,327	0,75	-0,65		супесь твердая с прослоями песка
2	16-ЗСБ-15	-	0,180	0,119	0,061	0,01	0,118	2,25	2,68	2,01	0,331	0,95	-0,02	-0,12	супесь твердая
3	16-ССР-I-2	-	0,304	0,225	0,079	0,03	0,220	2,00	2,70	1,64	0,648	0,92	-0,06	-0,16	суглинок твердый
4	16-ССР-I-4	-				0,01	0,153	2,05	2,67	1,78	0,502	0,81			песок пылеватый
5	16-ССР-I-7	-	0,326	0,248	0,078	0,04	0,253	1,96	2,71	1,56	0,735	0,93	0,06	-0,08	суглинок полутвердый
6	16-ССР-II-5	-	0,165	0,136	0,029	0,01	0,156	2,16	2,68	1,87	0,432	0,97	0,69		супесь пластичная
7	16-ССР-III-2	-	0,203	0,130	0,073	0,01	0,158	2,15	2,70	1,86	0,452	0,94	0,38	0,19	суглинок тугопластичный
8	16-ССР-III-3	-	0,199	0,145	0,054	0,01	0,157	2,16	2,68	1,87	0,434	0,97	0,22	0,07	супесь пластичная
9	16-ССР-IV-5	-	0,510	0,394	0,116	0,10	0,300	1,78	2,65	1,37	0,938	0,85	-0,81		суглинок твердый
10	16-ССР-IV-6	-	0,520	0,387	0,133	0,06	0,277	1,90	2,61	1,49	0,756	0,96	-0,83	-0,09	суглинок

Таблица 22. Результаты определений прочности грунтов методом одноплоскостного среза (по ГОСТ 12248-2010)

Наименование грунта	№№ геологич. выработок	Глубина отбора проб, м	Угол внутреннего трения ϕ , °	Удельное сцепление c , Мпа	K или НК	Значения t (МПа) при нормальных давлениях P (МПа)												
						0,0125	0,025	0,05	0,075	0,1	0,125	0,15	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	
16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	
супесь твердая с прослоями песка	16-ЗСБ-14	-																
супесь твердая	16-ЗСБ-15	-	24	0,051	Н					0,097			0,138	0,186				
суглинок твердый	16-ССР-I-2	-	22	0,076	Н					0,116			0,156	0,196				
песок пылеватый	16-ССР-I-4	-																
суглинок полутвердый	16-ССР-I-7	-	19	0,045	Н					0,079			0,112	0,146				
супесь пластичная	16-ССР-II-5	-																
суглинок тугопластичный	16-ССР-III-2	-	15	0,022	Н			0,036		0,046		0,062						
супесь пластичная	16-ССР-III-3	-	23	0,037	Н					0,081		0,102	0,124					
суглинок твердый	16-ССР-IV-5	-																
суглинок	16-ССР-IV-6	-	21	0,073	Н					0,114			0,145	0,189				

Попадающие в волноприбойную зону отложения активно перерабатываются морем. Расположенные на отдельных участках пляжа берегозащитные сооружения в значительной мере устарели и не выполняют своей функции (рис. 100). Наиболее активно указанные процессы проявлены на протяженном участке береговой зоны между пос. Лесное и западной частью пос. Отрадное, а также от восточной части пос. Отрадное до г. Светлогорска.



Рис. 100. Развитие поверхностных склоновых процессов (оплывин) на морском берегу в районе г. Светлогорск

На одном из наиболее интенсивно поверженных гравитационным процессам участков береговой зоны в г. Светлогорск, от уреза моря до бровки было выполнено лазерное сканирование (рис. 101). Участок характеризуется крутыми и высокими склонами со следами активных эрозионных процессов, фрагментарным наличием растительного покрова, кустарниковой и древесной растительности. Пляж на участке узкий, песчаный, местами отсутствует. Вдоль всего участка измерений вдоль подножия клифа располагаются удерживающие габионные конструкции. Анализ результатов сканирования исследуемого участка позволил выявить ряд морфометрических характеристик (табл. 23).



Рис. 101. Насыпной вал и траншея на участке проводимых исследований (а). Для сравнения приведена фотография 2012 г. (б)

Таблица 23. Основные морфометрические характеристики пляжа и клифа на участке в районе г. Светлогорск

Морфометрический показатель	Миним. значения, м	Макс. значения, м
Ширина пляжа	< 1	18,8
Высота клифа (до бровки) (абс. отм.)	32,2	49,5

Анализ результатов лазерного сканирования исследуемого участка показало, что клиф фрагментарно активен – с проявлением склоновых процессов. Наиболее крутые участки склона (углы 60–90°) со свежими зеркалами скольжения расположены в его верхней части (рис. 102).

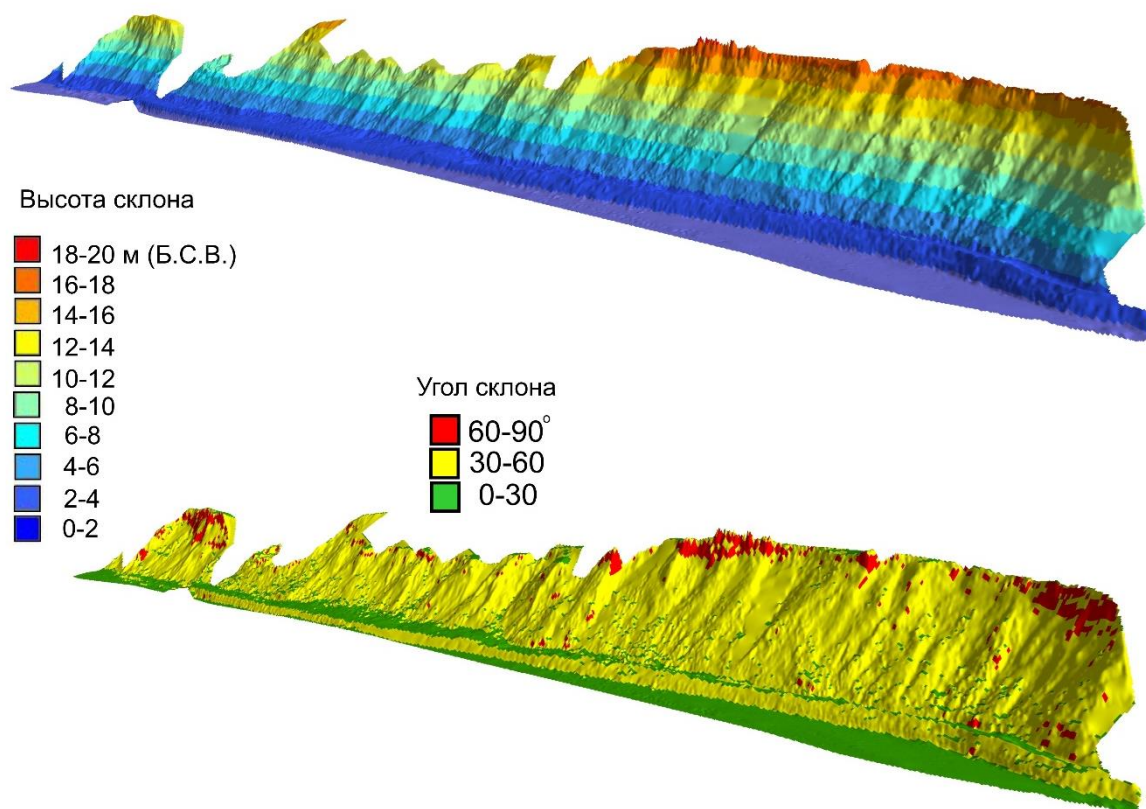


Рис. 102. Рельеф и углы оползневого склона в г.Светлогорск

В г. Светлогорске на участках побережья с высокой степенью активности гравитационных процессов и с высокой рекреационной ценностью в настоящее время начата программа берегозащитных мероприятий, включающая закрепление берегового откоса с целью предотвращения развития склоновых процессов и укрепление подножья склона (рис. 103). В ходе производства строительных работ подрядной организацией была осуществлена выемка грунта и формирование траншеи на вершине габионной стенки, с использованием грунта для формирования вала, с целью защиты отдыхающих от аварийных ситуаций на площадке строительства. Вал и траншея наблюдаются на протяжении 220 м исследуемого участка. Однако следует отметить, что комплекс мер по берегозащите должен включать создание искусственных пляжей, выступающих волногасящим барьером на подходе к укрепленному склону, в ином случае рекреационная ценность побережья будет сведена к минимуму, а постоянное разрушение берегозащитных сооружений в штормовые периоды потребует значительных средств на его восстановление.

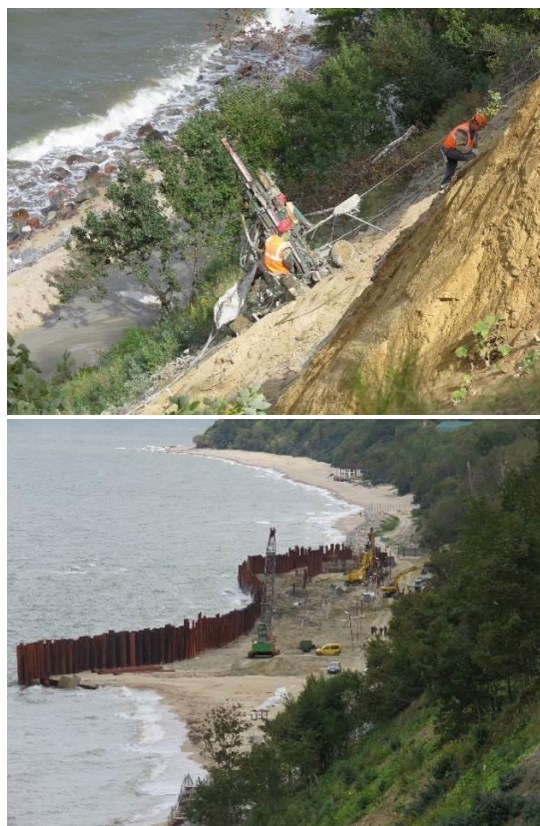


Рис. 103. Ведение работ по закреплению оползневого склона и укреплению его подножья в районе г. Светлогорск

К востоку от г. Светлогорск в 2016 г. проводилось повторное нивелировочное профилирование с целью определения динамики трансформации пляжа (рис. 104). Наблюдения выявили незначительные изменения за трехлетний период. Форма профиля и мощность пляжевых отложений демонстрируют слабую сезонную изменчивость без отчетливого тренда развития процессов.

Изучение инженерно-геологического разреза было также выполнено в районе пос. Рыбное. Геологический разрез здесь характеризуется сложным строением, сформирован, вероятно, вод воздействием гляциотектоники. Мощность толщи 16,5 м, уступ

расположен в склоне заброшенного карьера, склоны к востоку и западу от него задернованы, современному абразионному воздействию не подвергается (рис. 105).

В верхней части разреза выделяются переслаивающиеся пачки супесей и суглинков (полутвердых) (рис. 105). Супеси по гранулометрическому составу представлены пылеватыми песками (содержание песчаной фракции 0,05–2,0 мм – 84–88 %), суглинки содержат 81 % частиц размером менее 0,05 мм (содержание глинистых частиц 10 %) (рис. 106). Результаты определения физических свойств, прочности грунтов и гранулометрического состава приведены в таблицах 21–22.

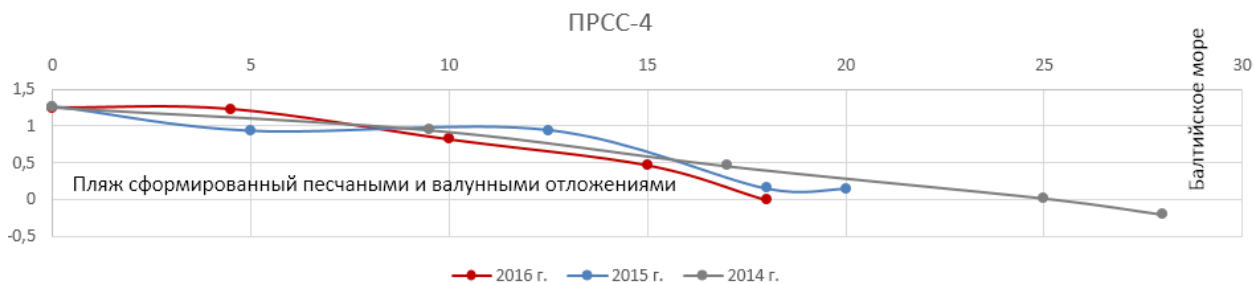


Рис. 104. Изменение поперечного профиля пляжа к востоку от г. Светлогорск (база БФУ им. И. Канта)

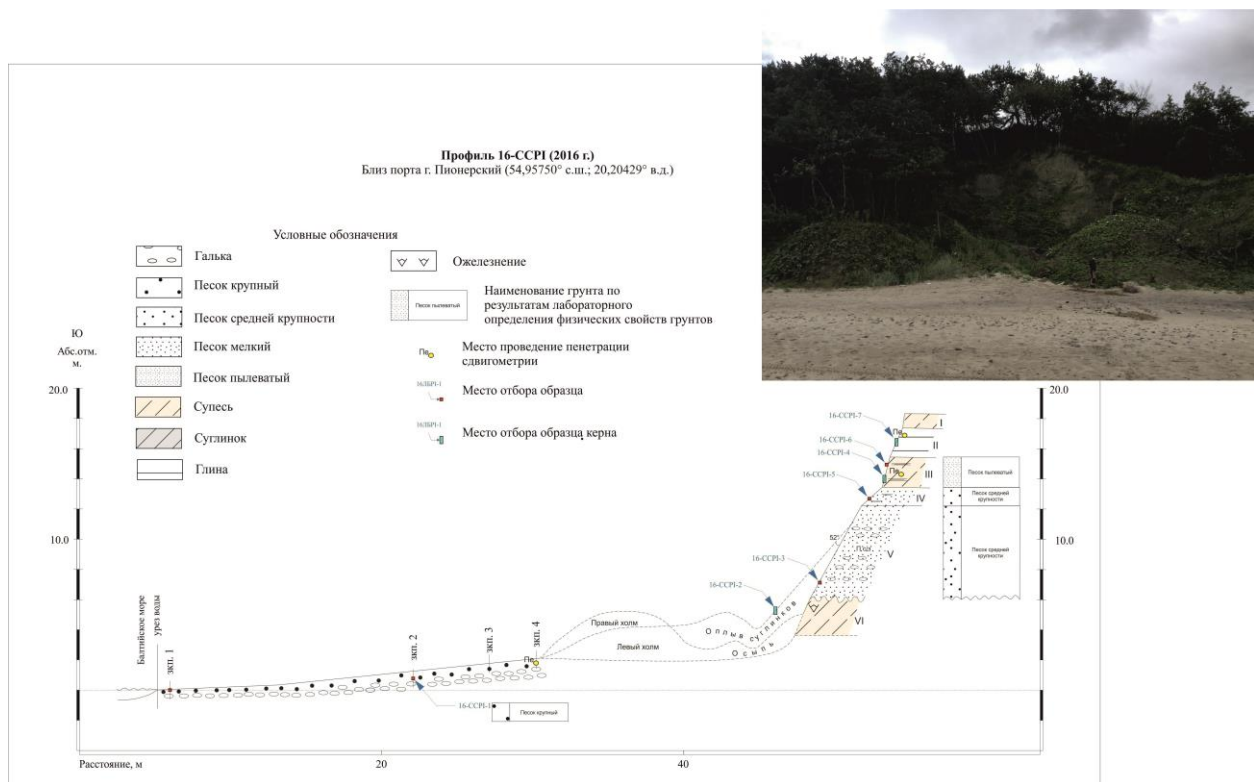


Рис. 105. Осыпной уступ в поселке Рыбное (разрез 16 ССР-I)

Результаты определения физических свойств грунтов, выполненные в соответствии с ГОСТ 5180-2015, показали, что в пачках супесей

влажность (природная) составляет 15,3%, плотность грунта 2,05 г/см³, плотность частиц грунта – 2,67 г/см³, плотность сухого грунта

1,78 г/см³, коэффициент пористости 0,502, коэффициент водонасыщенности – 0,81. Влажность суглинков на границе текучести составляет 0,326, на границе раскатывания – 0,248. Влажность (природная) 25,3 %, плотность грунта 1,96 г/см³, плотность частиц грунта – 2,71 г/см³, плотность сухого грунта 1,56 г/см³, коэффициент пористости 0,735, коэффициент водонасыщенности – 0,93.

Ниже залегают пачки, сложенные рыхлыми среднезернистыми песками (вес фракции 0,25–0,5 мм – 48–55 %), и характеризующиеся активным проявлением осыпных процессов и более пологими углами склонов. В нижней части разреза зафиксированы оплывины, представленные твердыми суглинками (влажность

на границе текучести составляет 0,304, на границе раскатывания – 0,225, природная влажность 22,0 %, плотность грунта 2,00 г/см³, плотность частиц грунта – 2,70 г/см³, плотность сухого грунта 1,64 г/см³, коэффициент пористости 0,648, коэффициент водонасыщенности – 0,92).

На рис. 107 показаны скорости отступления абразионного уступа по результатам многолетних наблюдений ВСЕГЕИ и АО ИО РАН.

В результате проведения ГЛБО были уточнены площади распределения типов донных грунтов и ооконтурены площади распространения грубообломочного материала, маркирующие зоны активного размыва морского дна (рис. 108, 109), а также уточнена конфигурация этих зон и их изменений вдоль побережья Светлогорской бухты

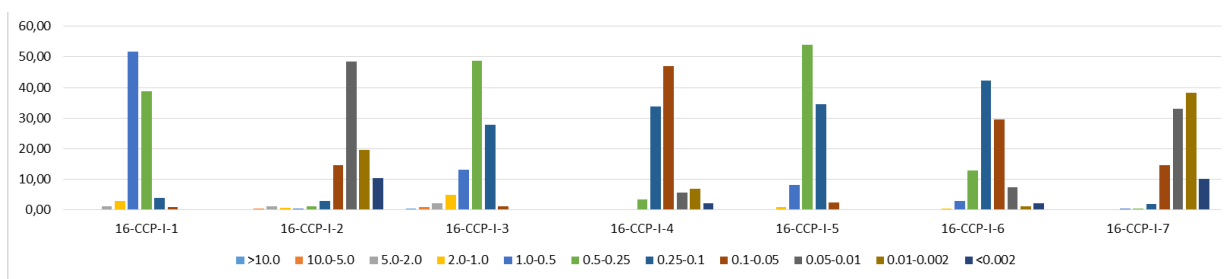


Рис. 106. Гистограммы гранулометрических распределений образцов отложений осыпного склона в пос.Рыбное (разрез 16 ССР-I)

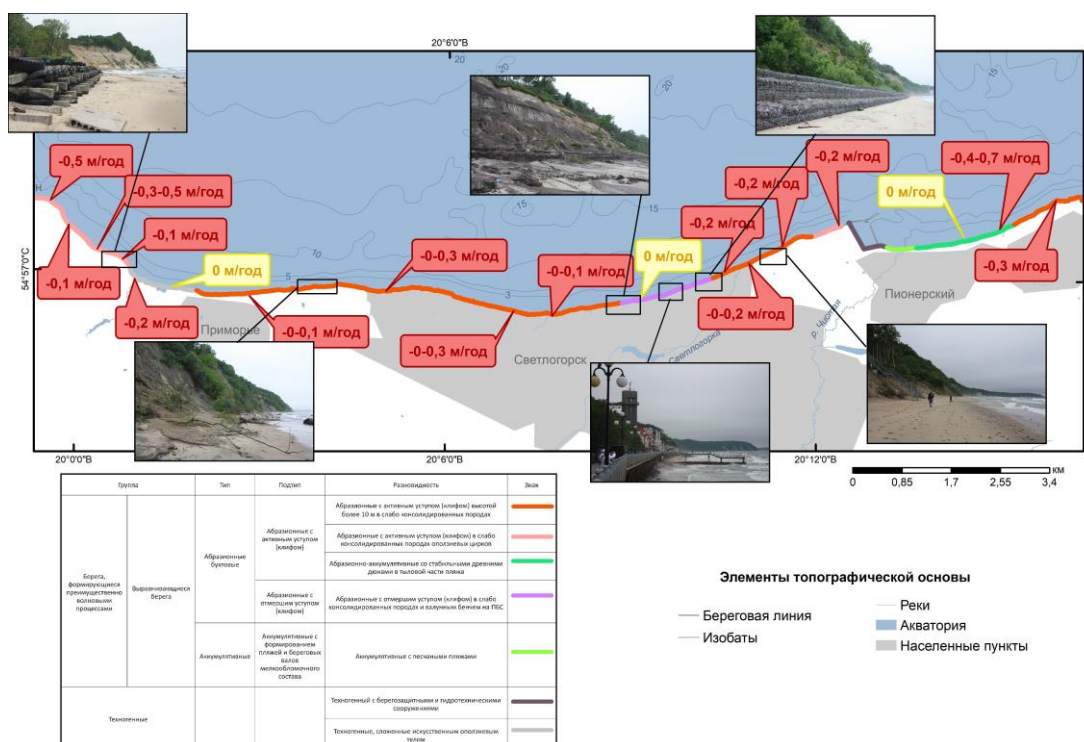


Рис. 107. Скорости отступления абразионного уступа по результатам многолетних наблюдений

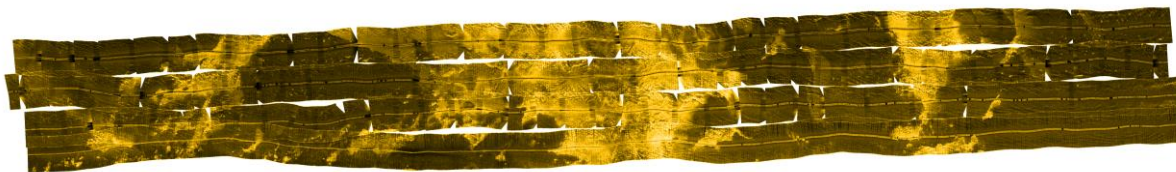


Рис. 108. Мозаика профилей ГЛБО на ключевом участке «Северное побережье Самбийского полуострова»

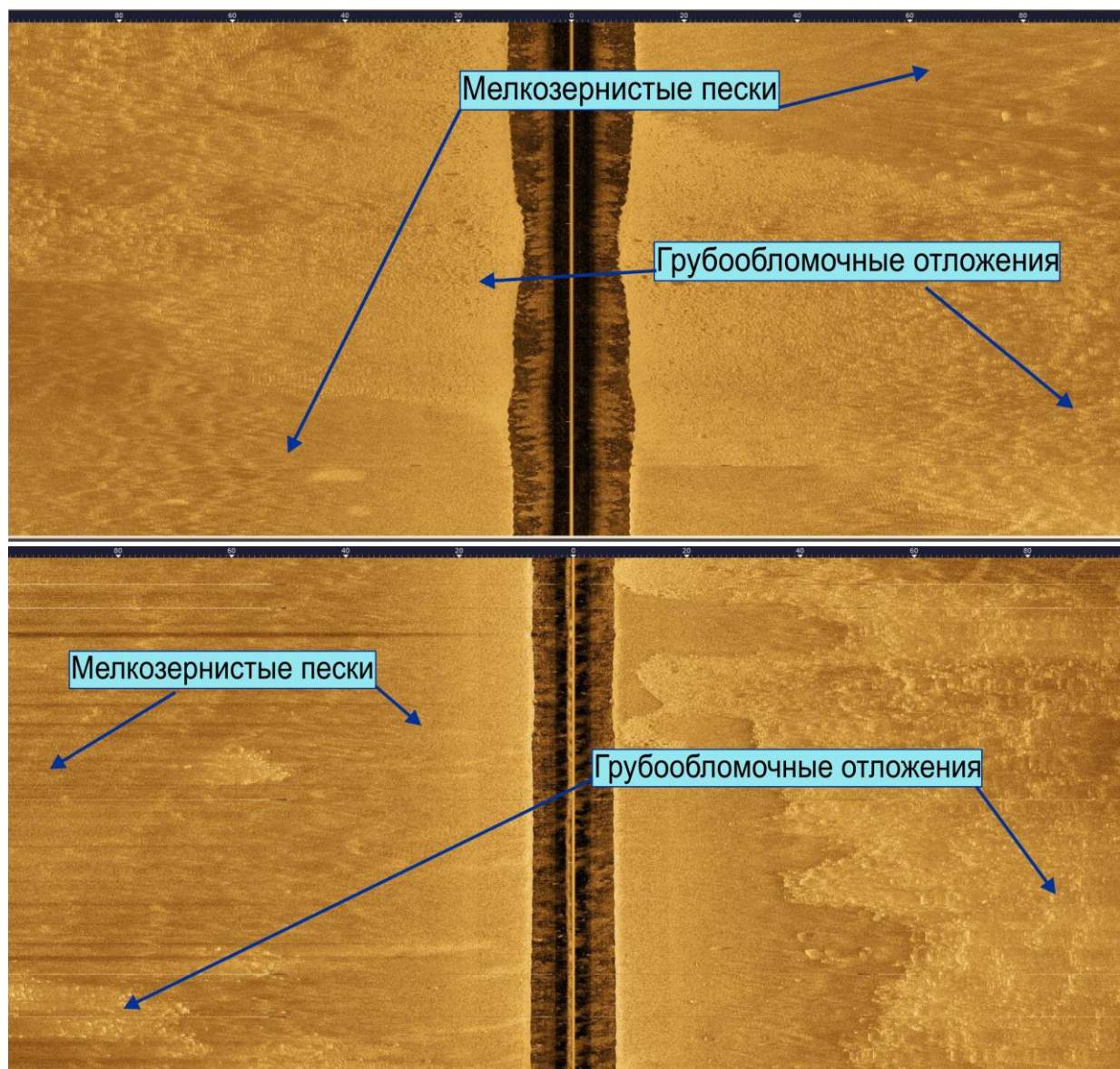


Рис. 109. Примеры записи ГЛБО со сложными границами между полями грубообломочных отложений (валуны, галька, гравий), маркирующих выходы моренных гряд и полями современных мелкозернистых песков волнового генезиса

Грубообломочные отложения, вплоть до появления валунных отмосток, маркируют выходы на поверхность дна размытых моренных гряд, что свидетельствует об активной придонной гидродинамике. При этом валунные отмостки (рис. 110), бронируя нижележащую ледниковую толщу, препятствуют поступлению нового осадочного материала за счет размыва морского

дна. Как следствие укрепления береговых обрывов берегозащитными сооружениями все меньше осадочного материала поступает в море и за счет размыва берегов. Совокупность этих обстоятельств определяет усугубляющийся дефицит осадочного материала во вдольбереговых потоках наносов и, соответственно, позволяет прогнозировать дальнейшее разрушение и

отступление берегов в пределах участка. Мощность слоя мелкозернистых (тонкозернистых) песков не превышает первых метров.

Уточненная литологическая карта-схема поверхности морского дна на участке «Северное побережье Самбийского полуострова» приведена на рис. 111.

Выводы по состоянию геологической среды на участке «Северное побережье Самбийского полуострова»

Результирующая карта-схема опасных ЭГП приведена на рис. 112. Обследования показали, что активные абразионно-гравитационные уступы высотой до 40 м сложены рыхлыми четвертичными, неогеновыми и палеогеновыми породами. Развитию активных гравитационных процессов способствует наличие зон разгрузки подземных вод. Прослеживается четная связь интенсивности экзогенных геологических процессов на берегу и подводном береговом склоне.

Часть современного побережья (в районе м. Таран и м. Купальный) сформирована в результате глубоких оползаний склона. Тела этих оползней в настоящее время также абрадируются. Для значительного отрезка берега от п. Приморье до п. Отрадное большую роль играет овражная эрозия, приводящая к расчленению побережья и бровки склона. Выносимый в результате эрозии

поверхностных вод преимущественно суглинистый материал попадает в зону волновой переработки. Остальная часть склонов деградирует линейно, равномерно отодвигаясь на всем протяжении своего типа берега, что обусловлено, по-видимому, более равномерным и выдержанным геологическим строением побережья. Приблизительно 5 км береговой зоны от м. Таран до м. Гвардейский стабилизированы посредством укрепления и террасирования склонов, ряд отрезков абразионного берега укреплены в основании уступа без укрепления склона.

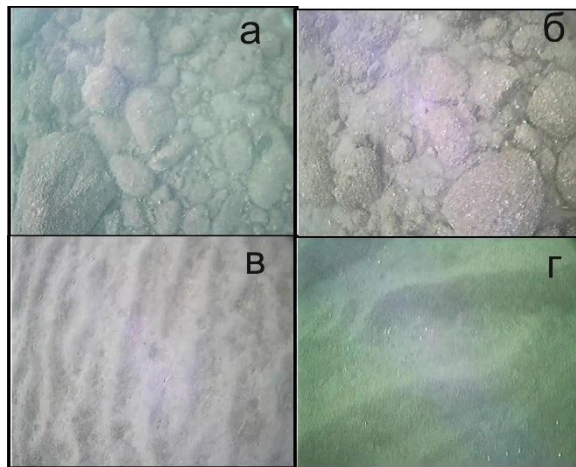


Рис. 110. Примеры подводных снимков: валунные отмостки на станциях 16-СС-ТВ1 (а), 16-СС-ТВ5 (б) и мелкозернистых волновых песков со знаками ряби на станциях 16-СС-ТВ2 (в), 16-СС-ТВ6 (г)

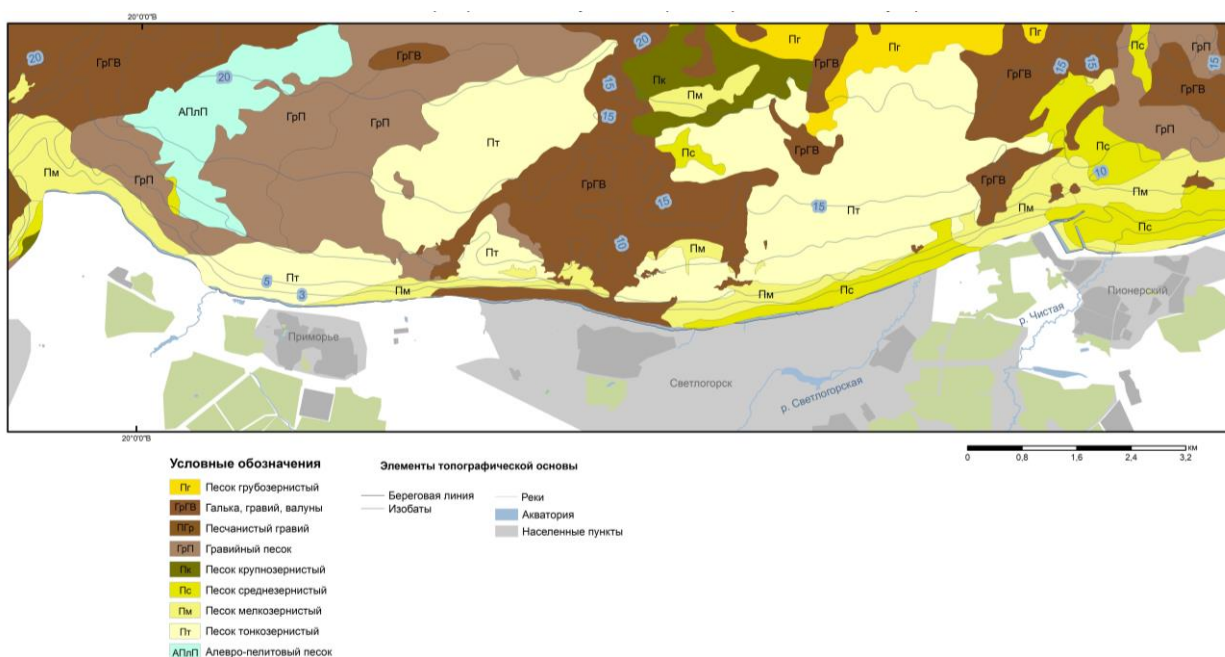


Рис. 111. Литологическая карта-схема поверхности морского дна на участке «Северное побережье Самбийского полуострова»

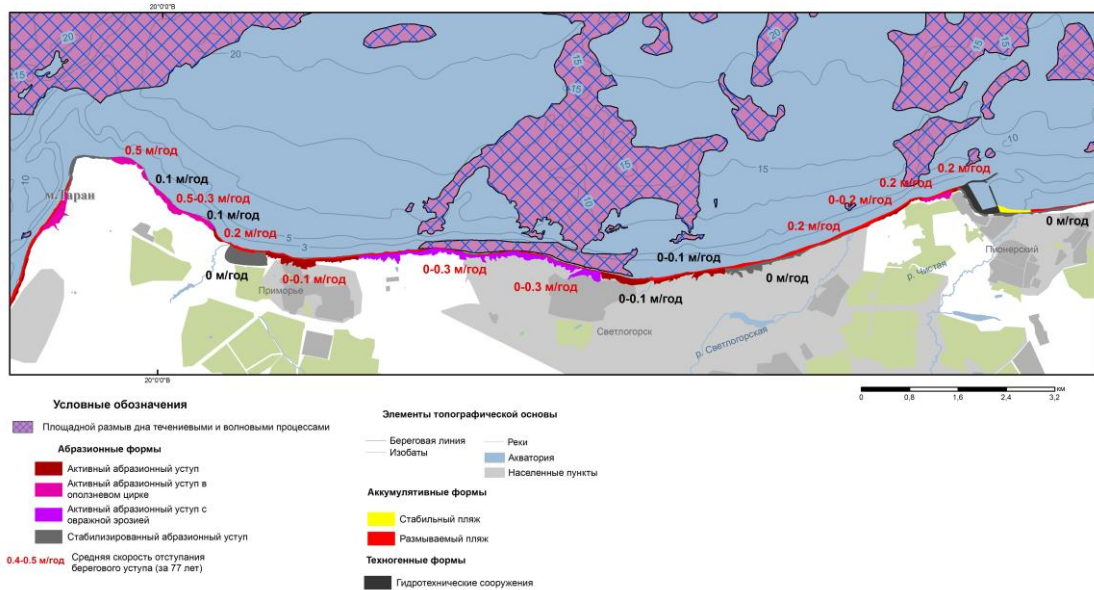


Рис. 112. Карта-схема проявлений опасных ЭГП на участке «Северное побережье Самбийского полуострова»

Практически все побережье характеризуется исключительно высоким уровнем развития опасных ЭГП, на ряде участков это создает аварийные ситуации.

По результатам обследований выделено шесть участков наиболее активного развития опасных ЭГП, в том числе угрожающих жилым постройкам, сооружениям рекреационной и транспортной инфраструктуры.

В субаквальной части участка выделяются поля распространения грубообломочных отложений, фиксирующих выходы на поверхность дна моренных гряд, свидетельствуют об активной придонной литодинамике. Валунные отмостки бронируют нижележащие отложения от дальнейшего размыва, тем самым способствуя усилению дефицита осадочного материала во вдольбереговых потоках наносов. В сочетании с берегозащитой и укреплением склонов береговых уступов, что также уменьшает поступление осадочного материала в море, это определяет дальнейшее разрушение пляжей курортов Светлогорска или, по крайней мере, невозможность их восстановления естественным путем.

Ключевой участок «Западное побережье Самбийского полуострова»

Состав наблюдательной сети. Виды наблюдений

Для изучения морфологии рельефа дна с определением и уточнением положения затопленных уступов, выходов коренных пород, наличия зон обрушения, а также распределения

донных осадков, в том числе техногенных, и характеристики современных литодинамических процессов было выполнено профилирование ГЛБО (рис. 113).

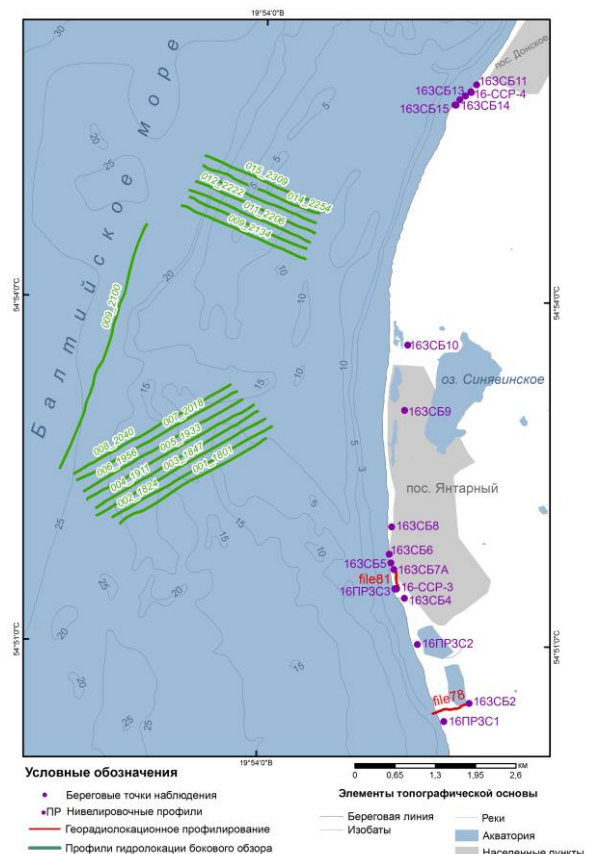


Рис. 113. Карта фактического материала полевых работ на ключевом участке «Западное побережье Самбийского п-ва»

Донный пробоботбор, как и любые другие виды работ, предполагающие контакт с дном, в

том числе донное фотовидеопрофилирование, в пределах участка по-прежнему запрещены ВМФ.

Береговые маршруты выполнялись как с использованием автотранспорта, так и с применением моторной лодки. В пределах участка было проведено районирование берегового уступа на наличие активного проявления слоновых процессов, выделены участки берега с обнаженными участками склона, зафиксированы участки высачивания грунтовых вод.

В пределах ключевого участка было выполнено изучение инженерно-геологического разреза по двум профилям в районе пос. Янтарный (мощность разреза 25 м) и пос. Донское (мощность разреза 32 м). В ходе работ выполнялось описание геологического строения берегового уступа и пляжа, сопровождающиеся отбором образцов отложений, измерением физико-механических свойств грунтов, включая пенетрационные свойства и сопротивление вращательному срезу, фиксацией элементов залегания пород и крутизны склонов обнажений.

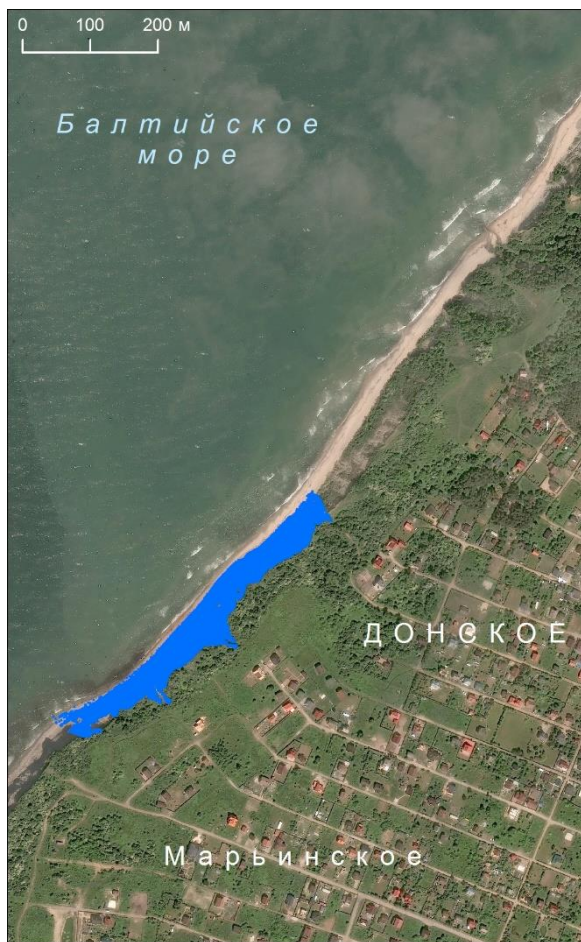
Для установления геологического строения и определения устойчивости пород было проведено георадиолокационное профилирование через техногенную террасу и пляж в районе пос. Янтарный и на участке развития осыпных процессов вблизи м. Песчаный. Общая протяженность профилей составила 1,04 пог. км (рис. 114). В пределах ключевого участка было выполнено изучение инженерно-геологического разреза по двум профилям в районе пос. Янтарный (мощность разреза 25 м) и пос. Донское (мощность разреза 32 м). В ходе работ выполнялось описание геологического строения берегового уступа и пляжа, сопровождающиеся отбором образцов отложений, измерением физико-механических свойств грунтов, включая пенетрационные свойства и сопротивление вращательному срезу, фиксацией элементов залегания пород и крутизну склонов обнажений (рис. 115).

Протяженность участка наземного лазерного сканирования в береговой зоне пос. Донское на участке максимального проявления оползневых и осыпных процессов составила 496 м (рис. 116).

На исследуемом участке были произведены измерения с 9 точек стояния сканера. Расположение проекции облака точек представлено на схеме рисунках 115, 116. «Облако точек» 496-метрового участка включает 7374583 точек.



Рис. 114. Описание инженерно-геологического разреза: *a* – разрез в пос. Донское; *b* – разрез в пос. Янтарный; *c* – измерение мощностей слоев; *d* – определение углов склона



■ Облако точек сканирования 2016 г.

Рис. 115. Схема расположения участка лазерного сканирования

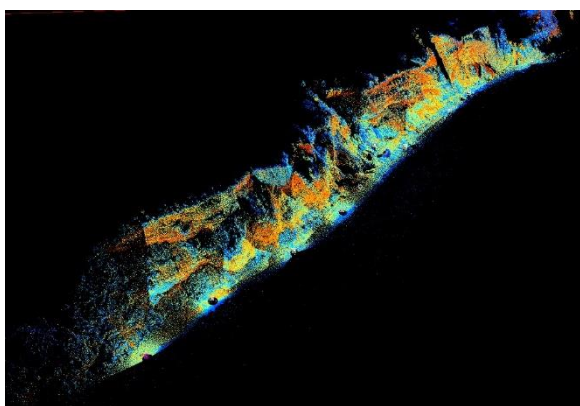


Рис. 116. 3D облако точек по результатам наземного лазерного сканирования участка берега вблизи пос. Донское

Экзогенные геологические процессы

Ключевой участок «Западное побережье Самбийского п-ва» характеризуется активной литодинамикой, что во многом определяется вкладом антропогенных факторов. На берегу в пределах участка расположено крупнейшее в мире месторождение янтаря. В результате сброса

алевропесчаного материала (пульпы) в процессе карьерной добычи янтаря в прибойно-волновую зону моря, до конца 1980-х гг. ширина пляжа в районе пос. Янтарный достигла 400 м. На подводном береговом склоне был образован гигантский техногенный конус выноса, размыв которого обеспечивал осадочным материалом пляжи не только прилегающей береговой зоны, но берега Балтийской косы. В результате на значительной части побережья преобладали процессы нарастания пляжей. С прекращением сброса пульпы вновь возникший дефицит обломочного материала обусловил возобновление процессов абразии. В последние годы сброс пульпы, хотя и с меньшей интенсивностью, возобновился, возник новый техногенный конус выноса.

Береговая зона от горы Обзорная до м. Песчаный представляет собой весьма своеобразный тип берега, где крупные аккумулятивные песчаные формы сформировались под воздействием техногенных процессов (сброса пульпы Янтарного комбината). По анализу данных топографических карт начала XX в., этот участок берега характеризовался развитием абразионных процессов. С момента активного складирования отвалов Янтарного комбината в береговой зоне бухта между двумя мысами была полностью перекрыта техногенными песчаными и алевроглинистыми отложениями. Береговой контур был выровнен, а избыточный материал поступал на соседние участки берега. В настоящее время на техногенной террасе, заросшей кустарником, продолжается складирование отвалов с частичным сбросом пульпы в море (рис. 117).

В настоящее время в центральной части конуса выноса не производится подпитка, в результате чего происходит размыв приурезовой части техногенного берега с образованием активного клифа в техногенной террасе, высотой около 2 м (рис. 118).

По результатам нивелировочного профилирования, выполненного по повторным профилям (рис. 119, 120), было установлено, что происходит постепенное нарастание мощности пляжевых отложений на юге участка в периоды сброса пульпы. При прекращении сброса происходит мгновенное сокращение пляжевых отложений. На севере пос. Янтарный (м. Песчаный) наблюдается перманентная деградация берегового уступа с частичным увеличением мощности в тыловой части пляжа в моменты осыпания склона.



Рис. 117. Техногенные отложения (отвалы) на берегу в районе пос. Янтарный: *а* – Техногенная терраса на побережье (фото с отмершего абразионного уступа); *б* – конус выноса пульпы, выступающий более чем на 100 м в море



Рис. 118. Активный абразионный уступ в техногенной террасе в пос. Янтарный

Другим участком береговой зоны, подвергающимся интенсивному техногенному воздействию является берег к северу от пос. Синявино, где в настоящее время на побережье происходит разработка месторождения янтаря с выработкой карьера. Карьер отделен от моря дамбой (насыпью) высотой около 5 м, находящейся под непосредственным влиянием волновой абразии (рис. 121). По данным анализа космоснимков за последние 2 года, ширина дамбы сократилась практически на 30 м, а береговой контур приблизился к положению до момента начала разработки карьера.

Мысовидные выступы берега характеризуются интенсивной абразией, провоцирующей в свою очередь высокую степень активности гравитационных (осыпных и оползневых) процессов (рис. 122). Один из таких участков расположен в районе мыса Песчаный, который сложен в основании плотными моренными суглинками, перекрытыми песчаными межморенными отложениями и представляет собой моренную гряду.



Рис. 119. Трансформация берегового контура с 2014 по 2016 г. в районе пос. Янтарный. Красными линиями показано положение нивелировочных профилей. Космоснимки Google Earth

В верхней части разреза выделяются три пачки песчаного состава (обр. 4 – песок крупно-среднезернистый, содержание модальной фракции 0,25–0,5 мм 41,4 %; обр. 5 – песок мелко-среднезернистый, содержание модальной фракции 0,25–0,5 мм 48,97 %; обр. 6 – песок мелкозернистый, содержание модальной фракции 0,1–0,25 мм 89,9 %) (рис. 123). Отложения рыхлые, слабосцементированные, активно подвержены осыпным процессам, в результате чего в нижней части разреза сформирована осыпь.

Нижняя пачка разреза представлена пластичными супесями (обр. 3; (влажность на границе текучести 0,203, на границе раскатывания – 0,130, природная влажность 15,8 %, плотность грунта 2,15 г/см³, плотность частиц грунта – 2,70 г/см³, плотность сухого грунта 1,86 г/см³, коэффициент пористости 0,452, коэффициент водонасыщенности – 0,94) и тугопластичными суглинками (обр. 2; (влажность на границе текучести 0,199, на границе раскатывания – 0,145, природная влажность 15,7 %, плотность грунта 2,16 г/см³, плотность частиц грунта – 2,68 г/см³, плотность сухого грунта 1,87 г/см³, коэффициент пористости 0,434, коэффициент водонасыщенности – 0,97)) (табл. 21, 22).

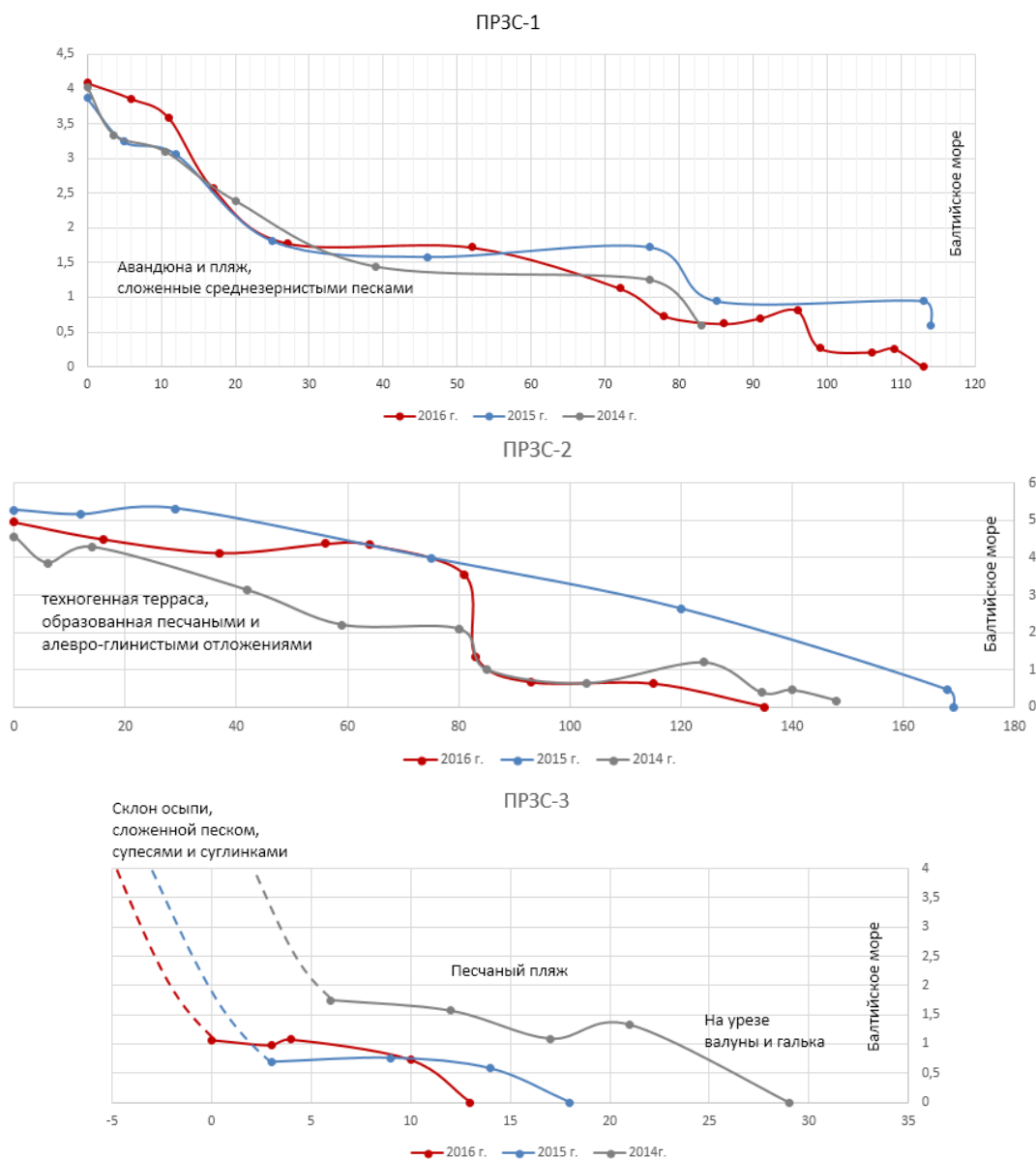


Рис. 120. Изменение поперечного профиля пляжа с 2014 по 2016 гг.: *а* – к югу от места сброса пульпы Янтарного комбината; *б* – Изменение поперечного профиля пляжа с 2014 по 2016 гг. в районе сброса пульпы Янтарного комбината; *в* – изменение поперечного профиля пляжа и деградация берегового уступа с 2014 по 2016 гг. к северу от места сброса пульпы Янтарного комбината (м. Песчаный)

В районе пос. Донское на берегу развиты оползневые и обвальные процессы, обусловленные как ослаблением прочности пород при выветривании и переувлажнении атмосферными осадками и подземными водами, так и за счет увеличения крутизны склона в результате волновой абразии (рис. 124а). Важную роль в развитии склоновых процессов здесь играют особенности геологического строения клифа. На отдельных участках берега (мыс в пос. Донское (рис. 124б)) высотой до 30 м наблюдается довольно устойчивое положение практически вертикальных стенок клифа. Отступление бровки

здесь происходит со скоростью около 0,5 м/год (средняя за период с 2002 по 2016 гг.).



Рис. 121. Дамба, отделяющая карьер на севере пос. Синявино от моря. Из трубы производится слив воды из карьера

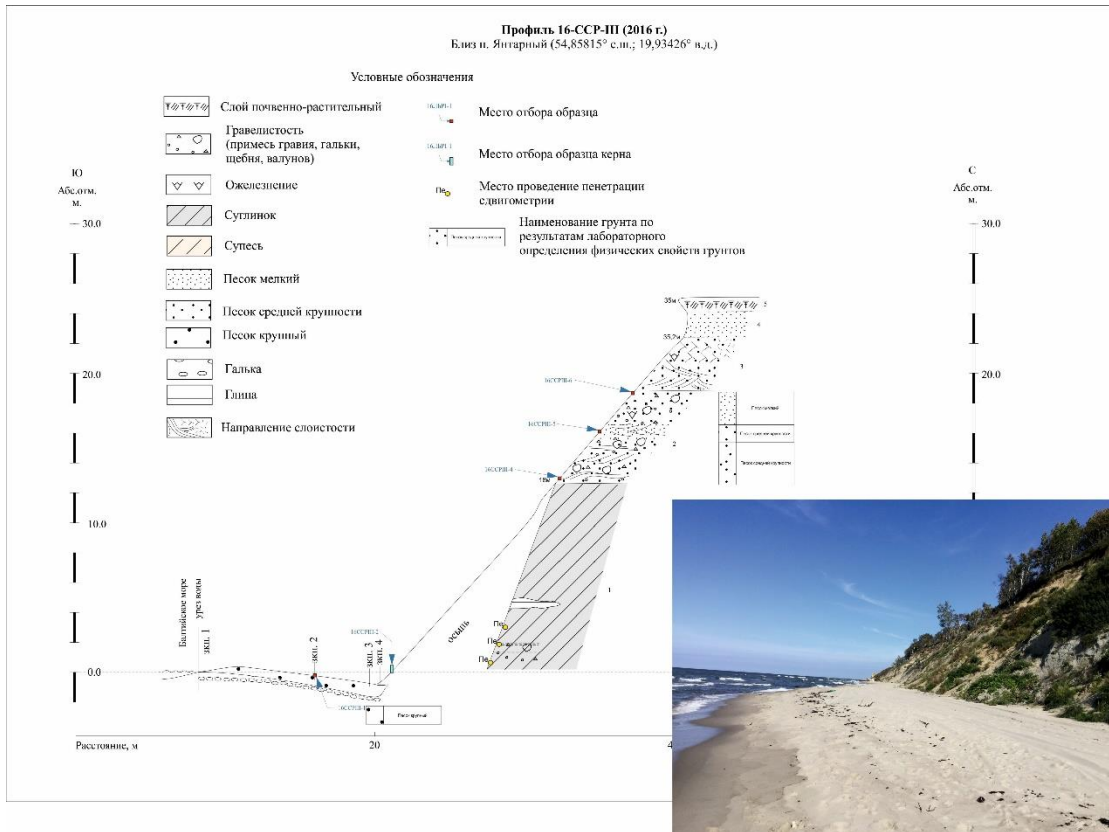


Рис. 122. Осыпной уступ в поселке Янтарный (разрез 16 ССР-III)

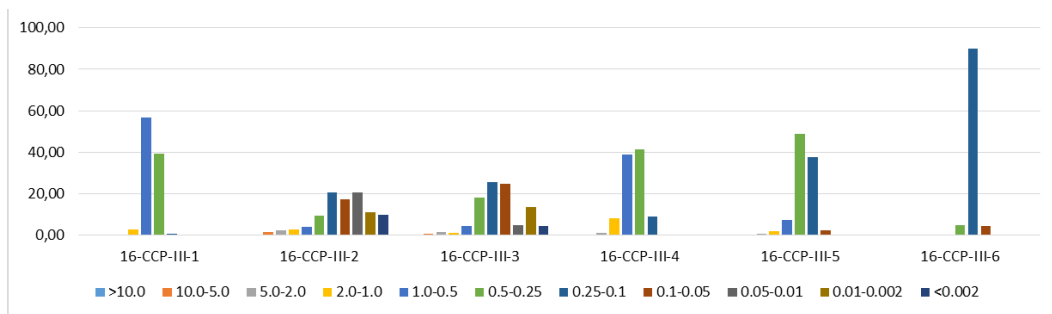


Рис. 123. Гистограммы гранулометрических распределений образцов отложений осыпного уступа в пос. Янтарный (разрез 16 ССР-III)



Рис. 124. Развитие склоновых процессов в районе пос. Донское: слева – субгоризонтальное залегание горных пород, развитие осыпных процессов; справа – субвертикальное залегание слоев суглинистых моренных отложений в основании склона в пос. Бакалино

Проведенное обследование (рис. 125) показало, что выступ берега образован моренными

слоистыми супесчаными отложениями с включениями гальки и валунов. Практически 2/3

нижней части уступа образованы вертикально стоящими слоями моренных суглинков. По-видимому, в результате такого вертикального залегания породы имеют большую устойчивость к проявлению интенсивных склоновых процессов. Однако соседние участки берега, где залегание пород имеет иной угол падения и состав отложений, характеризуются развитием как поверхностных осыпей и оползней (оплывин), так и глубоких (в районе м. Таран).

Геологическое строение разреза характеризуется исключительной сложностью. Подверженность склона гравитационным процессам обусловлена переслаиванием рыхлых, несцементированных песков (обр. 16ССРIV-2, 16-ССРIV-3, 16-ССРIV-4 – преимущественно крупные пески; вес модальной фракции 0,5–1,0 мм 37–46 %) (рис. 126) и суглинков (обр. 16ССРIV-5,

16-ССРIV-6; влажность на границе текучести 0,515, на границе раскатывания – 0,391, природная влажность 27,7–30,0%, плотность грунта 1,78–1,90 г/см³, плотность частиц грунта – 2,61–2,65 г/см³, плотность сухого грунта 1,37–1,49 г/см³, коэффициент пористости 0,756–0,938, коэффициент водонасыщенности – 0,84–0,96).

В 2016 г. на одном из участков береговой зоны в пос. Донское, наиболее сильно подверженных опасным ЭГП, было выполнено наземное лазерное сканирование. Протяженность участка составила 496 м (рис. 127). Анализ результатов сканирования исследуемого участка позволил выявить ряд морфометрических характеристик (табл. 24). – минимальная ширина пляжа составила 7,07 м; максимальная – 19,3 м; минимальная высота клифа (до бровки) 32,8 м; максимальная – 40,49 м (абс. отметка).

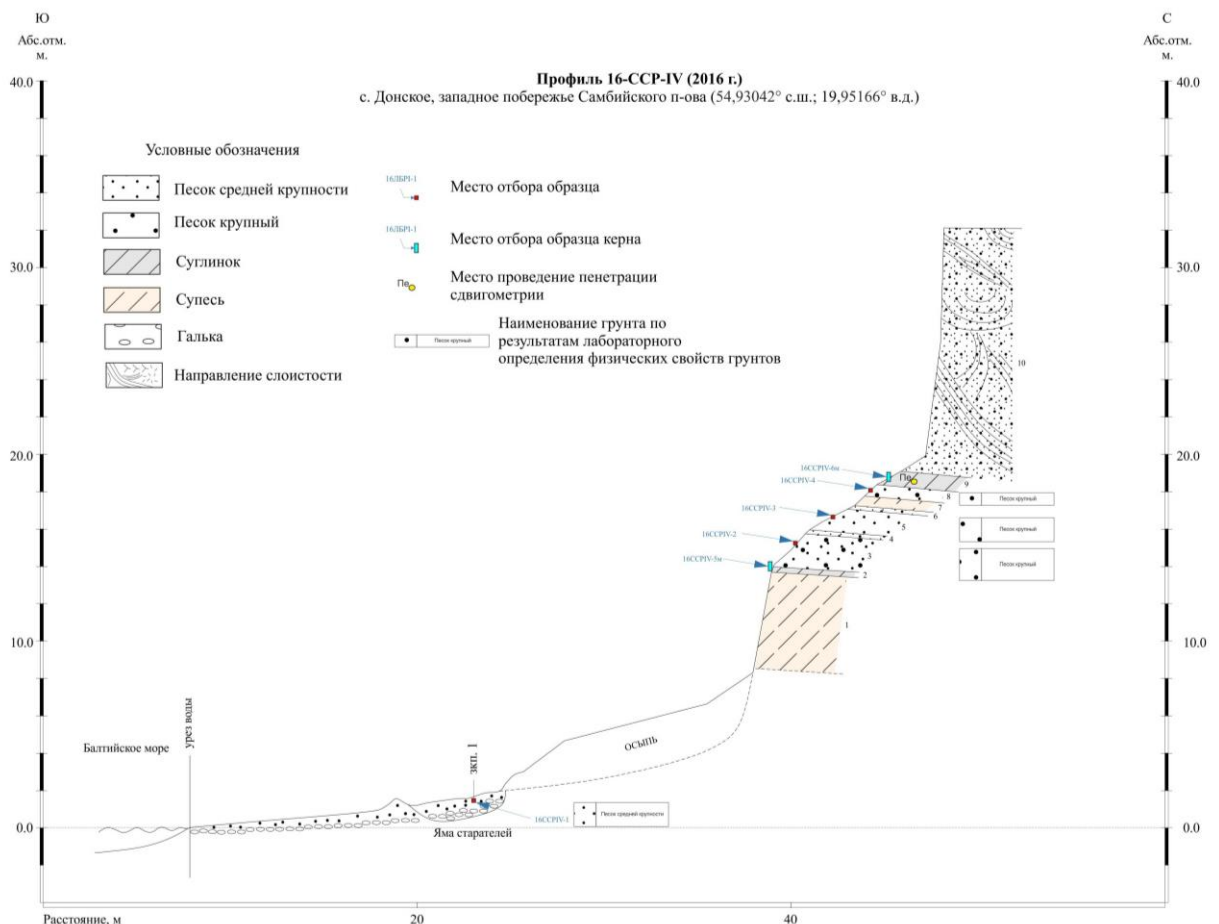


Рис. 125. Осыпной уступ в поселке Донское (разрез 16 ССР-IV)

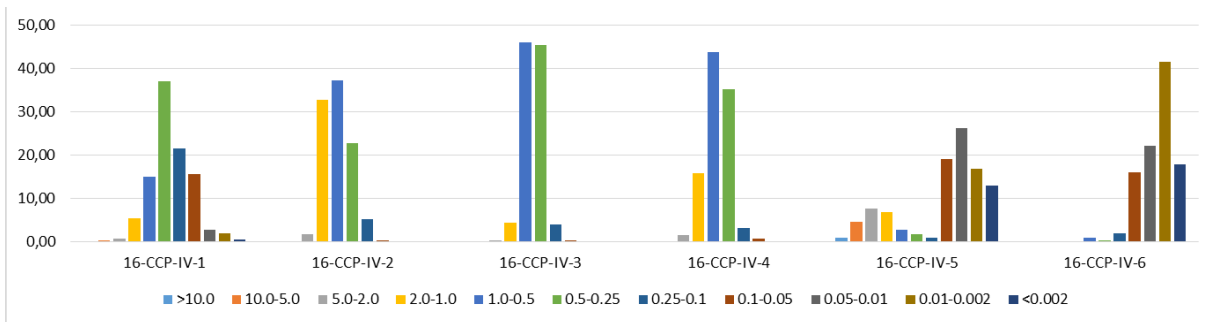


Рис. 126. Гистограммы гранулометрических распределений образцов отложений абразионно-осыпного уступа в поселке Донское (разрез 16 ССР-IV)

Таблица 24. Морфометрические характеристики пляжа и клифа на участке в районе пос. Донское

Морфометрический показатель	Мин. значения, м	Макс. значения, м
Ширина пляжа	7,07	19,3
высота клифа (до бровки) (абс. отметка)	32,8	40,49

Участок характеризуется крутыми высокими абразионно-гравитационными уступами, практически лишенными растительного покрова; со следами активных эрозионных процессов. В пределах участка находится палеоген-неогеновый останец с янтареносными отложениями, активно разрушаемый «черными старателями» в нижней части (рис. 128), что оказывает крайне негативное влияние на активность склоновых процессов не только на этом участке. Незаконная выработка в основании береговых уступов способствует их подмыву. В штормовые периоды волны легко проникают в тыловую часть пляжа. Также по анализу космоснимков отмечается активное хозяйственное освоение территории над клифами (пос. Донское) с постепенной застройкой территории все ближе и ближе к активным уступам.



Рис. 127. Участок сканирования береговой зоны в районе пос. Донское



Рис. 128. Незаконные горные выработки у подножья уступа в пос. Донское

Анализ рельефа склона по результатам лазерного сканирования позволил выявить многочисленные участки, характеризующиеся близкими к вертикальным уклонам (рис. 129, 130). Проведенное обследование показало, что клиф в его северной части активен – с очевидным проявлением опасных ЭГП процессов.

Анализ рельефа склона по результатам лазерного сканирования позволил выявить многочисленные участки, характеризующиеся близкими к вертикальным уклонам (рис. 129, 130). Проведенное обследование показало, что клиф в

его северной части активен – с очевидным проявлением опасных ЭГП процессов.

Кроме того, рассматриваемый участок склона характеризуется исключительно активным развитием эрозионных процессов (овражная эрозия) (рис. 131), приводящих к перемещению больших масс рыхлого материала в береговую зону. В настоящее время вершина одного из оврагов расположена на расстоянии 36 м от ближайшего строения пос. Донское (рис. 132). Участок требует постоянных мониторинговых наблюдений.

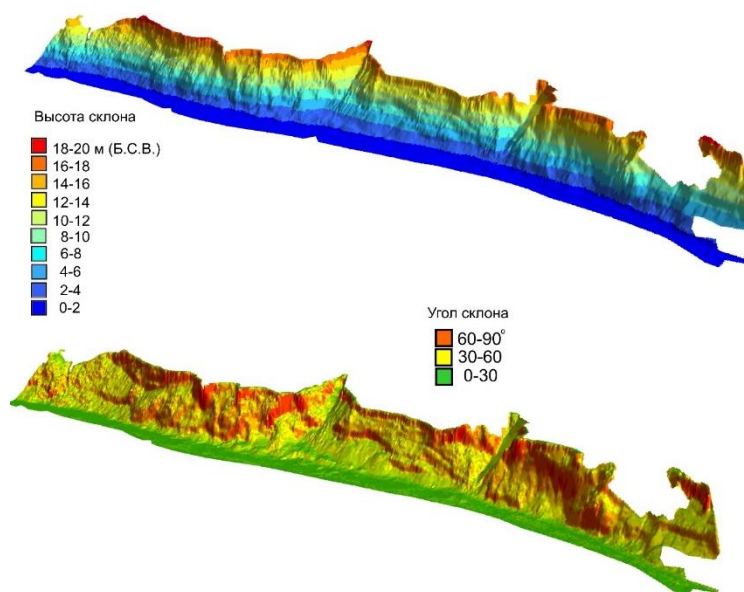


Рис. 129. Рельеф абразионно-гравитационного уступа и углы склонов в пос. Донское

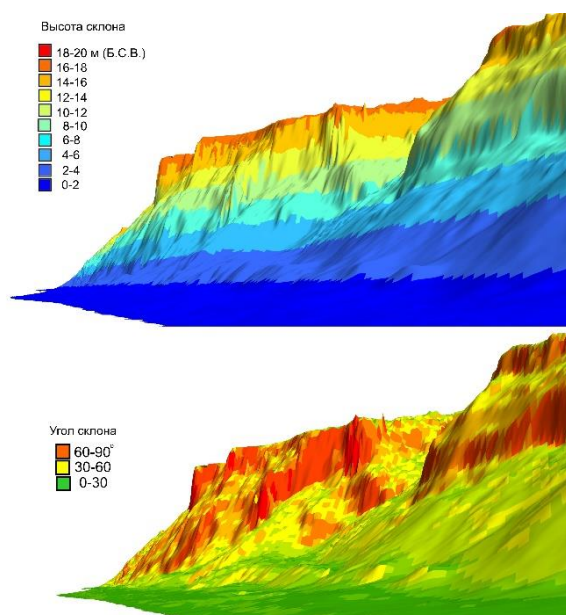


Рис. 130. Фрагмент трехмерной диаграммы рельефа склона в пос. Донское и углы склонов

Для установления геологического строения и определения устойчивости пород было проведено георадиолокационное профилирование через техногенную террасу и пляж в районе пос. Янтарный, и на участке развития осыпных процессов вблизи м. Песчаный (рис. 133, 134). Общая протяженность профилей (78 и 81 с антенной 75 МГц) составила 1,04 пог. км.

Выдержанные оси синфазности прослеживаются эпизодически и в основном связаны с изменением рельефа. В целом характер записи хаотичный, а интенсивность отражений слабая, что характерно для техногенных насыпей (рис. 133) Профиль 81 пройден вдоль берегового уступа в районе поселка Янтарный (рис. 135). Отражения получены с глубин до 5 м от дневной поверхности.



Рис. 131. Гравитационные процессы на участке сканирования (слева – 2012 г., справа – 2016 г.)

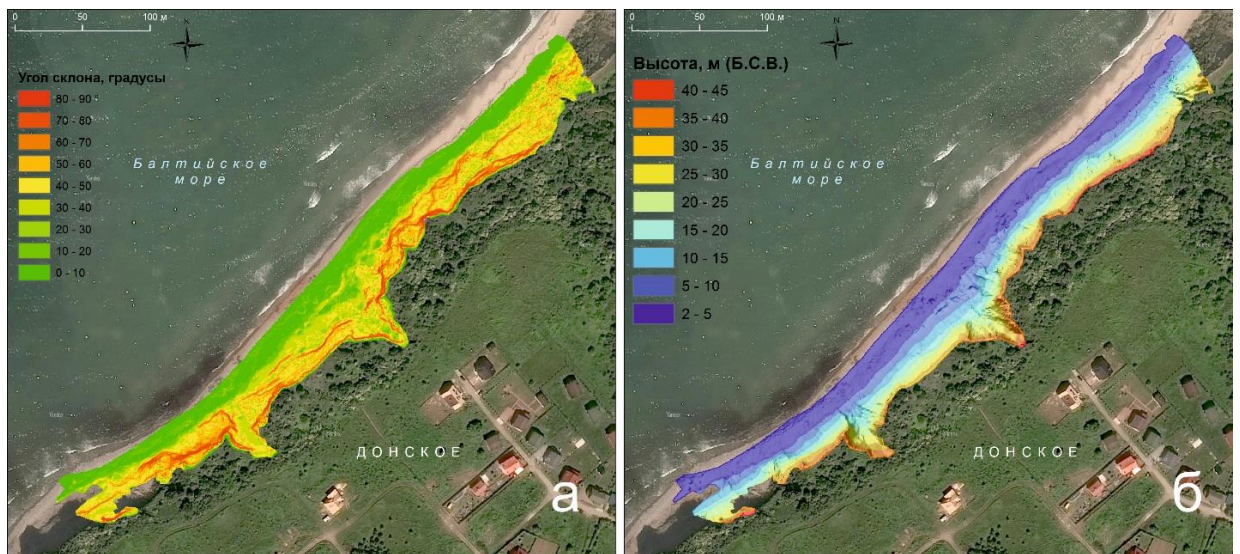


Рис. 132. Диаграммы рельефа (а) и углов склона (б) в пос. Донское на космоснимке Google Earth

Верхняя часть разреза преимущественно песчаная, тонкослоистая – на радарограмме наклонные оси синфазности выражены слабо, ниже выделяются слои с грубообломочным материалом (валуны, галька), оси синфазности

четко прослеживаются. В нижней части разреза зафиксированы дифрагирующие объекты – крупные валуны, а отражающие горизонты не обнаружены, что связано с суглинистым составом отложений (рис. 134).

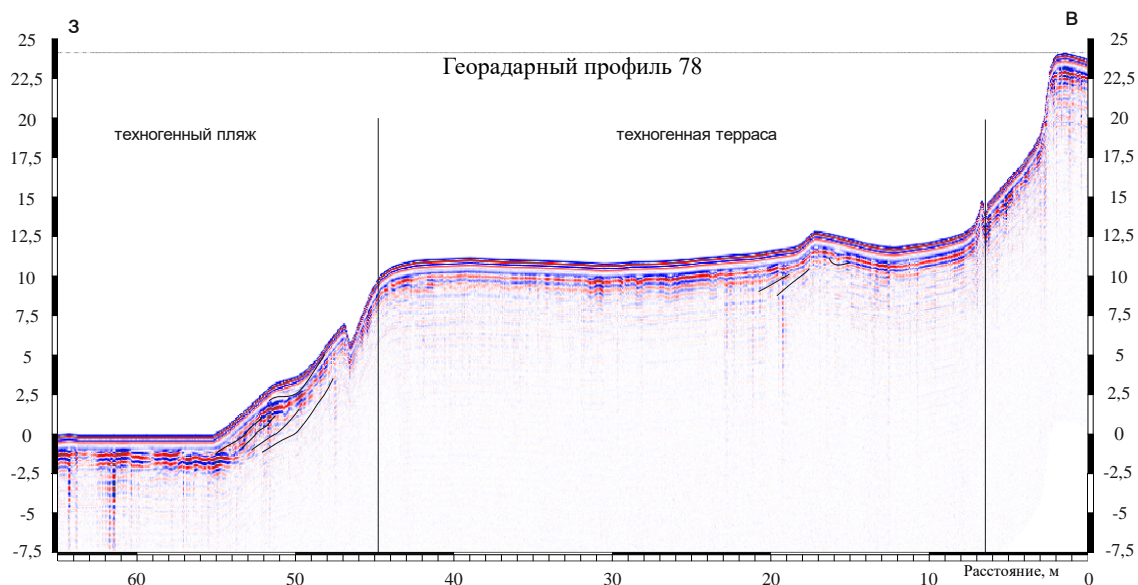


Рис. 133. Георадарный профиль 78, пересекающий техногенную террасу

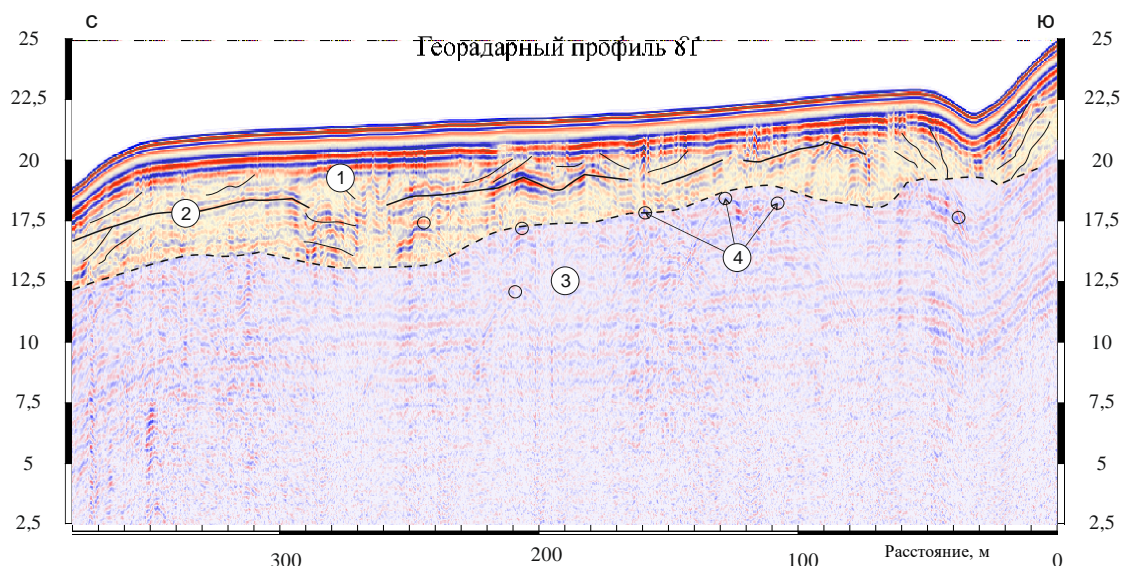


Рис. 134. Георадарный профиль 81: 1 – песок косослоистый, 2 – прослой гравийный, 3 – суглинки, 4 – валуны



Рис. 135. Уступ около начала георадарного профиля 81: 1 – песок косослоистый, 2 – прослой гравийного материала, 3 – суглинки с грубообломочным материалом

Профилирование методом ГЛБО позволило уточнить положение сложенных породами палеогена подводных уступов, маркирующих положение древних береговых линий, выявить площади проявления осыпных и обвальных процессов на этих уступах (рис. 136, 137), оконтурить площади распространения грубообломочного материала, маркирующего подводные выходы моренных гряд, уточнить распространение техногенных осадков, образованных за счет переотложения осадочного материала конусов выноса пульпы с Янтарного комбината и размываемых техногенных террас. Ранее в прибрежно-шельфовой зоне было установлено наличие разрывных нарушений. По расчетам некоторых специалистов здесь же в прибрежно-шельфовой зоне находился эпицентр Калининградского землетрясения.

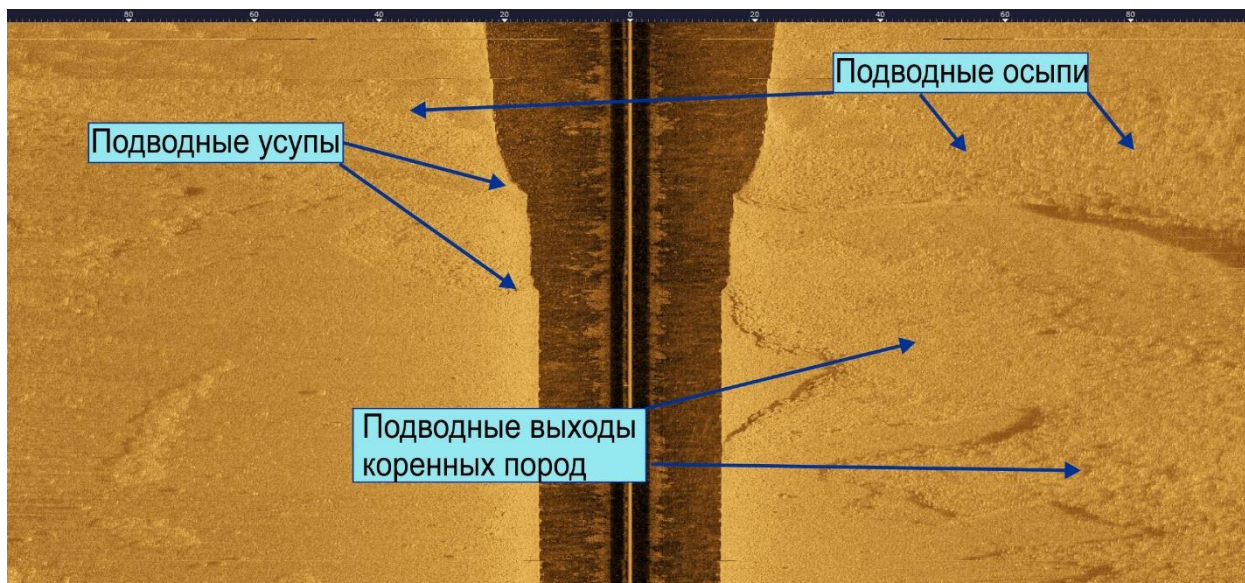


Рис. 136. Подводные уступы на сонаграмме (ГЛБО) и проявления осыпных процессов

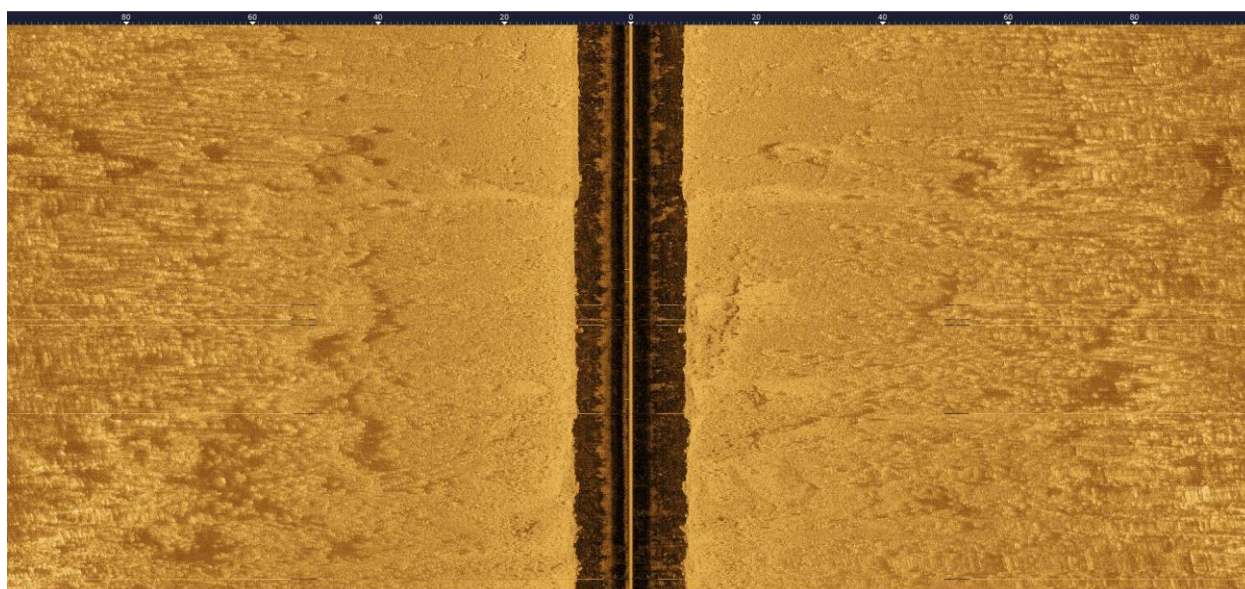


Рис. 137. Подводные выходы морены на сонаграмме (ГЛБО) – поля валунно-галечного материала

Для участка были построены мозаики профилей ГЛБО (рис. 138), по которым была существенно уточнена литологическая карта-схема поверхности морского дна участка (рис. 139). В частности поля алевропелитового песка маркируют распространение перемываемых техногенных грунтов на морском дне.

Выводы по состоянию геологической среды на участке «Западное побережье Самбийского полуострова»

Таким образом, в ходе очередного годового этапа мониторинга на Западном побережье Самбийского полуострова зафиксировано проявление активных опасных ЭГП, включающих оползни, осыпи, овражную эрозию, эрозию временными дождевыми потоками в абразионно-гравитационных уступах высотой до 49 м. На ряде

участков (пос. Янтарный, район мыса Песчаный, пос. Донское) активные ЭГП угрожают жилым строениям и инфраструктуре (очистные сооружения пос. Янтарный).

Исключительно важную роль в литодинамике береговой зоне, и, как следствие, степени активности гравитационных и эрозионных процессов играет техногенез. Причем часть этих процессов, например, незаконные мини-карьеры в основании абразионного уступа, провоцируют разрушение пляжа, подмыв и обрушение уступов. В то же время сбросы пульпы с Янтарного комбината и размыв техногенных террас являются источниками дополнительного осадочного материала, поступающего во вдольбереговые потоки наносов. В результате естественной дифференциации осадочного

материала тонкозернистая часть осадков вымывается и уходит на глубину, обуславливая увеличение мутности вод и, возможно, неблагоприятно сказываясь на биоте. Однако при этом песчаные фракции осадков частично в

результате волновых процессов возвращаются на берега, восстанавливая и наращивая не только пляжи Янтарного, но берега к югу от него, вплоть до Балтийской косы.

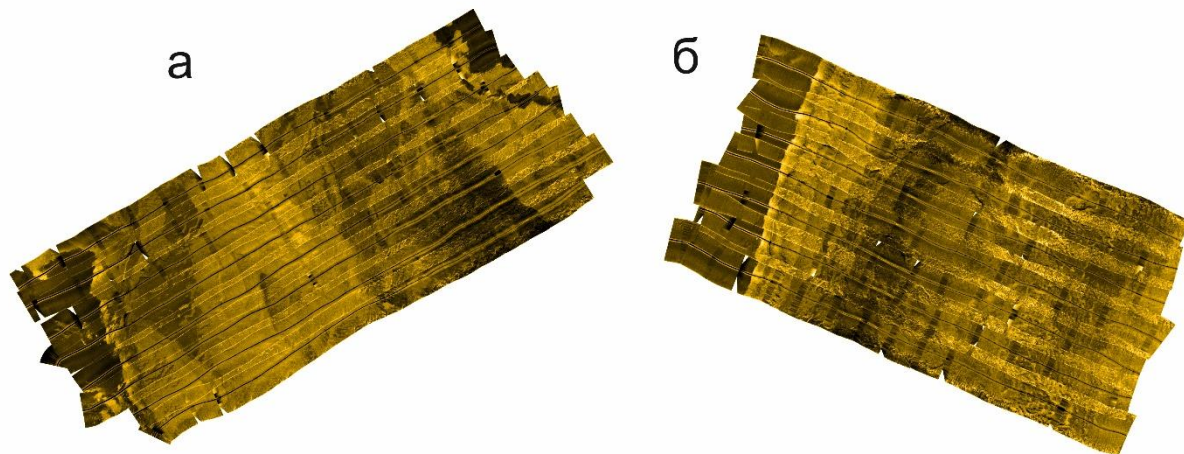


Рис. 138. Мозаики ГЛБО: а – участок дна на банке Янтарная; б – участок дна на отмели Бакалинская

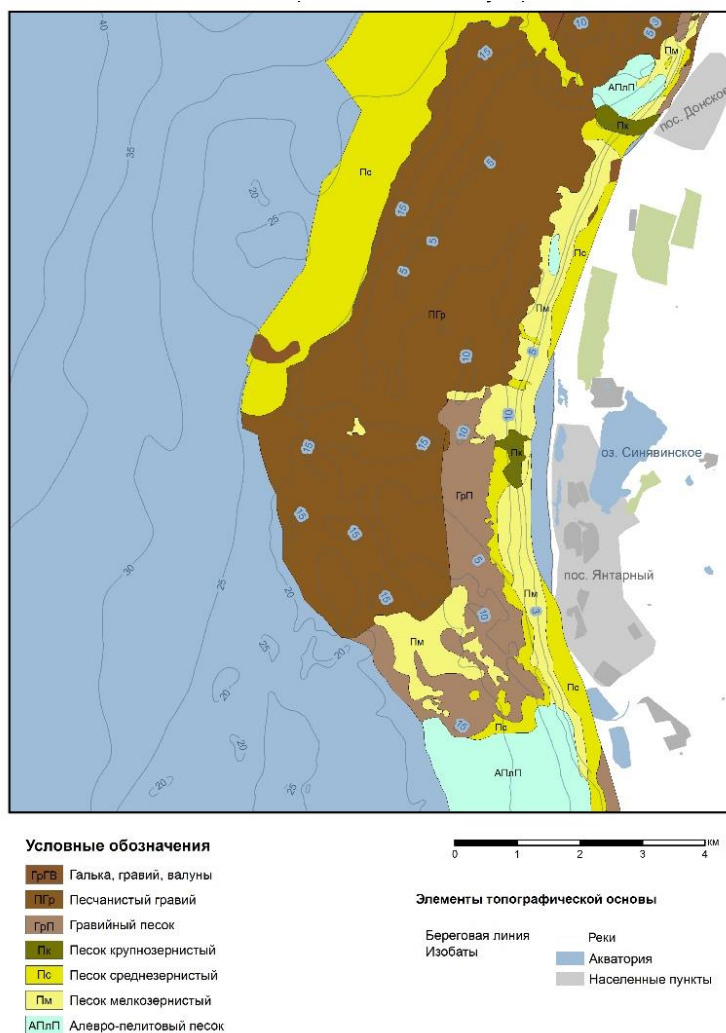


Рис. 139. Литологическая карта-схема поверхности морского дна участка «Западное побережье Самбийского полуострова»

Установленные по результатам профилирования методом ГЛБО подводные осыпи и обрушения могут представлять опасность в основном только в

случае прокладки здесь подводных коммуникаций (кабели, трубопроводы).
Результрирующая карта-схема проявления опасных ЭГП представлена на рис. 140

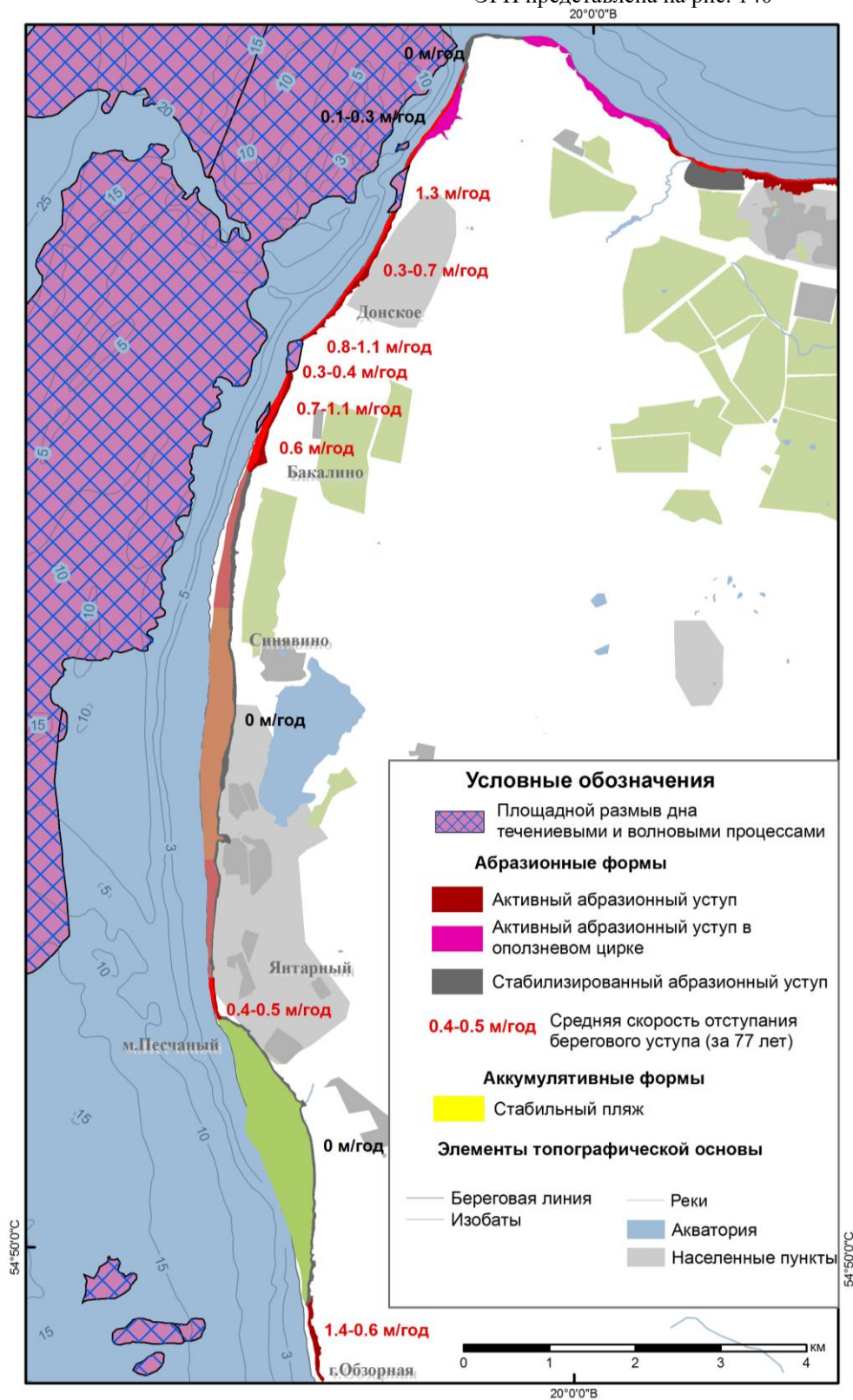


Рис. 140. Карта-схема проявления опасных ЭГП на участке «Западное побережье Самбийского полуострова»

Ключевой участок «Основание Куршской косы»

Состав наблюдательной сети. Виды наблюдений

В задачи геолого-геофизических исследований субаквальной части ключевого участка входит уточнение динамики изменения конфигурации площадей развития размыва морского дна и зон глинистого диапиризма, а также выявление и уточнение положения эрозионных ложбин стока, что важно для прогноза развития побережья в условиях дефицита наносов. Для этого были

выполнены три профиля ГЛБО общей протяженностью 30 км (рис. 141), субпараллельно береговой линии, которые отчасти повторяют ранее проведенные здесь съемки ГЛБО в режиме мониторинга. Для интерпретации профилей ГЛБО, в том числе прошлых лет, а также уточнения распределения донных отложений было выполнено поверхностное опробование грунтов (15 станций) и 6 станций подводного фотовидеопрофилирования.

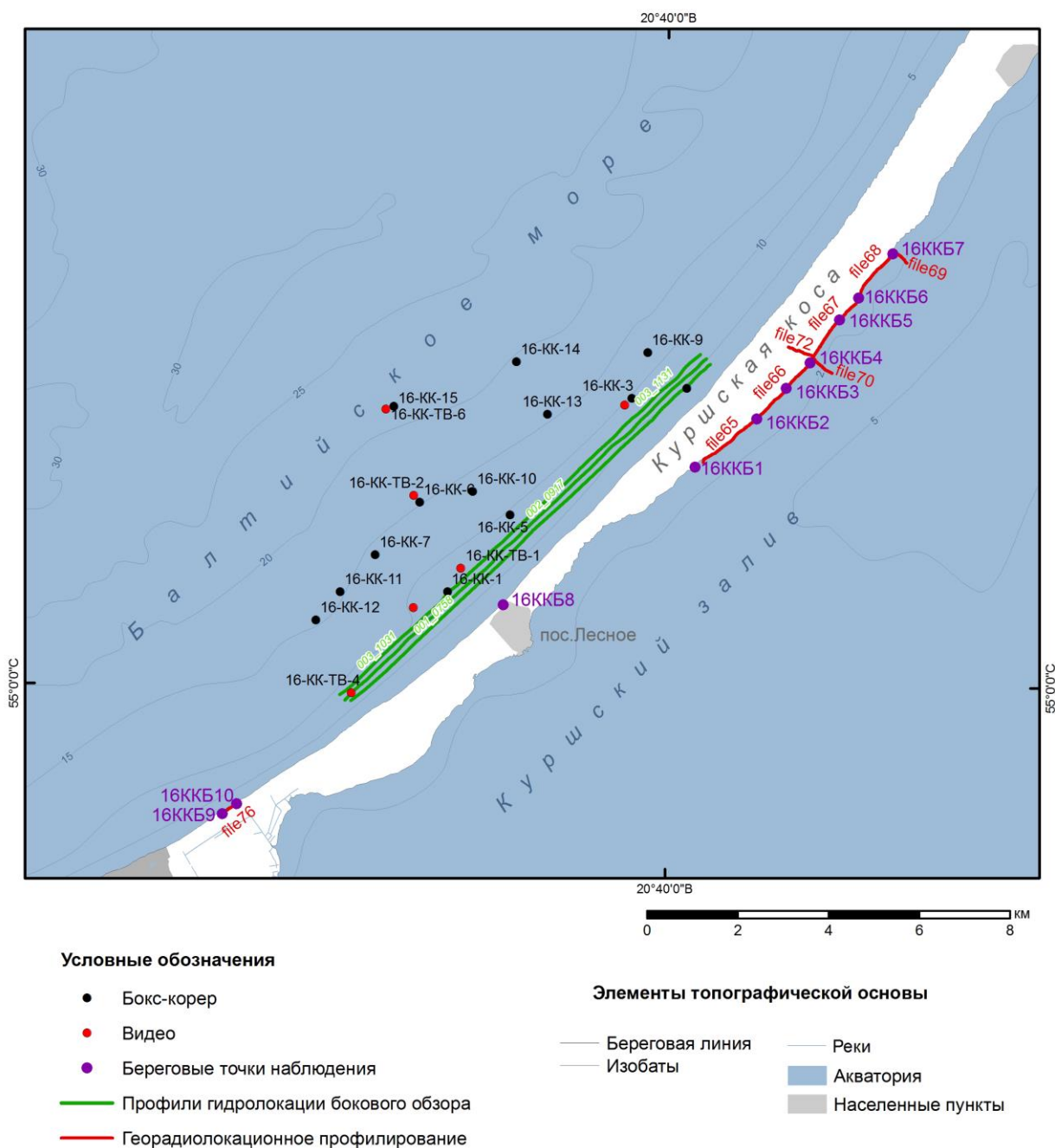


Рис. 141. Карта фактического материала полевых работ 2016 г. на ключевом участке «Основание Куршской косы»

Береговые маршруты выполнялись как с использованием автотранспорта, так и с применением моторной лодки. Основное внимание береговых работ было сосредоточено на изучении проявления экзогенных процессов на лагунном берегу Куршской косы. В ходе работ был произведен осмотр песчаных подвижных дюн на лагунном берегу Куршской косы. Зафиксированы участки проявления осыпных процессов, размыва берегов, разрушения растительного покрова, обрушения деревьев.

Одновременно с обзорными работами проводилось георадиолокационное профилирование с борта моторной лодки (рис. 142) с целью установления потенциальных зон проявления современных процессов глинистого диапиризма (выжимания массивом дюн глинистого осадка).

Также георадарное профилирование было выполнено вкрест простирания дюнной гряды с целью уточнения строения дюнного массива. Всего вдоль береговой зоны Куршской косы с лагунной стороны было выполнено 7,52 пог.км георадарной съемки.

Экзогенные геологические процессы

Территория Куршской косы официально находится под защитой Конвенции ЮНЕСКО об охране всемирного культурного и природного наследия от 16.11.1972 г. По происхождению все берега Куршской косы могут быть отнесены к аккумулятивным песчаным. Однако вследствие специфических особенностей ее геологического строения и морфологии Куршская коса является чрезвычайно уязвимым природным объектом, чувствительным к любым изменениям литодинамической обстановки.

Вдоль морского побережья Куршской косы выделяется ряд участков, где при экстремальных штормах возникает угроза прорыва косы, что не только влечет за собой угрозу транспортному сообщению, но и может привести к разрушению экосистемы Куршского залива. Причиной размыва берегов и прилегающей части подводного берегового склона в прикорневой части косы является дефицит наносов, который определен в 40 млн м³. Положение усугубляется глобальными тенденциями развития климата, что сопровождается повышением уровня моря и увеличением частоты сильных штормов.

По данным инструментального многолетнего мониторинга, выполняемого сотрудниками АО ИО РАН по сети опорных профилей, средние

скорости размыва морского берега Куршской косы на абразионных участках составляют около 0,5 м в год [Бобыкина и др., 2008]. При этом по материалам ВСЕГЕИ [Информационный бюллетень ..., 2014] процессы размыва и деградации морского берега вдоль Куршской косы проявляются неоднородно в различные годы и в штормовые периоды затрагивают разные участки авандюны. С этим связан большой разброс значений трансформации береговой линии по мониторинговым наблюдениям.

Используя материалы дистанционного зондирования, был проведен расчет динамики смещения авандюны Куршской косы для периода с 2007 года (рис. 143).

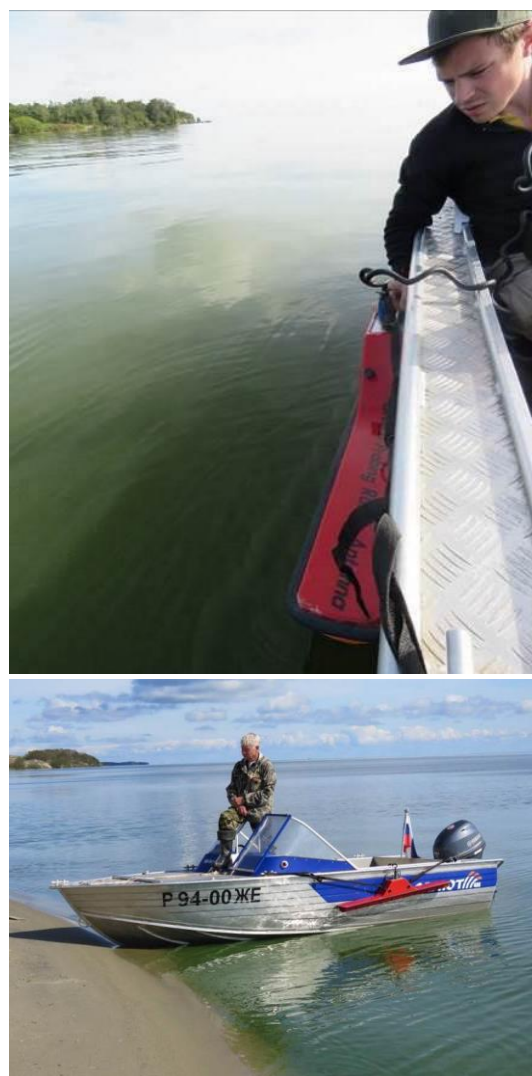


Рис. 142. Георадиолокационное профилирование вдоль лагунного берега Куршской косы с борта моторной лодки

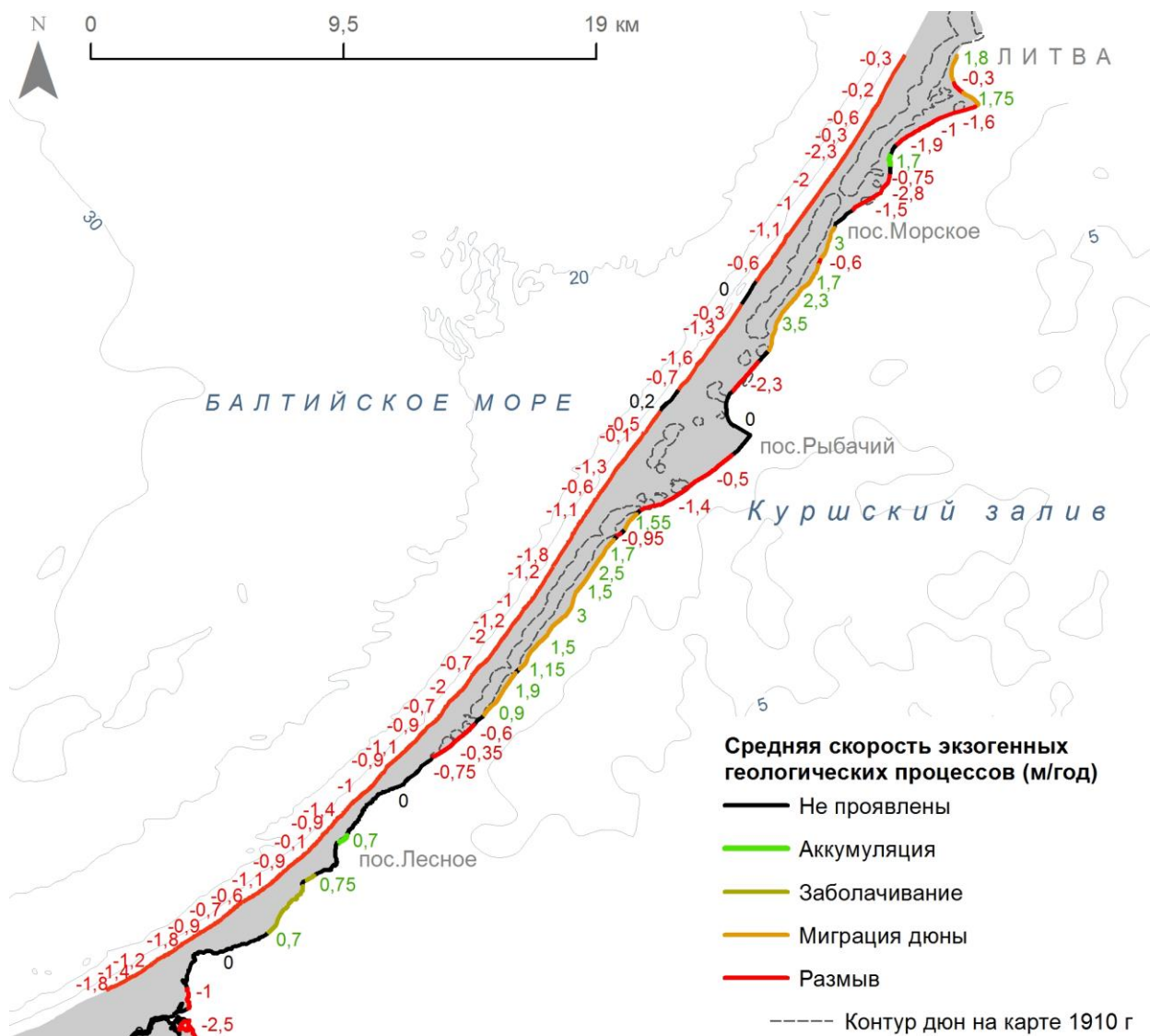


Рис. 143. Тип экзогенных геологических процессов на побережье Куршской косы и средние скорости трансформации берегов Куршской косы по данным анализа космоснимков и топографических карт

Практически на всем протяжении российской части Куршской косы с 2007 г. фиксируется отступление морского склона авандюны: в корневой части смещение достигает 10 м; в пос. Лесное за счет берегозащитных мероприятий смещение около 0; на отрезке от 12 км до 25 км смещение около 8–10 м; к пос. Рыбачий смещение затухает и на 31 км наблюдается даже незначительный прирост авандюны; между пос. Рыбачий и пос. Морское смещение неоднородно от 0 до 10 м; на 41 и 42 км наблюдается смещение от 10 до 12 м; с 43 км и севернее смещение авандюны около 2 м. Расчет показал, что устойчивое отступление берега наблюдается в южной половине российской части Куршской косы со средней преобладающей скоростью 1,5–0,5 м за год. К северу от пос. Рыбачий наблюдается более неоднородное

распределение скоростей отступления авандюны от 0 до –2 м в год.

В 2016 г. работы на морском берегу Куршской косы были сконцентрированы на юге участка с неоднородным геологическим строением береговой зоны. По данным предыдущих исследований, данный участок характеризуется наличием органогенных отложений (торфов) в основании пляжа и авандюны. Как показывают наблюдения, торф благодаря своим физическим свойствам в приурезовой зоне может деградировать высокими темпами, с отрывом и выбросом на берег пластов площадью несколько квадратных метров.

Для установления геологического строения было проведено георадиолокационное профилирование общей протяженностью 600 м. На берегу наблюдались реликты леса (пни

деревьев *in situ*), существовавшего здесь в период, когда авантюна находилась мористее (рис. 144). Корневища реликтовых пней погружены в торфяные слои. Также в ходе выполнения работ в береговом уступе авантюны были установлены прослой палеопочв.

Георадарные профили 74,75,76 и 77 выполнены в районе корня Куршской косы с антенной 400 МГц. 74 и 77 профили пройдены по нормали к урезу Балтийского моря. На этих радарограммах однозначно выделяется тело дюны, сложенное песчаным материалом с наклонной слоистостью, ниже которого прослеживается субгоризонтальная отражающая граница, предположительно связанная с торфяным слоем (рис. 145). На вдольбереговых профилях 75 и 76, на фоне косослоистых песков выделяются 2 отражающих горизонта: верхний связан с кровлей торфов (погребенный лес), а нижний с уровнем грунтовых вод. Спектр записей смещен в низкочастотную область из-за высокой водонасыщенности песков (рис. 146).

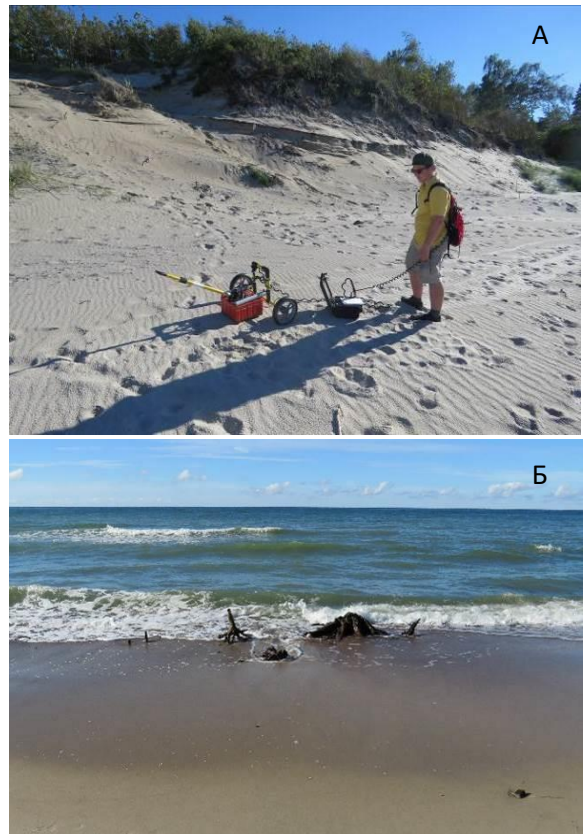


Рис. 144. Георадиолокационное профилирование в зоне развития торфов, погребенных под пляжем в корневой части Куршской косы: А – георадар; Б – реликты (пни) леса (поздний голоцен).

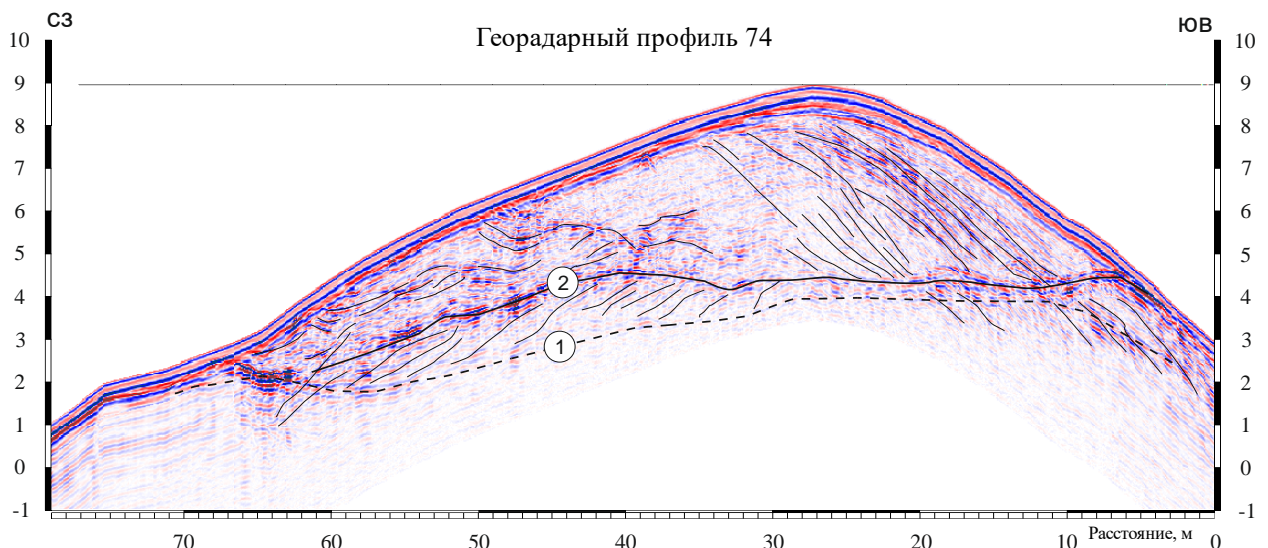


Рис. 145. Георадарный профиль 74: 1 – уровень грунтовых вод, 2 – торфяной слой

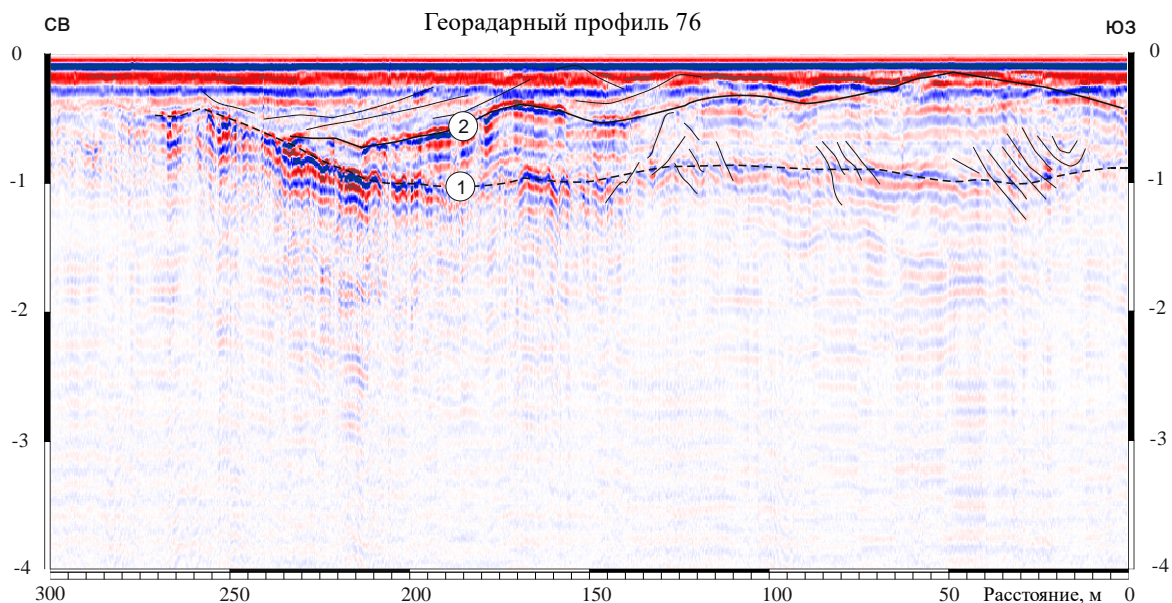


Рис. 146. Георадарный профиль 76: 1 – УГВ, 2 – слой торфяной

В результате проведения ГЛБО были уточнены площади распределения типов донных грунтов и околонуены площади распространения грубообломочного материала, маркирующие зоны активного размыва морского дна (рис. 147, 148), а

также уточнена конфигурация этих зон и их изменений вдоль морского побережья Куршской косы, позволившая существенно модернизировать литологическую карту-схему поверхности морского дна.



Рис. 147. Мозаика профилей ГЛБО на участке «Основание Куршской косы» (2016 г.)

Особый интерес на морском склоне Куршской косы представляют собой выходы реликтовых голоценовых лагунных илов (рис. 148, 149), дегидратированные, уплотненные, дислоцированные и выжатые на поверхность дна как результат механизма «глинистого диапиризма» в результате перемещения массива дюн на восток. Эти выходы представляют собой своеобразные оазисы бурного развития бентоса среди

относительно пустынных полей песчаных грунтов. В настоящее время подобные процессы наблюдаются на лагунном береговом склоне Куршской косы.

Обращает на себя внимание крайнее разнообразие гранулометрического состава донных грунтов, что отражено и на результирующей литологической карте-схеме поверхности морского дна на рис. 150.

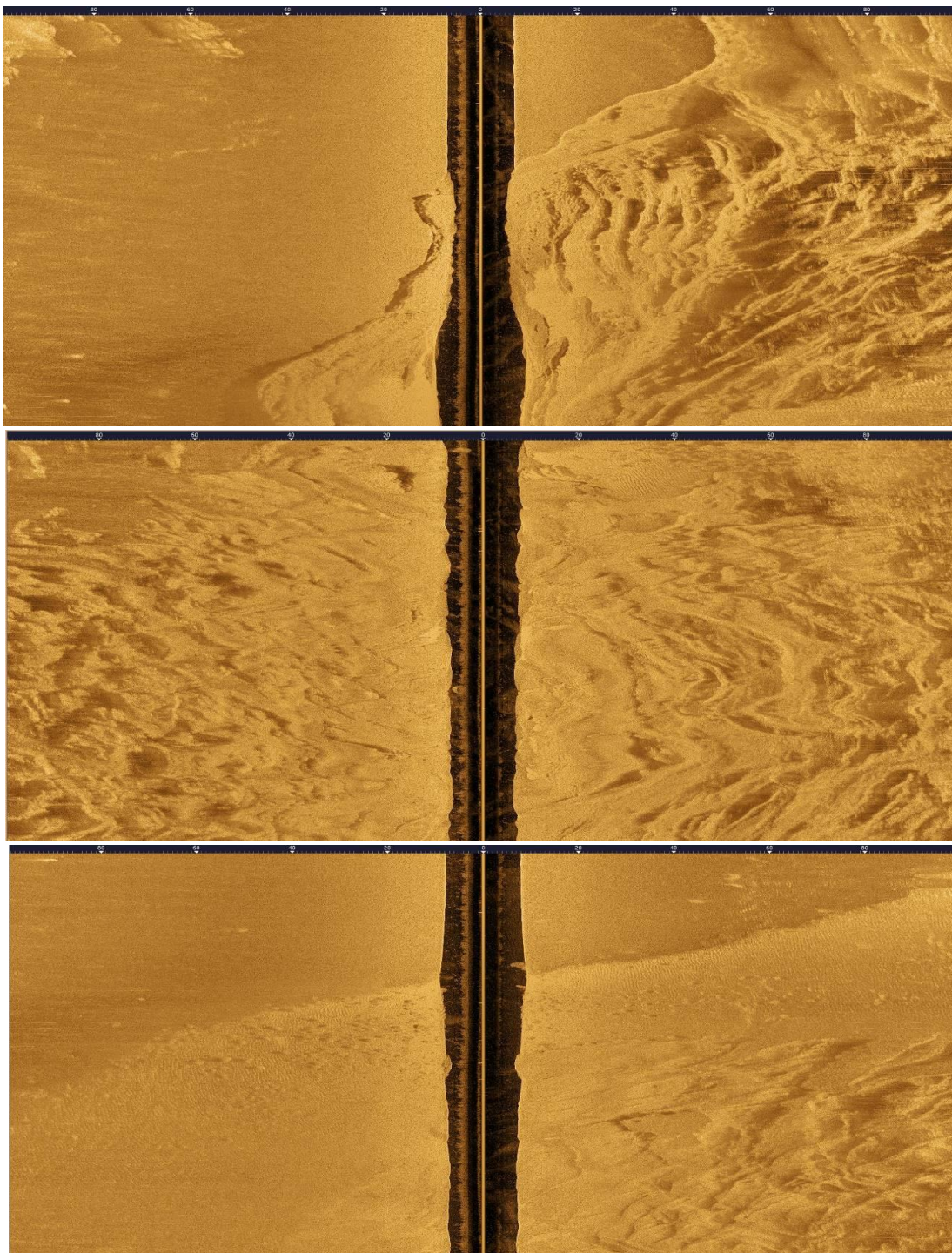


Рис. 148. Примеры записи ГЛБО (2016 г.) на площади выходов на поверхность дна реликтовых голоценовых лагунных дегидратированных илов в результате процесса «глинистого диапиризма»



Рис. 149. Подводные фотографии поверхности обнажений реликтовых голоценовых лагунных дегидратированных илов (станция 16-КК-ТВ-4)

На лагунном берегу Куршской косы процессы трансформации берегового контура контролируются преимущественно четырьмя факторами: миграция дюн в сторону Куршского залива, волновой размыв берегов, локальная аккумуляция и заболачивание побережья. По данным расчетов по сети профилей на основе картографических материалов разных лет Е. Н. Бадюковой [Бадюкова и др., 2010] было установлено, что лагунные берега испытывают значительный волновой размыв, на отдельных участках достигающий 3,5 м в год. Однако лагунный берег Куршской косы обладает значительной геоморфологической изменчивостью и требует, как и морской берег, расчетов трансформации контура вдоль всего побережья.

По данным анализа картографического материала и актуальных космоснимков, средняя скорость эолового перемещения открытых дюн Куршской косы в сторону залива составляет от 1 до 2 м/год. Достигнувшие берега дюны подвергаются волновому размыву. На некоторых участках заросших и неподвижных дюн размыв происходит со скоростью 0,5–0,7 м/год (рис. 151).

В результате выдвигания песчаных масс в пределы акватории, и погребении под ними лагунных осадков может наблюдаться явление современного диапирообразования глинистых лагунных илов в приурезовой зоне.

В ходе работ на участке берега в районе турбазы «Дюны» проявление диапиризма установлено не было. В зоне непосредственного контакта дюн и акватории наблюдались песчаные «хвосты» дюн на подводном склоне – области, где происходит наиболее значительный вынос песка с дюн на дно. Здесь же наблюдалось образование поверхностных осыпей дюнного песка в местах, где вода размывала основание склона (рис. 152). Обследование показало, что лагунный берег Куршской косы на значительном протяжении подвержен развитию осыпных процессов, инициированных размывом берега водами залива.

С целью обнаружения возможных выходов диапиров лагунных илов в результате перемещения дюнного массива на акватории Куршского залива были выполнены георадиолокационные профили 65, 66, 67, 68 и 69 с использованием антенны 75 МГц. На радарограммах отчетливо прослеживается отражение от границы вода–дно на глубинах около 1,5 м, характер границ изломанный, с частыми отдельными пиками, предположительно, выходами реликтовых илов (рис. 153), что требует заверки донным отбором проб грунтов.

Профили 71 и 72 выполнены по нормали к урезу Куршского залива. На записях выделяется верхний комплекс – пески, слагающие дюну, который характеризуется наличием наклонных осей синфазности, что характерно для дюн; ниже прослеживается субгоризонтальная граница, секущая другие более слабые отражающие границы – уровень грунтовых вод (УГВ) (рис. 154).

Выводы по состоянию геологической среды на участке «Основание Куршской косы»

Результаты вдольбереговых маршрутов, выполненных в пределах ключевого участка «Основание Куршской косы», показали, что на протяжении периода наблюдений участки активного размыва авандюны изменяют свою протяженность и расположение, в то же время занимая более значительную площадь по сравнению с участками стабилизации.

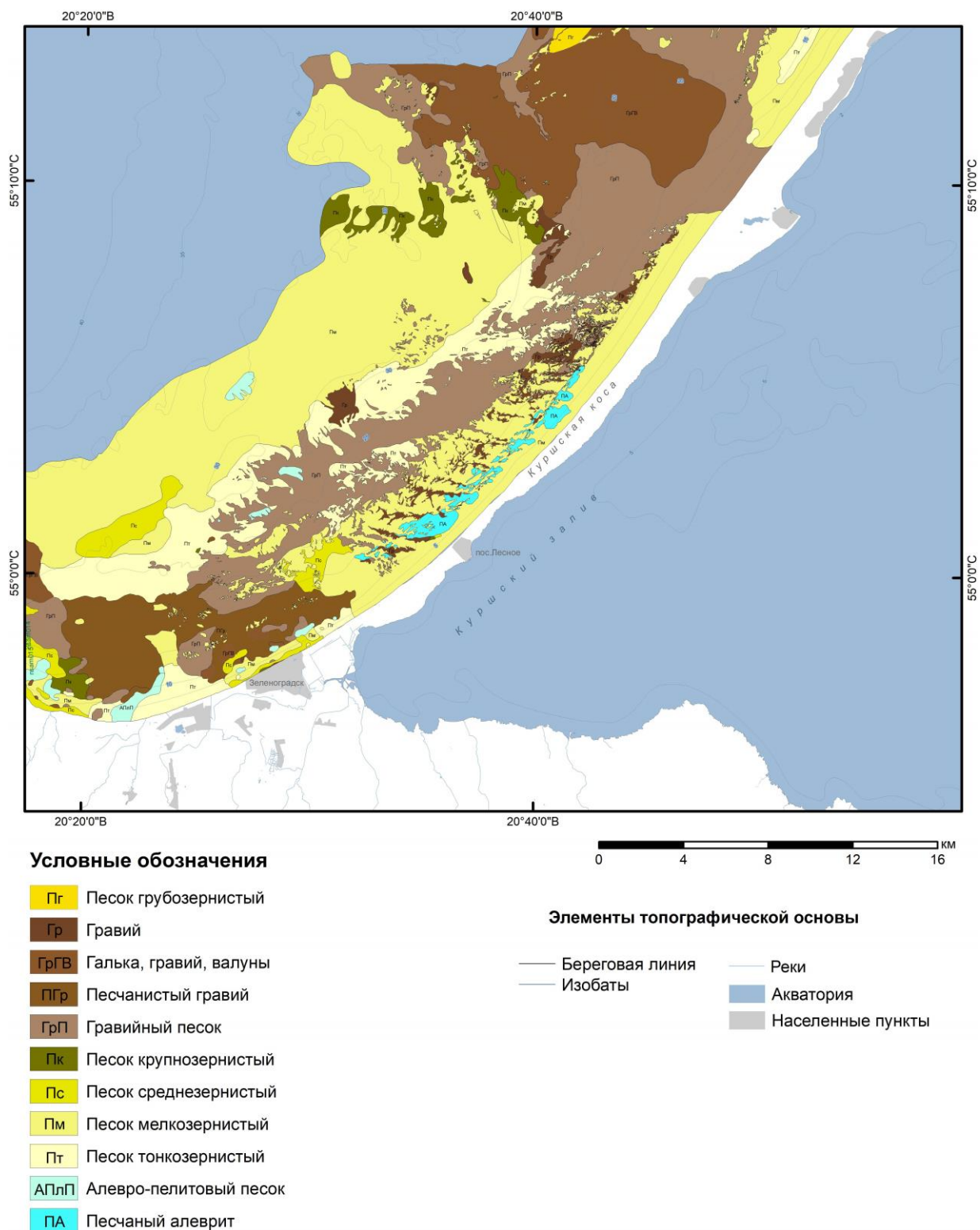


Рис. 150. Литологическая карта-схема поверхности морского дна на участке «Основание Куршской косы»



Рис. 151. Размыв стабилизированных дюн на лагунном берегу Куршской косы, обрушение деревьев



Рис. 152. Осыпание склона дюны на участках контакта дюны с водой

Георадарный профиль 65

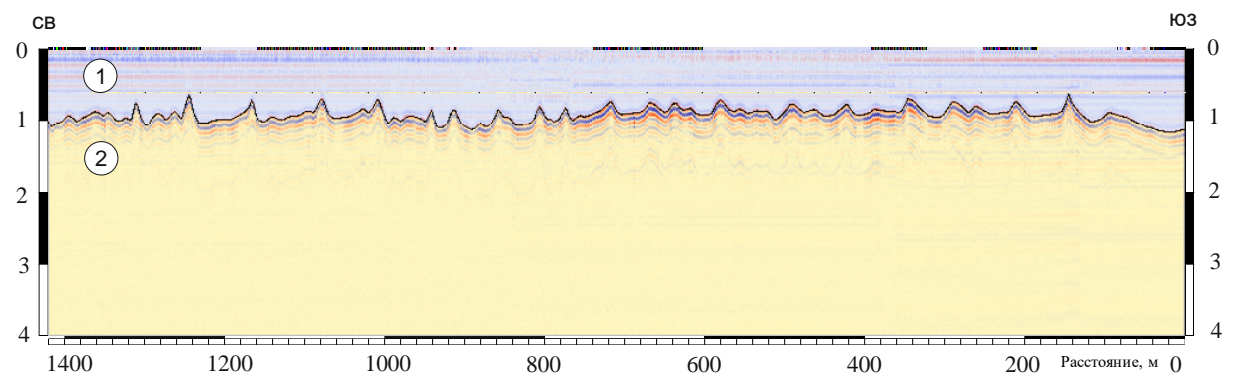


Рис. 153. Георадарный профиль 65: 1 – вода, 2 – донные отложения

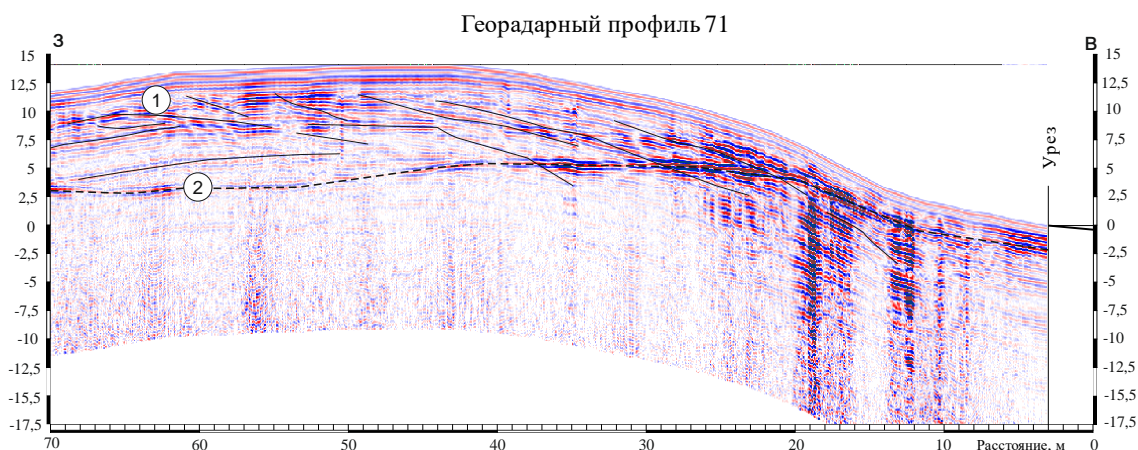


Рис. 154. Георадарный профиль 71: 1 – пески косослоистые, 2 – уровень грунтовых вод

Можно предположить, что на морском побережье продолжится размыв авантюны, что приведет к отступанию берега на разных участках в соответствии со средними скоростями размыва берега вдоль косы. Менее подверженным размыву сохраняется участок берега напротив пос. Лесное и пос. Рыбачий. В районе пос. Морское берег будет подвержен интенсивному размыву на локальных участках, чередующихся с зонами слабого размыва.

Лагунное побережье Куршской косы развивается под действием природных факторов, приводящих к разнонаправленному процессу трансформации берегового контура. Южная часть берега косы будет подвержена затоплению, вызванному повышающимся уровнем Балтийского моря. Участки затопления выделяются к северу и югу от пос. Лесное. Наибольшему затоплению будет подвержена территория корневой части косы вблизи контрольно-пропускного пункта Национального парка, а также территория вдоль устья реки Тростянки. На участках дюнного пояса Куршской косы между

пос. Лесное и пос. Рыбачий, а также на север от него в результате эолового перемещения береговая линия лагунного берега может выдвинуться на расстояние до 300 м. Те участки дюн, которые не подвержены ветровому воздействию, будут размываться волнами Куршского залива, достигнув максимальных величин отступания берега до 250 м. Выступ лагунного берега вблизи пос. Рыбачий, сложенный преимущественно моренным материалом, в значительно меньшем объеме будет подвержен размыву.

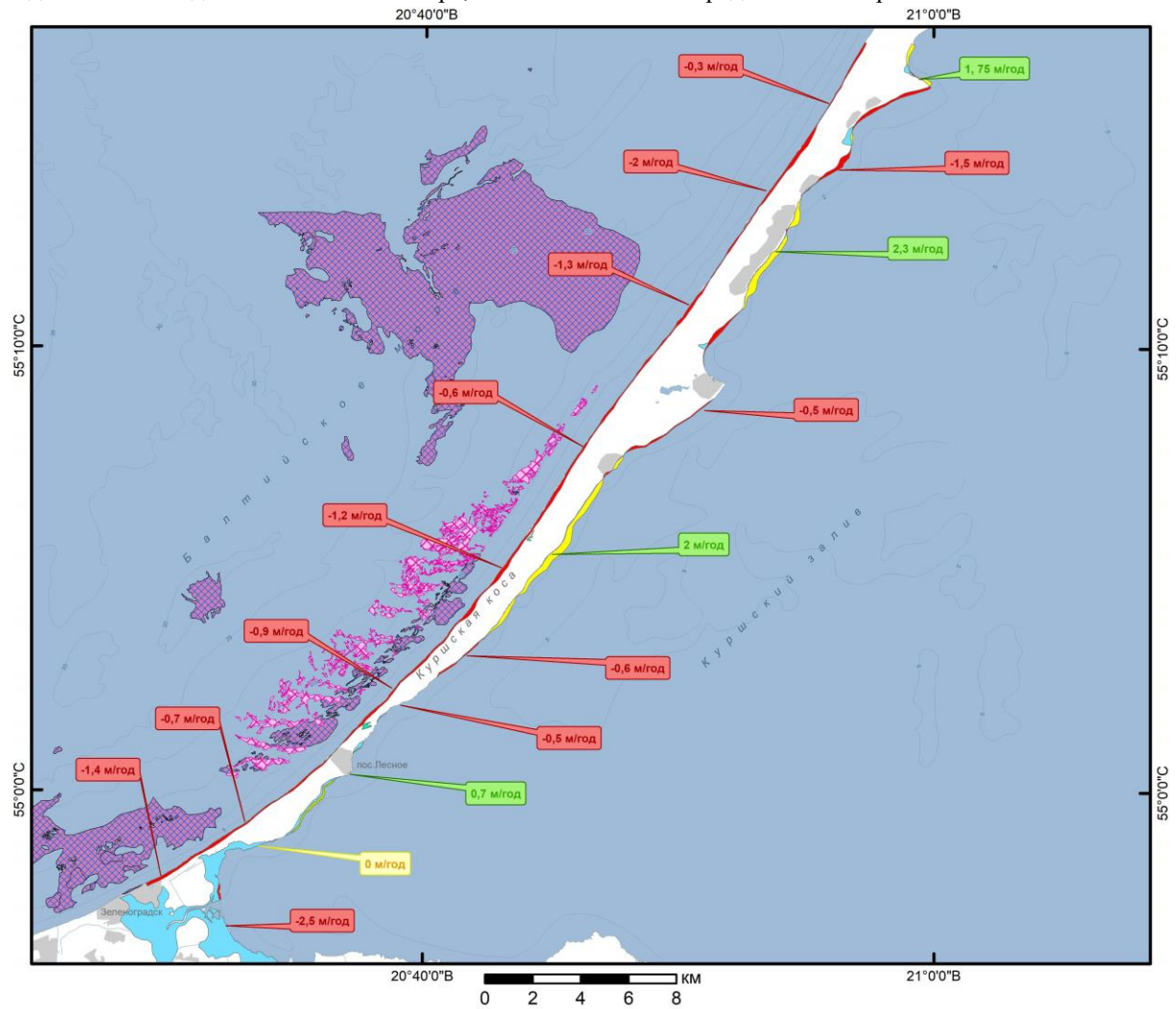
Сопоставление участков максимального размыва с объектами инфраструктуры Куршской косы позволило установить, что наибольшей опасности подвержена автодорога Р515 (Зеленоградск–Куршская коса–Литва). На участке вблизи КПП в результате размыва авантюны и затопления побережья лагунными водами автодорога попадет в зону прямого воздействия штормовых вод, что приведет к ее разрушению и прорыву косы с проникновением морских вод в залив (рис. 155).



Рис. 155. Прогноз развития Куршской косы: корневая часть косы (левый рисунок); участок косы к северу от пос. Лесное (правый рисунок)

Второй участок Куршской косы, где может произойти размыв, находится в 1,5 км к северу от пос. Лесное. Размыв авантюны может со временем достичь автодороги, однако локальное понижение рельефа к востоку от дороги может стать зоной подтопления, которая легко сможет соединиться с водами Балтийского моря, что в

свою очередь приведет к полному прорыву косы (рис. 155, б). На остальном побережье Куршской косы в наиболее динамичных зонах, где будет происходить значительная переработка берегов, объекты инфраструктуры не расположены. Результирующая карта-схема проявления опасных ЭГП представлена на рис. 156



Условные обозначения

- Размыв дна течениями и волновыми процессами
- Линейный размыв дна течениями и волновыми процессами (эрозионные ложбины стока)
- 1 м/год Скорость отступления берегов
- Абразионно-осыпной процесс
- Локальная аккумуляция
- Миграция дюн
- Затопление
- Подтопление
- Заболачивание

Элементы топографической основы

- Береговая линия
- Изобаты
- Реки
- Акватория
- Населенные пункты

Рис. 156. Карта-схема проявления опасных ЭГП на ключевом участке «Основание Куршской косы»

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные выводы по работам на ключевом участке «Губа Териберская» (Баренцево море)

Установлены локальные проявления обвальных и оползневых процессов, а также дефляция и эоловая аккумуляция на участках к востоку от устья реки в приустьевых участках. В целом, береговая динамика замедленна. Экзогенные процессы опасности для береговой инфраструктуры не представляют, 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 к губе Орловка.

Рекомендации. Для полной оценки проявлений ЭГП необходимо расширить к западу площадь участка, охватив обследованием губу Орловка, и провести комплексные работы (НСАП и ГЛБО) в акваториальной части участка в районе предполагаемых проявлений подводных оползневых процессов. В силу небольшой интенсивности проявления экзогенных процессов на участке «Губа Териберская» периодичность проведения наблюдений не должна превышать один раз в два – три года.

Основные выводы по работам на участках в районе «Кандалакшский залив» (Белое море)

Основные выводы по работам на ключевом участке «Кандалакшский залив – глубинный район»

На значительной части обследованных подводных склонов по данным НСАП фиксируются проявления оползневых процессов (гравитационное смещение осадков). Физико-механические свойства донных грунтов (ил глинистый) обуславливают их высокую текучесть, что определяет возможность грунтов перемещаться вниз по склону при углах падения склонов $2,5^{\circ}$ – 5° и более. Площадь склонов с углами падения более $2,5^{\circ}$ – 5° составляет более 40% от общей площади склонов. Перемещение осадков вниз по склону происходит двумя основными способами: а) постоянное и равномерное перемещение осадка вниз по склону после его осадения, б) лавинообразные оползневые процессы при накоплении критической мощности грунтов. Оползневые процессы могут быть спровоцированы проявлениями сейсмической активности и техногенным воздействием (проведение подводных инженерно-технических работ, прокладка подводных коммуникаций и т. д.). Выходы подземных вод, связанные с активизированными тектоническими нарушениями, не оказывают

заметного влияния на экзогенные геологические процессы.

Рекомендации. Предлагается расширение работ на участке «Кандалакшский залив – глубинный район» на запад, где, по данным геолого-геоморфологического анализа с использованием модуля Spatial Analyst инструментов геообработки ArcGIS, выявлены площади, которые по своим характеристикам потенциально наиболее подвержены подводным оползневым процессам. В 2016 г. Министерством обороны РФ в этом районе геолого-геофизические работы были запрещены. Целесообразно также проведение детализирующих работ на ключевом участке «Кандалакшский залив – глубинный район», что позволит более достоверно охарактеризовать механизмы и масштабы проявления опасных экзогенных геологических процессов в пределах выделенного участка. В силу небольшой степени освоения участка и, соответственно, несмотря на активность экзогенных оползневых процессов, отсутствие непосредственной опасности для каких-либо подводных коммуникаций, периодичность проведения наблюдений не должна превышать один раз в три года.

Основные выводы по работам на ключевом участке «г. Кандалакша – береговая зона»

При обследовании берегов рассматриваемого ключевого участка выявлены локальные проявления активных склоновых (обвальных) и абразионных

процессов. В то же время в целом береговая линия в пределах ключевого участка характеризуется относительно слабо проявленными процессами трансформации берегового контура с преобладанием отступания. Наибольшей деградации подвержены

мысы техногенного берега, сложенные легкоразмываемыми отвалами опилок и фрагментов древесины. Максимальные скорости размыва, установленные по данным ретроспективного анализа космоснимков за 11-летний период, достигают 1,3

Основные выводы по работам на ключевом участке «Пролив Великая Салма»

В пределах территории обследования установлены локальные участки развития склоновых процессов общей протяженностью около 1 км, где в результате денудации скального массива кристаллических пород по зонам трещиноватости в литоральной зоне происходит разрушение блоков и обрушение коренных пород. В настоящее время выявленные ЭГП опасности не представляют. В субаквальной части участка ранее были установлены активные оползневые процессы.

Рекомендации. Для полной оценки проявлений ЭГП необходимо провести небольшой

м/год. Разрушение остальной части неукрепленного берега происходит со скоростью не более 0,3 м/год.

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

объем комплексных работ (НСАП и ГЛБО) в акваториальной части участка в районе предполагаемых проявлений подводных оползневых процессов. В силу небольшой интенсивности проявления экзогенных процессов на участке периодичность проведения наблюдений не должна превышать один раз в два – три года.

Прибрежно-шельфовая зона Белого моря. Для более объективной оценки региональных проявлений опасных экзогенных геологических процессов в прибрежно-шельфовой зоне Белого моря целесообразно расширить список участков проведения наблюдений.

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

Основные выводы по работам на ключевом участке «Северная береговая зона в пределах Курортного района»

Основными опасными экзогенными геологическими процессами, проявляющимися на участке, являются абразионно-осыпные, осыпные, эрозионные и дефляционные. Развитию склоновых процессов способствует морская абразия, связанная с размывом подводного берегового склона и выносом осадочного материала в пределы глубоководных участков дна акватории. Установлена активизация опасных ЭГП гравитационного типа в береговой зоне ключевого участка, которые привели к значительной трансформации берегового профиля, размывам авантюн и повреждению береговой инфраструктуры. Активизация комплекса ЭГП произошла в результате серии сильных штормов осенне-зимнего периода 2015–2016 гг., воздействие которых было усугублено поздним установлением ледяного покрова. Деградация пляжей и подмыв

подножия абразионных уступов привели к активизации гравитационных процессов. Второй цикл активизации ЭГП в береговой зоне был обусловлен аномальным количеством атмосферных осадков летом 2016 г. К аварийным участкам, на которых возможны чрезвычайные ситуации, относятся берег в районе Государственной правительственной резиденции РФ (пос. Солнечное), зоны отдыха «Пляжный Рай» (пос. Комарово), участок Приморского шоссе (пос. Репино).

Рекомендации. Обязательность продолжения мониторинга состояния недр в ежегодном режиме наблюдений летне-осеннего цикла в пределах наблюдательной сети ключевых участков 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 на ключевом участке «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. Выявлено три

участка активизации осыпных, оползневых и эрозионных процессов, в том числе угрожающие жилым постройкам и участку автодороги. Неустойчивости склонов способствует наличие в разрезе уступов глинистых прослоев и зон разгрузки подземных вод. В результате комплексного воздействия морской абразии, снижения

прочностных свойств абразионных уступов, выработанных в песчаной террасе вследствие разгрузки подземных вод и вызванных этими факторами осыпных процессов, опасные ЭПП угрожают участку трассы шоссе Санкт-Петербург–Ручьи в районе 57 км, который требует повышенного внимания и регулярного мониторинга.

Рекомендации. Обязательность продолжения мониторинга состояния недр в ежегодном режиме

Основные выводы по работам на ключевом участке «Копорский залив»

На участке подтверждено широкое распространение активизированных (контрастных) покмарков, что свидетельствует об активных экзогенных процессах. Судя по полученным данным, отсутствует связь образования покмарков с выходами биогенных газов, т. к. на этом участке развиты ледниковые и водно-ледниковые отложения, крайне обедненные органическим веществом. Предполагается, что появление покмарков обусловлено разгрузкой подземных вод вендских водоносных горизонтов. Обращает на себя внимание пространственная близость или совмещение поля покмарков с разрывными нарушениями субширотного простираения и опережающими их зонами трещиноватости, что может способствовать выходу растворов глубинного

Основные выводы по работам на ключевом участке «Район острова Гогланд»

В пределах полей распространения газонасыщенных грунтов выявлены многочисленные воронки покмарков диаметром до 100–200 м с глубиной воронки до 3,5 м. Выяснено, что покмарки в районе о-ва Гогланд формируются, как результат выходов «современного» биогенного газ – метана. Механизм формирования покмарков, а также динамика процесса остается неопределенной. Опасность, которую могут представлять собой процессы, приводящие к формированию покмарков,

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

Основные выводы по работам на ключевом участке «Северное побережье Самбийского полуострова»

Несмотря на предпринимаемые меры по берегозащите в районах наибольшего хозяйственного освоения продолжают проследиваться активные осыпные и оползневые

наблюдений летне-осеннего цикла в пределах наблюдательной сети ключевых участков определяется постоянно фиксируемыми локальными зонами активизации опасных ЭПП. В связи с возникновением экстремальных ситуаций необходимо проведение дополнительных оперативных наблюдений в пределах сети мониторинга и вне ее в весенне-зимние циклы.

происхождения. Наличие разновозрастных генераций покмарков, с выделением молодых, зрелых и реликтовых разностей, указывает на пульсационный характер их возникновения. Однако механизм формирования покмарков до конца не выяснен. Неопределенным остается вопрос времени активации процессов, приводящих к образованию покмарков.

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 послынным выделением грунтовых вод, а также проведением гидрохимического профилирования в придонном слое воды.

для прокладываемых по дну Финского залива трубопроводов не определена. Предполагается, что провалы грунта, происходящие при залповом выбросе газа при образовании покмарка, могут вызвать провисание подводных трубопроводов.

Рекомендации. Для выяснения периодичности и динамики образования покмарков необходимы повторные наблюдения по профилям НСАП, пройденным в 2016 г., с дополнительным отбором кернов грунтов и комплексный анализ физико-механических свойств грунтов, а также газовой составляющей.

процессы, что обуславливает повышенную степень геологической опасности. Развитию активных гравитационных процессов способствует наличие зон разгрузки подземных вод.

Участки побережья в районе м. Таран и м. Купальный сформированы в результате глубоких оползаний склона. Тела этих оползней в настоящее

время активно абрадируются. Для значительного отрезка берега от п. Приморье до п. Отрадное большую роль играет овражная эрозия, приводящая к расчленению побережья и бровки склона. Остальная часть склонов деградирует линейно, равномерно отодвигаясь на всем протяжении своего типа берега. По результатам обследований выделено шесть участков наиболее активного развития опасных ЭГП, в том числе угрожающих жилым постройкам, сооружениям рекреационной и транспортной инфраструктуры.

В совокупности около 5 км береговой зоны на участке от м. Таран до м. Гвардейский стабилизированы посредством укрепления и террасирования склонов, ряд отрезков абразионного берега укреплен в основании уступа без укрепления склона.

Прослеживается четкая связь интенсивности экзогенных геологических процессов на берегу и

Основные выводы по работам на ключевом участке «Западное побережье Самбийского полуострова»

В абразионно-гравитационных уступах побережья зафиксировано проявление активных опасных ЭГП, включающих оползни, осыпи, овражную эрозию, эрозию временными дождевыми потоками. На ряде участков (пос. Янтарный, район мыса Песчаный, пос. Донское) активные ЭГП угрожают жилым строениям и инфраструктуре (очистные сооружения пос. Янтарный). Существенное влияние на проявление ЭГП оказывает техногенная деятельность. Так, незаконные миникарьеры в основании абразионного уступа провоцируют разрушение пляжа, подмыв и обрушение уступов. В то же время сбросы пульпы с Янтарного комбината и размыв техногенных террас являются источниками дополнительного осадочного материала, поступающего во вдольбереговые потоки наносов. В результате естественной дифференциации осадочного

Основные выводы по работам на ключевом участке «основание Куршской косы»

На морском побережье продолжится разрушение (размыв) авантюны, при этом участки активного размыва авантюны изменяют во времени свою протяженность и расположение, занимая более значительную площадь по сравнению с участками стабилизации. Менее подверженным размыву сохраняется участок берега напротив пос. Лесное и

подводном береговом склоне. Совокупность ГЛБО профилирования в 2016 г. подтвердила дефицит песчаного материала на всем ключевом участке, что обуславливает невозможность естественного восстановления пляжей побережья Светлогорских курортов.

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.

материала тонкозернистая часть осадков вымывается и уходит на глубину, обуславливая увеличение мутности вод и, возможно, неблагоприятно сказываясь на биоте. При этом песчаные фракции осадков частично в результате волновых процессов возвращаются на берега, восстанавливая и наращивая не только пляжи Янтарного, но берега к югу от него, вплоть до Балтийской косы.

Установленные по результатам профилирования методом ГЛБО подводные осыпи и обрушения могут представлять опасность в основном только в случае прокладки здесь подводных коммуникаций (кабели, трубопроводы).

Рекомендации. Высокая 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.

пос. Рыбачий. В районе пос. Морское берег будет подвержен интенсивному размыву на локальных участках, чередующихся с зонами слабого размыва.

Лагунное побережье Куршской косы развивается под действием природных факторов, приводящих к разнонаправленному процессу трансформации берегового контура. Южная часть лагунного берега косы, территории, примыкающие к пос. Лесное, территория корневой части косы вблизи

контрольно-пропускного пункта Национального парка, а также территория вдоль устья реки Тростянка может быть подвержена затоплению. Участки дюн, которые не подвержены ветровому воздействию, размываются волнами залива. Наибольшей опасности подвержена автодорога Р515 (Зеленоградск – Куршская коса – Литва). На участке вблизи КПП в результате размыва авантюны и затопления побережья лагунными водами автодорога может попасть в зону прямого воздействия штормовых вод, что приведет к ее разрушению и прорыву косы с проникновением морских вод в залив. Второй участок Куршской косы, где может произойти размыв, находится в 1,5 км к северу от пос. Лесное. Размыв авантюны может со временем достичь автодороги, а локальное

понижение рельефа к востоку от дороги может стать зоной подтопления.

В прибрежных частях Куршского залива (лагуны) наблюдаются современные процессы глинистого диапиризма.

В субаквальной части участка прослеживаются обширные площади размыва морского дна, в том числе зон развития глинистых диапиров, реликтовых в мористой части и современных в береговой зоне лагуны.

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

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Опубликованная

Атлас геологических и эколого-геологических карт Российского сектора Балтийского моря / Гл. ред. О. В. Петров. – СПб.: ВСЕГЕИ, 2010. – 78 с

Бадюкова Е.Н., Жиндарев Л.А., Лукьянова С.А., Соловьева Г.Д. Строение корневой части Куршской косы // Вестник Московского университета. Серия 5: География. – 2010. – № 5. – С. 53–59.

Бобыкина В.П., Болдырев В.Л. Тенденция развития берегов Калининградской области по 5-летним данным мониторинга // Избранные труды Международной конференции «Комплексное управление, индикаторы развития, пространственное планирование и мониторинг прибрежных регионов Юго-Восточной Балтики». – Калининград // Ученые записки Русского географического общества (Калининградское отделение). – 2008. – Т. 4. – Ч. 1.

Гидрогеология СССР. Т. 3, ч. 1. Ленинградская, Псковская, Новгородская области. – М.: Изд-во геологии РСФСР. С.З. территориальное геологическое управление, 1967. – 328 с.

Гидрогеология СССР. Т. 3, ч. 2. Ленинградская, Псковская, Новгородская области. – М. Изд-во геологии РСФСР. С.З. территориальное геологическое управление, 1968. – 63 с.

ГОСТ 5180-2015. Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик.

Государственная геологическая карта России, 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.

Девдариани Н.А. Геологическое строение Беломорской впадины. Автореф. канд. дисс. – М., 1985. – 24 с.

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 покмаков в восточной части Финского залива // Региональная геология и металлогения. – 2013. – № 54. – С. 25–37.

Иванова В.В., Кириевская Д.В., Болотов А.Е. Геохимическая характеристика донных отложений в зоне покмарков в восточной части Финского залива // Балтийский регион. – 2011. – 1 (7). – С. 78–89.

Информационный бюллетень о состоянии геологической среды прибрежно-шельфовых зон Баренцева, Белого и Балтийского морей в 2013 г. / Под ред. О. В. Петрова, А. М. Лыгина. – СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2014. – 136 с.

Коротков А.И. Среднерусский артезианский бассейн: Учебное пособие. – Л.: Изд-во ЛГИ им. Плеханова, 1982. – 61 с.

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

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

Экологический паспорт территории Санкт-Петербурга. Государственная информационная система, территориальный фонд геологической информации Санкт-Петербурга, 2016. (<http://www.infoeco.ru/>).

De Geer G. A geochronology of the last 12000 years // Int. Geolo. Congress XI, Stockholm 1910, Compte Rendu I, 1912.

Raghoebarsing A.A., Pol A., van de Pas-Schoonen K.T., Smolders A.J. P., Ettwig K.F., Rijpstra I.C., Schouten S., Jaap S. Sinninghe Damsté, Op den Camp H.J.M., Jetten M.S.M., Strous M. A microbial consortium couples anaerobic methane oxidation to denitrification // Nature. – 2006. – V. 440. – P. 918–921.

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.: ВСЕГЕИ, 1973.