УДК 502.17:551.435.36(261.243)

М. А. СПИРИДОНОВ, Д. В. РЯБЧУК (ВСЕГЕИ), К. К. ОРВИКУ (Таллиннский ун-т), Л. Л. СУХАЧЕВА (НИИКАМ), Е. Н. НЕСТЕРОВА, В. А. ЖАМОЙДА (ВСЕГЕИ)

ИЗМЕНЕНИЕ БЕРЕГОВОЙ ЗОНЫ ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ФИНСКОГО ЗАЛИВА ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ПРИРОДНЫХ И АНТРОПОГЕННЫХ ФАКТОРОВ

Рассмотрены геологическое строение, геоморфология и современные лито- и морфодинамические процессы, происходящие в береговой зоне восточной части Финского залива, приводится классификация берегов. Установлены природные (геологические, геоморфологические, гидрометеорологические) и техногенные факторы, влияющие на изменение геологической среды береговой зоны на протяжении последних десятилетий.

Ключевые слова: *береговая зона, восточная часть Финского залива, экзогенные геологические процессы.*

Geological and geomorphic features and modern coastal dynamics are discussed in the article. The coastal zone classification is presented. The main driving forces of the coastal geological environment development during last decades – natural (geological, geomorphic and hydrometeorological) and technogenic were established.

Key words: *the coastal zone, eastern gulf of Finland, exogenic geological processes.*

Под береговой зоной понимается естественно организованный «геоблок», представляющий собой зону современного взаимодействия суши и моря, которая охватывает подводный береговой склон и берег [16]. Геологический облик береговой зоны восточной части Финского залива обусловлен сложным развитием в пространстве и времени нескольких фаз Литориновой морской трансгрессии (8200–4500 лет назад) и постлиторинового этапа развития, запечатленных в рельефе как минимум тремя террасовыми уровнями (двумя надводными и одним подводным). Береговая зона Невской губы, как и сама губа, своим происхождением обязаны образованию мощной озерной протоки в виде р. Нева (3,5–2,5 тыс. лет назад), время и механизм которого по-прежнему остаются дискуссионными.

Современное геолого-геоморфологическое развитие береговой зоны Финского залива характеризуется специфическими морфолитодинамическими процессами, которые происходят в постоянно и резко изменяющейся гидрометеорологической обстановке, особенно в ее экстремальных проявлениях. Кроме того, рассматриваемая береговая зона испытывает долговременное комплексное техногенное воздействие, вплоть до возникновения природно-техногенных и техногенных берегов.

Геологические и геоморфологические исследования побережий Финского залива имеют долгую историю и связаны с классическими трудами С. А. Яковлева, К. К. Маркова, Е. Хиппаа, И. И. Краснова, О. М. Знаменской, Д. Д. Квасова, Д. Б. Малаховского и др. В 1970–1980-х годах исследования берегов проводили ЛГУ [2, 9], НИИКАМ, Ленморниипроектом, а также ряд других производственных организаций. Новейшие представления о геологическом строении дна Финского залива получены при геологической съемке шельфа м-ба 1 : 200 000, проведенной ВСЕГЕИ в 1980–2000 гг. [1, 15].

Постановка геологических работ в береговой зоне в конце 1980-х – начале 1990-х годов была вызвана, с одной стороны, необходимостью теоретического осмысления закономерностей лито- и морфодинамических процессов, с другой, диктовалась практическими задачами берегозащиты в связи с резкой интенсификацией абразионных процессов, на ряде участков вышедших на уровень геологических опасностей. Во время экстремальных штормов 1975, 1982, 1983, 1985 и 1986 гг. песчаные пляжи Нарвского залива были размыты на значительном протяжении, абразия затронула даже подножие авандюн. С 1975 по 1990 г. ширина пляжей западнее пос. Лебяжье уменьшилась на 25–30, а у пос. Бол. Ижора на

© М. А. Спиридонов, Д. В. Рябчук, К. К. Орвику, Л. Л. Сухачева, Е. Н. Нестерова, В. А. Жамойда, 2010

60–70 м. Были частично размыты сформировавшиеся здесь ранее песчаные аккумулятивные косы – в первом случае на 230, во втором – на 300 м. В пос. Лоцманское селение в результате абразии был разрушен жилой дом [12]. Напряженным стало положение некоторых участков пляжей Курортного района.

В 1987–1990 гг. сотрудники АН Эстонии совместно со специалистами ВСЕГЕИ проводили ежегодные маршрутные обследования берегов восточной части Финского залива, результатом которых стали монографическое описание и первая классификация берегов в книге К. Орвику «Геология Финского залива» [12].

Исследования динамики береговой линии на основе анализа крупномасштабных аэрофотоснимков выполнены НИИКАМ [7, 17]. Ленморниипроект провел анализ состояния берегозащитных сооружений, разработал и осуществил проект отсыпки экспериментального участка пляжа в пос. Комарово [3]. В 1991–1992 гг. ВСЕГЕИ начал разработки регионального кадастра береговой зоны.

Важный этап береговых исследований в восточной части Финского залива связан с работами ВСЕГЕИ при участии НИИКАМ и Российского гос. гидрометеорологического университета (РГГМУ) в 2004–2009 гг., выполненными по заданиям Управления «Морзащита», Комитета по природопользованию, охране окружающей среды и обеспечению экологической безопасности Администрации С.-Петербурга, а также Департамента по недропользованию по Северо-Западному федеральному округу. Были проведены геолого-геоморфологические маршруты по всему периметру российской части залива, а также детальные площадные геологические работы на прибрежных мелководьях Курортного района, Невской губы, пролива Бьоркезунд, Лужской губы и южной береговой зоны в районе пос. Бол. Ижора. Применялся комплекс методов, включавший гидролокацию бокового обзора (ГЛБО) по сети профилей, позволявший получать площадное изображение морского дна; эхолотирование (ЭЛ), дающее представление о донном рельефе; непрерывное сейсмоакустическое профилирование (НСП) в модификациях «Спаркер» и «Бумер»; пробоотбор поверхностных осадков. При береговых маршрутах производилось литологическое опробование пляжей и сугубого мелководья, реечный промер и георадиолокационное профилирование.

Геологическое строение, тектоника, геоморфология. Практически повсеместно в пределах восточной части Финского залива и его береговой зоны верхняя часть геологического разреза представлена поздне- и послеледниковыми четвертичными отложениями (рис. 1). Обнажения коренных пород встречаются на отдельных участках берегов и подводного берегового склона, а также на вершинах подводных поднятий западной части Выборгского залива.

В основании разреза четвертичных отложений залегает комплекс поздневалдайских ледниковых моренных образований неоплейстоцена (осташковский горизонт). Флювиогляциальные отложения в береговой зоне занимают незначительные площади и распространены в виде затопленных озовых гряд. Озерно-ледниковые отложения (от типичных ленточных до монотонных глин) охватывают значительные площади морского дна. На суше эти отложения представлены в основном песками, за исключением наиболее восточной части рассматриваемой площади, где на дневную поверхность выходят ленточные глины (рис. 1). Голоценовый разрез донных осадков подразделяется на два слоя. Осадки нижнего слоя (отложения Анцилового озера) в пределах дна акватории представлены глинами и алевроглинами [23]. В пределах суши встречаются также песчаные отложения этого возраста. Выше по разрезу залегают осадки морского слоя, время формирования которого приходится на литориновую и постлиториновую стадии развития Балтики. Для береговой зоны как выше, так и ниже уровня моря характерно развитие песчаных литориновых и постлиториновых осадков волнового генетического типа (рис. 1).

Побережье восточной части Финского залива представляет собой классический пример террасированной равнины (рис. 2). Наиболее высокие террасы, расположенные на абс. высотах от 45–50 до 100 м и выработанные в морене, реже в водно-ледниковых отложениях, свидетельствуют о быстром изменении уровня приледникового бассейна [5]. В послеледниковое время сформировались нижние, как правило, аккумулятивные террасы. В Приневской низменности они располагаются на высоте до +8 м, в районе г. Приморск максимум Анциловой трансгрессии отмечен на уровне +26,6 м [19]. В районе пос. Лужки уровень анциловой трансгрессии +30 м. Береговая линия Литоринового моря четко выражена в рельефе абразионными уступами и береговыми валами. Максимальные абс. высоты поверхности морской литориновой террасированной равнины от +8 м (в районе С.-Петербурга) до +15 м (в районе пос. Лужки) [6]. В устье р. Черная выявлено до трех «литориновых» террас, на поверхности которых отмечены береговые валы, дюны, а в пределах первой (нижней) террасы – песчаные косы и пересыпи [4]. Четким ярусным строением характеризуется южное побережье залива (Кургальский и Сойкинский полуострова). Ярусность здесь объясняется особенностями дочетвертичного рельефа, переработанного плейстоценовыми оледенениями и окончательно «отшлифованного» послеледниковыми водоемами.

Верхний «ярус» – это Сойкинская возвышенность, а также Кургаловское и Куровицкое плато, окруженные низменными равнинами, открытыми в сторону залива. В ходе литориновой трансгрессии сформирован нижний ярус рельефа – нижняя терраса. На западном берегу Сойкинского полуострова терраса окаймлена лито-

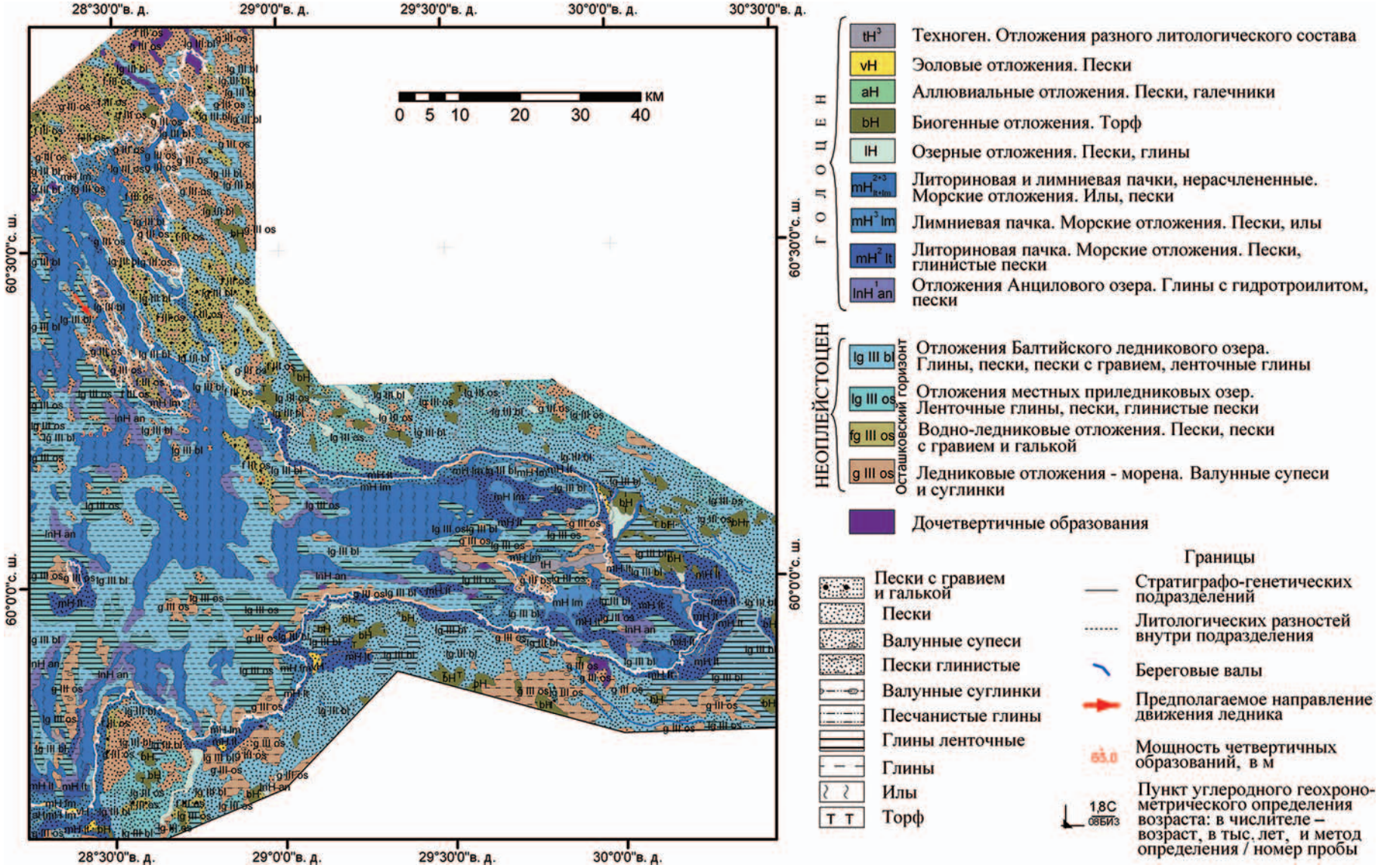

Рис. 1. Карта четвертичных отложений восточной части Финского залива и прилегающей части суши, включая береговую зону. Сост. М. А. Спиридонов, П. Е. Москаленко, Е. Н. Нестерова

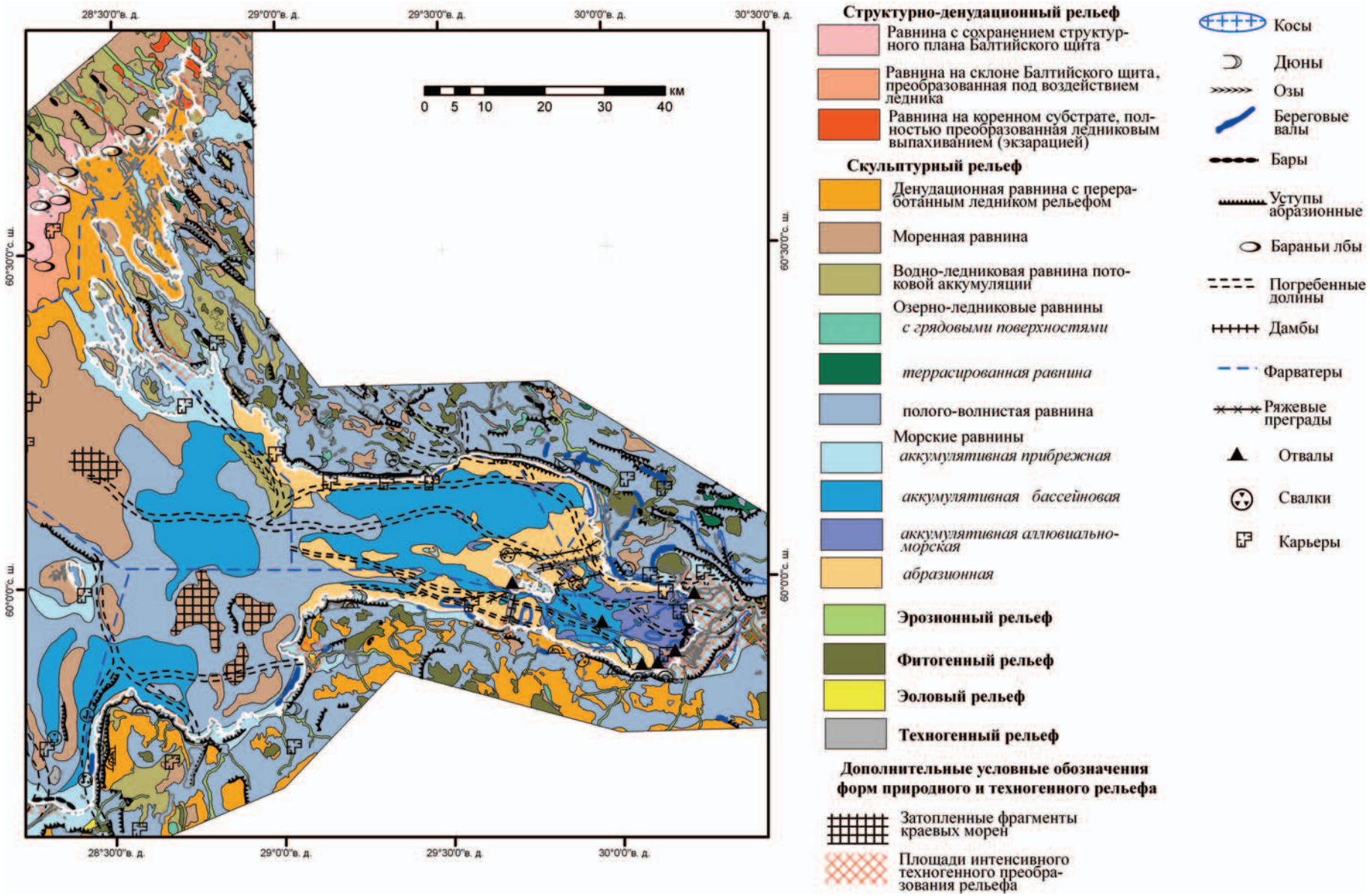

Рис. 2. Геоморфологическая карта восточной части Финского залива и его береговой зоны (М. А. Спиридонов, Е. Н. Нестерова, 2009) с использованием материалов И. И. Краснова (1995)

риновым абразионным уступом. На юге Лужской губы литориновая терраса осложнена вытянутыми параллельно берегу древними береговыми валами. Наибольшее развитие они получили на участке между реками Луга и Хаболовка [11].

Сведения о направленности и интенсивности современных тектонических движений разноречивы. Для рассматриваемого региона в целом характерны современные дифференцированные блоковые движения земной коры [11, 18]. К областям с преобладанием поднятий относятся северное побережье восточной части Финского залива (к западу от м. Флотский) и южное побережье залива от г. Ломоносов до м. Колгомпя в Копорской губе. К областям с преобладанием опусканий отнесены южное побережье к востоку от м. Колгомпя, восточная часть Курортного района и Невская губа [18].

Морфогенетические типы берегов. Согласно принятой классификации [8], в восточной части Финского залива к *группе берегов, сформированных субаэральными и тектоническими процессами и мало измененных морем*, относится берег Выборгского залива (от государственной границы до п-ова Киперорт) (рис. 3, таблица). К *группе берегов, формирующихся преимущественно под воздействием неволновых факторов,* относятся берега устьевых участков крупных рек.

На остальном протяжении Финского залива берега *сформированы преимущественно волновыми процессами.* Наиболее распространен тип *выравнивающихся абразионно-аккумулятивных бухтовых*, выделяются также небольшие по протяженности участки *выровненного абразионного* берега (м. Флотский – м. Песчаный), *выровненного аккумулятивного* берега (от пос. Солнечное до Сестрорецка и в восточной части Нарвского залива), *вторичнорасчлененного абразионно-аккумулятивного бухтового* берега (в районе пос. Бол. Ижора). Берега восточной части Невской губы испытали настолько значительное антропогенное воздействие, что могут быть отнесены к *техногенному* типу.

Для большинства берегов характерен невысокий (около 1 м) уступ размыва. Наибольшей высоты (до 30 м) активные абразионные уступы достигают в южной береговой зоне в районе форта Красная Горка (рис. 4, *А*).

Современные лито- и морфодинамические процессы. Интенсивность размыва (абразии) берегов восточной части Финского залива неодинакова. Северный берег Финского залива, относящийся к шхерному типу, стабилен. Береговая зона состоит здесь из коренных пород (граниты Выборгского массива) и ледниковых отложений и характеризуется обилием островов и узких заливов, изрезанной береговой линией, крайне слабой морфо- и литодинамикой (рис. 4, *Б)*. Широко распространены такие формы рельефа, как друмлины, бараньи лбы, курчавые скалы и валунные банки. В Выборгском заливе и мелких бухтах, особенно в их кутовых частях, защищенных островами и мысами от воздействия волн, имеют место застойные условия с развитием на подводном береговом склоне водной растительности.

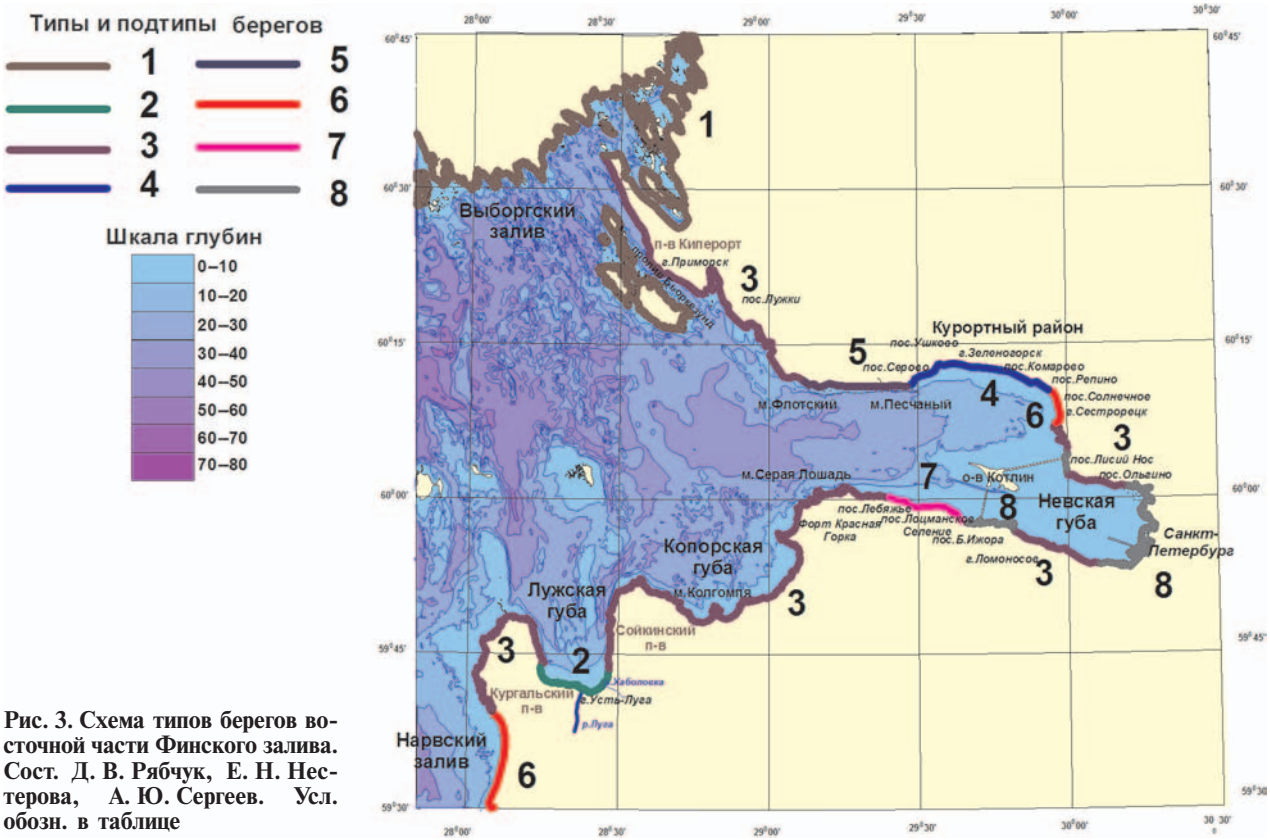

Рис. 3. Схема типов берегов восточной части Финского залива. Сост. Д. В. Рябчук, Е. Н. Нестерова, А. Ю. Сергеев. Усл. обозн. в таблице

Типы берегов восточной части Финского залива

Номер п. п.	Группа, подгруппа	Тип	Подтип
1	I. Берега, сформированные субаэральными и тектоническими процессами и мало измененные морем	Шхерный	–
2	II. Берега, формирующиеся преимущественно под воздействием неволновых факторов *Потамогенные*	Берега аллювиальных равнин	Аккумулятивный песчаный приустьевой
3	III. Берега, формирующиеся преимущественно волновыми процессами *А. Выравнивающиеся*	Абразионно-аккумулятивный бухтовый	Абразионный валунный (моренный) с локальными песчаными пляжами в бухтах
4			Абразионно-аккумулятивный валунный (моренный) с песчаными пляжами в вогнутостях берега
5	*Б. Выровненные*	Абразионный	Абразионный валунный (моренный)
6		Аккумулятивный	Аккумулятивный песчаный
7	*В. Вторичнорасчлененные*	Абразионно-аккумулятивный бухтовый	Абразионно-аккумулятивный песчаный
8	IV. Техногенные	Техногенный	Набережные, насыпные территории, гидротехнические сооружения

Относительно стабильны также берега Копорской и Лужской губ, за исключением зоны активного техногенного воздействия в районе строительства порта Усть-Луга. На наиболее ценных в рекреационном отношении участках береговых зон (Курортный район Санкт-Петербурга, Невская губа, южный берег Финского залива в районе пос. Бол. Ижора) преобладают процессы абразии и отступания береговой линии. Так, в Курортном районе средние скорости отступания берега с 1990 по 2005 г., по данным анализа материалов дистанционного зондирования (МДЗ), 50 см/год, максимальные – 2 м/год [13, 17]. Максимальное отступание берега с 1990 по 2005 г. (до 35–40 м) установлено на участках пляжей в поселках Серово, Ушково, Комарово и Репино. Локальные зоны аккумуляции и выдвижения берега наблюдаются лишь в устьевых участках небольших водотоков. Большинство участков стабильной береговой зоны приурочено к выходам ледниковых отложений с бронирующим валунным бенчем. В 1988 г. на участке Комаровского пляжа длиной 430 и шириной 50 м была произведена экспериментальная отсыпка песка объемом 32 250 м^3, что на длительный период улучшило состояние берега, однако к настоящему моменту весь объем отсыпанного материала размыт (рис. 5).

Сравнение архивных картографических материалов и данных МДЗ позволило проследить трансформацию береговой линии в районе Зеленогорского городского пляжа за более чем 100-летний период. На карте пос. Териоки, изданной в 1909 г., показана широкая (более 50 м)

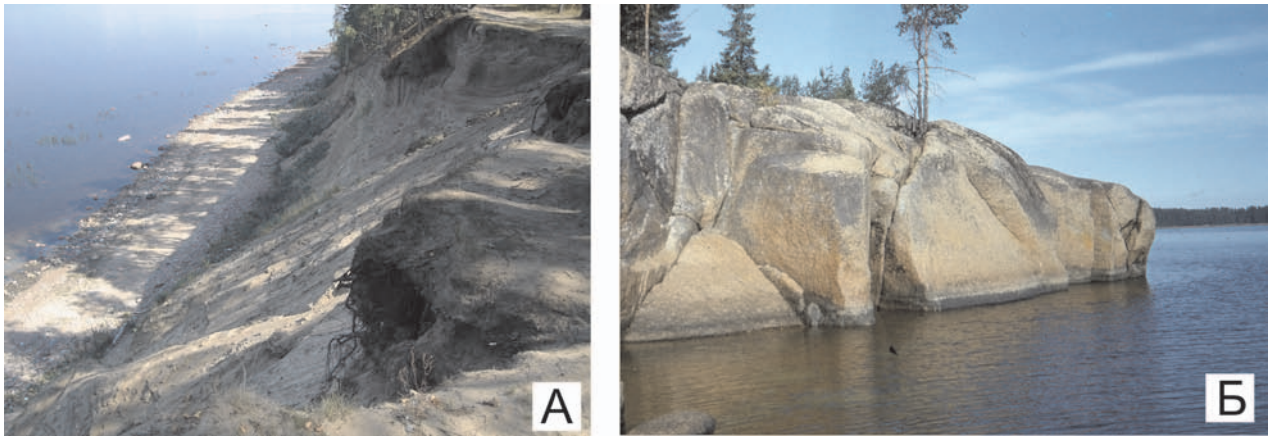

Рис. 4. Активные абразионные уступы высотой более 30 м в районе форта Красная Горка – *А* (фото Д. Рябчук); шхерный тип берега – *Б* (фото К. Орвику)

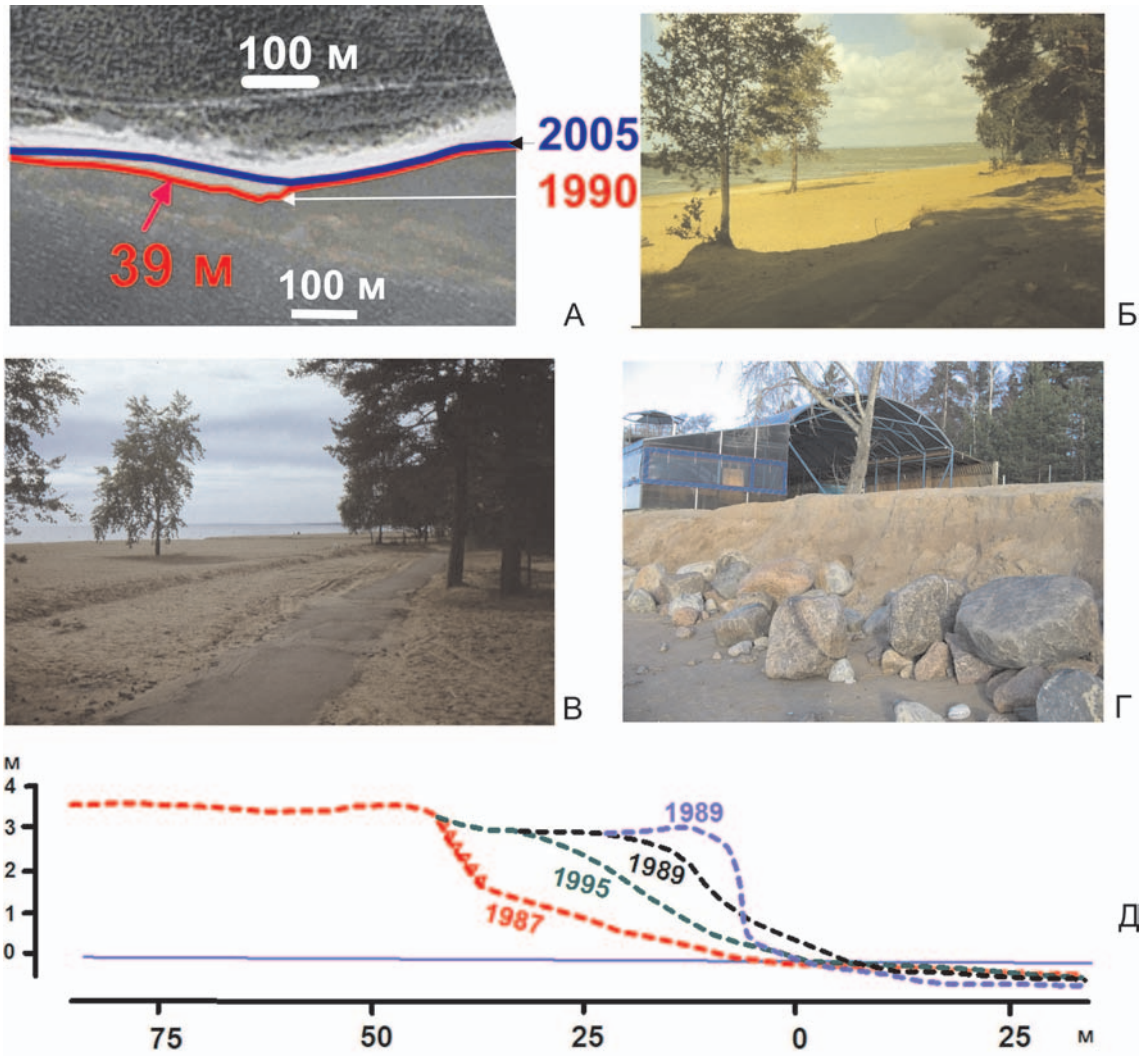

Рис. 5. Участок экспериментальной отсыпки пляжа в пос. Комарово

А – сравнение МДЗ 1990 и 2000 годов, показан участок наибольшего отступания береговой линии; *Б* – вид пляжа до отсыпки песка (фото 1987 г.); *В* – вид пляжа после отсыпки песка (фото 1988 г.); *Г* – вид размытого пляжа (фото 2006 г.); *Д* – эволюция профиля пляжа

полоса песчаного пляжа по обе стороны от устья ручья (рис. 6, *2*). В 1910 г. в результате строительства мола, перпендикулярного к береговой линии (рис. 6, *2*, фото 1911 г.), к западу от него песчаный пляж расширился, к востоку берег резко отступил, что хорошо видно на плановом аэрофотоснимке 1927 г. и карте издания 1932 г. (рис. 6, *1, 3*). К 1990 г. берег к востоку от сооружения отступил на расстояние около 100 м (рис. 6, *1, 4*) и удерживался от дальнейшего разрушения с помощью волноотбойных стенок (рис. 6, *5*). С 1990 по 2005 г. линия берега практически не изменилась, так как была укреплена волноотбойными стенками и бунами.

Это типичный пример развития береговой зоны при строительстве перпендикулярных к береговой линии гидротехнических сооружений, которые до сих пор являются основой системы берегозащиты района, не эффективной в условиях дефицита наносов. Применяемые на ряде участков методы «жесткой» берегозащиты (стенки из природного камня, бетонные откосы, глыбовые отсыпки вдоль береговой линии) неэффективны и постепенно приводят к полной деградации пляжей, а также к размыву песчаных отложений на подводном береговом склоне, что снижает рекреационную ценность побережья (рис. 7).

Размыв отмечен также на ряде участков северного берега Невской губы – отступание берега в пос. Лисий Нос и Ольгино с 1990 по 2005 г. составило 20–25 м. Для южного берега Невской губы более характерно зарастание подводного берегового склона гидрофитной растительностью, и процессы размыва здесь незначительны.

Активная деградация песчаного пляжа происходит на юго-западном берегу о. Котлин. В 2006 г. на участке, примыкающем к Комплексу защитных сооружений С.-Петербурга от наводнений (КЗС), наблюдалась аккумуляция песчаного материала. Ширина перемычки, отделяющей заполненный водой карьер от акватории залива, в 2006 г. составляла около 40 м, а в 2008 г.

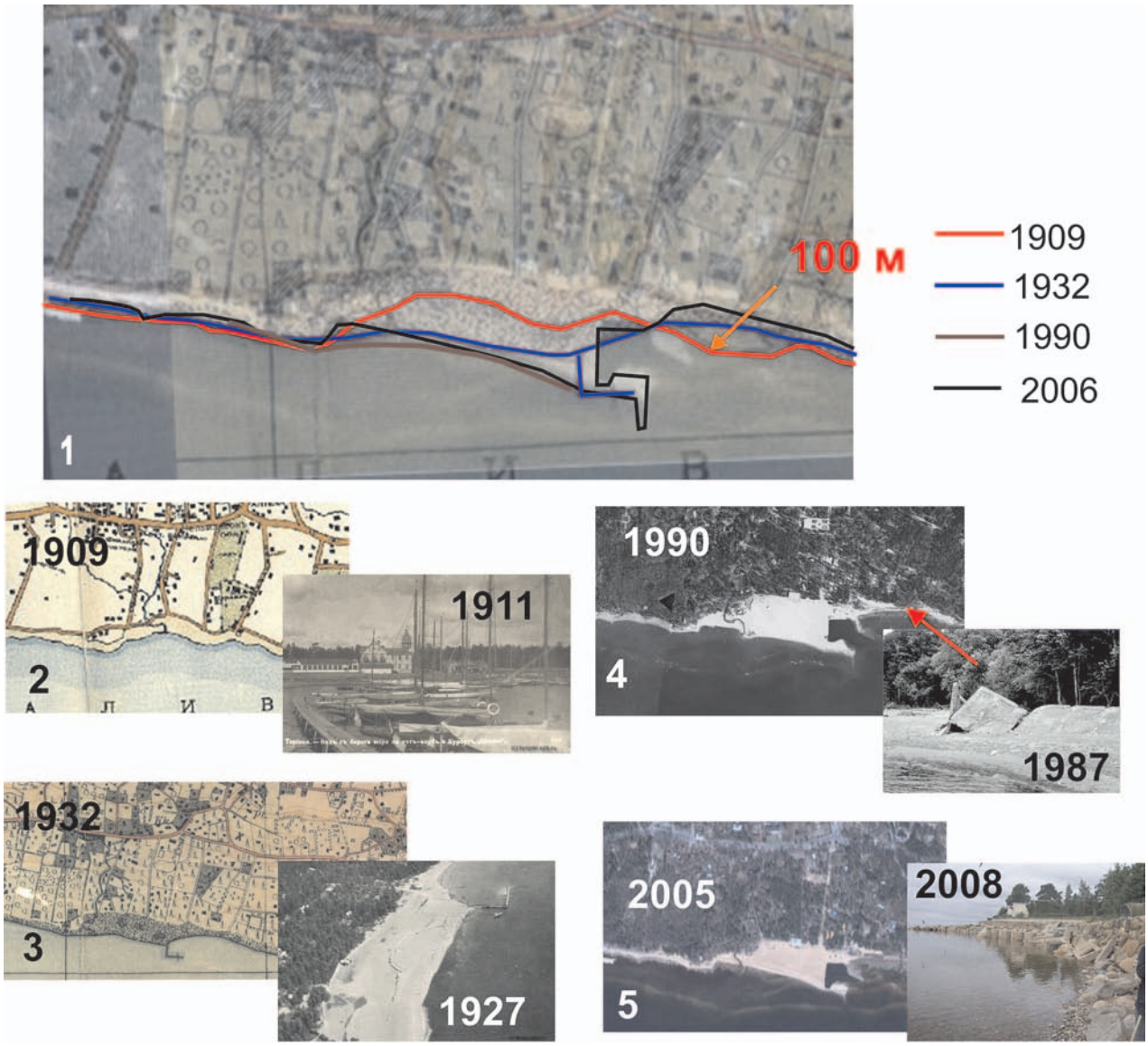

Рис. 6. Изменение береговой зоны в районе Зеленогорского городского пляжа (*1*)

2–5 – пляж Териоки – Зеленогорск на картах и планах: *2* – 1909 г., *3* – 1932 г. (www.Terijoki.ru), *4* – аэрофотоснимок 1990 г., *5* – космоснимок 2005 г. (Google Earth) [20]

Рис. 7. Берегозащитные сооружения пассивного типа в Курортном районе С.-Петербурга

А, Б – волноотбойная стенка в пос.Ушково (*А* – фото К. Орвику, 1987 г.; *Б* – фото Д. Рябчук, 2006 г.); *В* – каменная наброска; *Г* – волноотбойная стенка в г. Зеленогорск (фото 2007 г.)

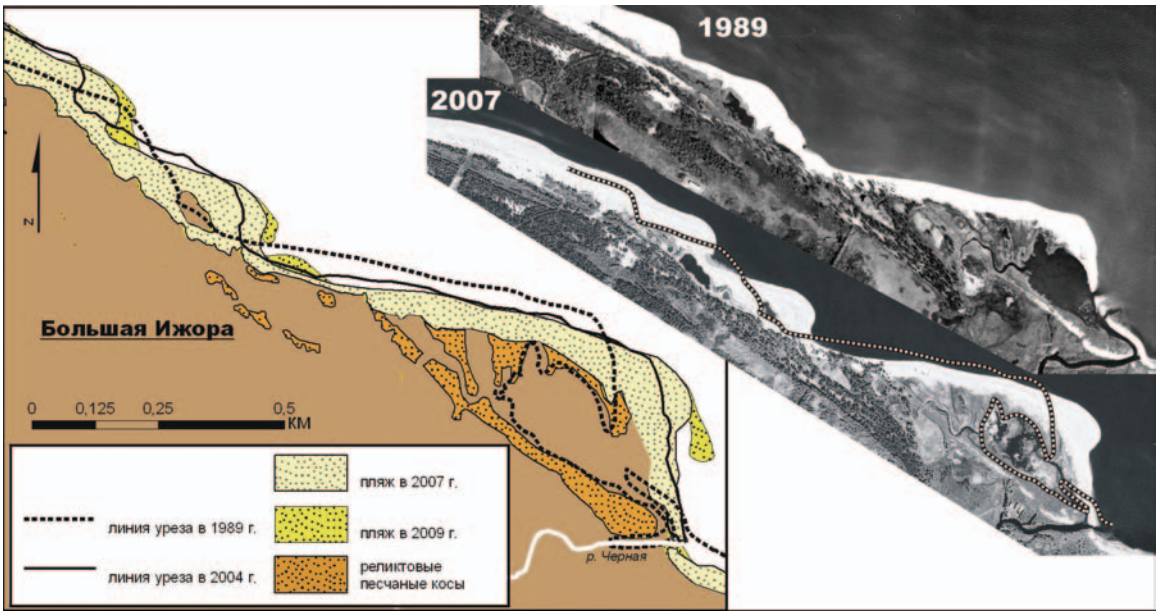

Рис. 8. Эволюция берега в районе развития песчаных кос (пос. Бол. Ижора). Сост. схемы А. Ю. Сергеев

она сократилась до 20–25 м, и непосредственно у КЗС карьер соединился с заливом.

Активной литодинамикой характеризуется южная береговая зона залива в районе пос. Лебяжье – Бол. Ижора. На субширотном участке берег активно размывается с формированием в толще голоценовых морских песков абразионного уступа высотой от 1 до 3–5 м. На участке береговой зоны в районе пос. Бол. Ижора на протяжении позднего голоцена происходило образование сложных песчаных кос, напоминающих по строению косы так называемого азовского типа. Между косами расположены постепенно отчленяемые от акватории и зарастающие лагуны. Здесь наблюдается чередование зон активного размыва, транзита и аккумуляции наносов (рис. 8), амплитуда изменений береговой линии достигает 5–7 м как в зонах абразии, так и на аккумулятивных участках.

Изменения происходят в результате вдольберегового перемещения аккумулятивных выступов. С 2004 по 2009 г. наблюдалась тенденция их перемещения в направлении потока наносов (на восток) со скоростью 13–15 м в год. К западу от устья р. Черная за последние 30 лет сформировался крупный аккумулятивный выступ (рис. 8). К востоку от устья расположена сложная петлевидная коса, дистальный конец которой продолжает расти, в то время как в прикорневой части наблюдается интенсивный размыв и на урезе обнажаются голоценовые лагунные илы.

В южной береговой зоне к востоку от м. Серая Лошадь абразионные процессы наиболее интенсивны у форта Красная Горка, а также на восточном побережье Лужской губы, где береговая линия отступает со скоростью 2–2,5 м/год [21, 22]. Песчаные пляжи в вершинах Лужской и Копорской губ относительно стабильны, за исключением участка строительства Усть-Лужского порта. Стабилен сейчас и пляж в российской части Нарвского залива, который испытал катастрофический размыв после шторма 1975 г. [9]. Он имеет ширину около 50 м, в тыловой его части сформировалась устойчивая авандюна. Признаком стабилизации литодинамических процессов является также наличие на прибрежном мелководье девяти подводных вдольбереговых валов, сложенных хорошо сортированным мелкозернистым песком. Выступающие в море участки берега Кургальского и Сойкинского полуостровов (рис. 3) на значительном протяжении укреплены валунным бенчем.

Основные факторы, определяющие лито- и морфодинамические процессы. Проведенные исследования позволили выявить природные и техногенные факторы, обусловливающие развитие и активизацию литодинамических процессов. Особенно важное значение для лито- и морфогенеза имеют гидрометеорологические факторы, к которым относятся ветровое волнение, нагонные явления и ледовый режим. Ежегодно повторяющаяся, особенно в осенне-зимнее время, активизация циклонических процессов приводит к возникновению штормовых условий в восточной части Финского залива и Невской губе.

По данным ГУ «Санкт-Петербургский центр по гидрометеорологии и мониторингу среды» в последнее десятилетие выявлена тенденция к повышению средних температур в зимние месяцы, и соответственно сдвиганию даты установления стабильного ледового покрова. Данные полевых наблюдений ВСЕГЕИ показали, что наиболее интенсивные размывы берегов наблюдаются в осенне-зимний период при совпадении трех условий – подъема уровня воды (выше 200 см по отметке у Горного института), штормовых ветров западного или юго-западного направления и отсутствии ледового покрова [14]. С учетом тенденции к потеплению в зимний период

и поздними датами установления ледового покрова можно прогнозировать увеличение повторяемости экстремальных размывов берегов.

Следует отметить также, что геологическое строение береговой зоны и прочностные свойства слагающих ее отложений способствует развитию абразионных процессов. Одно из условий интенсификации размыва – дефицит наносов, индикатором которого служит преобладание на сугубых мелководьях на большей части исследованной площади валунно-галечных отложений. Дефицит наносов возникает как в силу естественных причин (истощение запасов песчаных осадков в процессе развития береговой зоны при стабильном уровне моря), так и в результате техногенного воздействия.

Значимость рельефа подводного берегового склона в развитии деструктивных процессов можно проследить в северной береговой зоне залива (Курортный район С.-Петербурга). Вдоль северного берега залива между м. Лаутаранта и пос. Репино выявлена подводная терраса, площадка которой расположена на глубинах 3–5 м. При сравнении результатов промеров 2005–2008 гг. с батиметрическими картами 1980-х годов установлено, что мористый край террасы размывается и отступает в сторону берега. Напротив Зеленогорска размыв подводной террасы достигает максимума – 700–900 м за 30 лет. Пятиметровая изобата проходит здесь на расстоянии менее 500 м от береговой линии. Далее к западу поверхность террасы постепенно выравнивается, а уступ становится более резким [13]. Сравнение состояния террасы и характера береговых процессов показывает их тесную взаимосвязь – чем более размыта терраса, тем больший размыв испытывают берега (рис. 9).

Вдоль подножия террасы на глубинах 8–12 м выявлены подводные эрозионные ложбины. Повторные измерения показали, что эти образования при малой относительной заглубленности (30–50 см) устойчивы во времени. На дне ложбин формируются знаки ряби с высотой валиков до 20 см, расстояние между их гребнями

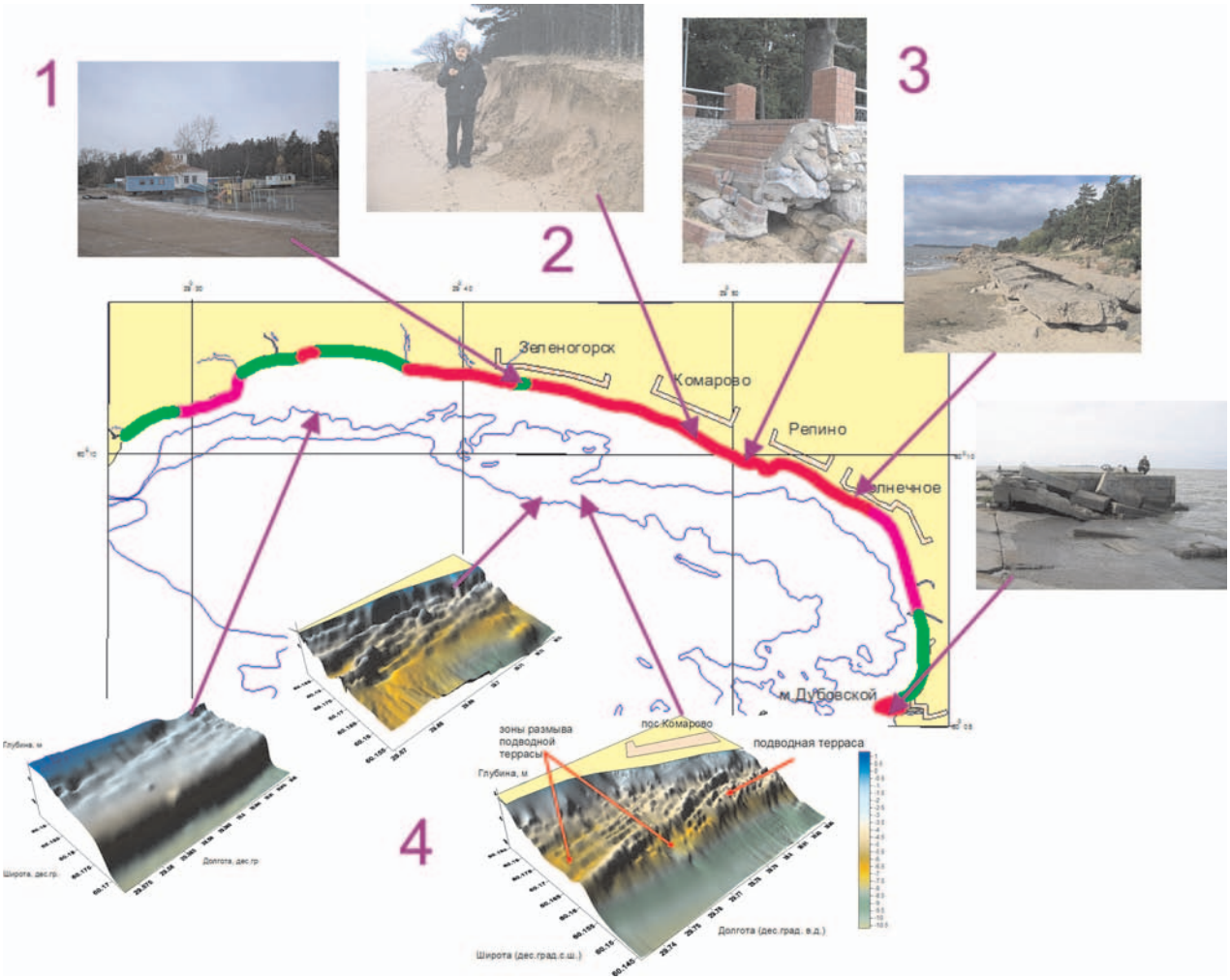

Рис. 9. Современное состояние береговой зоны Курортного района

Красный цвет – состояние берега аварийное; *фиолетовый цвет* – берег размывается, состояние берега опасное; *зеленый цвет* – берег стабилен. *1* – размыв широких пляжей (Зеленогорск, Репино, Солнечное) во время осенних штормов; *2* – прогрессирующий размыв авандюны (Комаровский берег); *3* – разрушение берегозащитных сооружений; *4* – размыв подводной террасы

от 50 см до 1 м. Валики расположены перпендикулярно к направлению ложбин. Вероятно, по подводным ложбинам происходят компенсационный отток воды после нагонов и перемещение осадочного материала от берега к морю [13].

Напротив пос. Солнечное сугубое мелководье имеет ширину 500–600 м, далее угол склона возрастает, глубины увеличиваются до 5 м и более. На мелководье развиты типичные аккумулятивные волновые образования – хорошо сортированные мелкозернистые пески. Изменение направления береговой линии обусловливает разгрузку здесь потока наносов, однако часть поступающих сюда песчаных осадков «сваливается» к подножию подводного уступа, где развиты пески аналогичного гранулометрического состава. Таким образом, поступающий сюда с потоком наносов песчаный материал не идет на наращивание песчаного пляжа [13].

Причины активных абразионных процессов в южной береговой зоне менее очевидны. Берег здесь на значительном протяжении представлен формировавшимися на протяжении позднего голоцена сложнопостроенными песчаными аккумулятивными косами. Поверхность дна прибрежных мелководий покрыта слоем песков мощностью от 20–30 см (покровные пески) до 2 м и более (прибрежные песчаные террасы), что исключает из основных факторов размыва берегов характерное для северной береговой зоны явление дефицита наносов. Подводный береговой склон отмелый. Конфигурация береговой линии на участках наибольших размывов препятствует прямому воздействию наиболее сильных западных и юго-западных штормов. Подводная добыча песков на морском месторождении Лондонская отмель в 1990-е годы не проводилась. Тем не менее, берег на данном участке интенсивно разрушается, что, вероятно, связано с усилением штормовой активности в осенне-зимний период в последние годы.

Техногенные факторы, провоцирующие абразию:

– подводная добыча песчаных и песчано-гравийных материалов, затрагивающая подводный береговой склон;

– строительство гидротехнических сооружений без учета закономерностей развития береговой зоны и произвольные меры по берегоукреплению, предпринимаемые владельцами объектов береговой инфраструктуры.

Негативные последствия техногенных процессов усиливаются при отсутствии современной эффективной системы берегозащиты.

Пример наиболее значительных изменений, вызванных техногенными процессами, – вершина Лужской губы, где в результате выемки песков для строительства порта произошла полная деградация песчаного бара. В конце 1970-х годов площадь аккумулятивных песчаных тел составляла 2,24 км^2, в том числе площадь вдольберегового песчаного бара – 0,65 км^2. К 2003 г. общая площадь зоны аккумуляции сократилась на 80% (до 0,5 км^2) [22].

В ходе исследований выявлены основные природные и техногенные факторы, вызывающие развитие и активизацию размывных (абразионных) процессов в береговой зоне восточной части Финского залива.

Степень трансформации (переработки) береговой зоны обусловлена изменчивой направленностью процессов геологического развития за последние 2–3 тыс. лет, особенностями геологического строения береговой зоны и прочностными свойствами слагающих ее четвертичных отложений, дефицитом наносов, характерным для значительной части изученной площади, а также рельефом подводного берегового склона.

Основными гидрометеорологическими факторами, при длительном одновременном воздействии которых наблюдаются наибольшие размывы берегов, являются подъем уровня воды и штормовые ветры западных и юго-западных румбов при отсутствии ледового покрова.

На ряде участков береговой зоны восточной части Финского залива причиной интенсификации процессов размыва является техногенное воздействие на берега и подводный береговой склон: подводная добыча полезных ископаемых, намыв территорий, создание новой портовой инфраструктуры, берегозащитных и других гидротехнических сооружений.

В связи с наблюдающейся тенденцией к потеплению в зимний период и поздними датами установления ледового покрова можно прогнозировать увеличение повторяемости экстремальных размывов берегов.

Установленные закономерности указывают на необходимость реализации междисциплинарной комплексной программы берегозащиты разработанной специалистами ФГУП «Минерал», ВСЕГЕИ, СПбГУ, ЗИН РАН, НИИКАМ по заданию Комитета по природопользованию, охране окружающей среды и обеспечению экологической безопасности Правительства С.-Петербурга. Программа находится на рассмотрении Администрации города.

Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ 08-05-01023 и 09-05-00303-а.

Авторы глубоко признательны сотрудникам отдела региональной геоэкологии и морской геологии ВСЕГЕИ, принимавшим участие в полевых исследованиях, и прежде всего геофизической группе под руководством Ю. П. Кропачева. Отдельные слова благодарности адресуем главному синоптику ГУ «Санкт-Петербургский центр по гидрометеорологии и мониторингу среды» А. М. Колесову за предоставленные материалы и плодотворные дискуссии, а также Комитету по природопользованию, охране окружающей среды и обеспечению экологической безопасности С.-Петербурга, «Севзапнедра» и лично Н. Д. Сорокину, В. А. Колесову, А. В. Ле-

бедеву и В. А. Житникову за многолетнюю поддержку исследований и рецензенту Г. М. Беляеву.

1. *Амантов А. В., Жамойда В. А., Мануйлов С. Ф.* и др. Компьютерный атлас «Геология и полезные ископаемые восточной части Финского залива» // Регион. геология и металлогения. 2002. № 15. – С. 120–132.

2. *Барков Л. К.* О литодинамике прибрежной зоны и дна восточной части Финского залива // Вестник ЛГУ. 1989. № 28. Л. – С. 25–32.

3. *Белов Д. М.* Эффективность работы берегозащитных сооружений восточной части Финского залива // XIX Международная конференция «Современные проблемы изучения берегов»: Тезисы докл. – СПб., 1995. – С. 27.

4. *Знаменская О. М.* Геоморфологические районы и типы рельефа окрестностей г. Ленинграда // Вестник ЛГУ, 1956. № 24. – С. 152–163.

5. *Знаменская О. М., Романова В. П.* Геоморфологическое районирование северного Приладожья и Карельского перешейка // Северо-Запад европейской части СССР. – Л.: Изд-во ЛГУ, 1966. Вып. 5. – С. 87–102.

6. *Знаменская О. М., Черемисинова Е. А.* Развитие бассейнов восточной части Финского залива в поздне- и послеледниковое время // Baltica. 1974. Vol. 5. – P. 95–104.

7. *Зубенко Ф. С.* Природная и антропогенная динамика берегов восточной части Финского залива // XIX Международная конференция «Современные проблемы изучения берегов»: Тезисы докл. – СПб, 1995. – С. 52–54.

8. *Ионин А. С., Каплин П. А., Медведев В. С.* Классификация типов берегов земного шара (применительно к картам физико-географического атласа мира) // Тр. Океаногр. комисии АН СССР. – М.: Изд-во АН СССР, 1961. Т. XII. – С. 94–108.

9. *Логвиненко Н. В., Барков Л. К., Гонтарев Е. А.* Исследование рельефа и осадков береговой зоны Нарвского залива Балтийского моря // Литология и палеогеография. Вып. 3. – Л.: Изд-во ЛГУ, 1981. – С. 107–127.

10. *Марков К. К.* Краткий геологический и геоморфологический очерк северной части Кингисеппского уезда // Известия Центрального гидрометеорологического бюро. – Л., 1927. – 117 с.

11. *Никонов А. А.* Современные движения земной коры. – М.: Наука, 1979. – 183 с.

12. *Орвику К., Гранэ О.* Современные берега // Геология Финского залива / Под ред. А. Раукаса и Х. Хюваринена. – Таллинн: Изд-во АН Эстонии, 1992. – 422 с.

13. *Рябчук Д. В., Спиридонов М. А., Сухачева Л. Л* и др. Рельеф, геологическое строение и экзогенные геологические процессы береговой зоны Курортного района Санкт-Петербурга // Регион. геология и металлогения. 2008. № 36. – С. 109–120.

14. *Рябчук Д. В., Колесов А. М., Чубаренко Б. В.* и др. Абразионные процессы в береговой зоне восточной части Финского залива и их связь с многолетними трендами режимообразующих факторов // Литодинамика донной контактной зоны океана. Материалы Международной конференции, посвященной 100-летию со дня рождения профессора В. В. Лонгинова. – М.: ГЕОС, 2009. – С. 124–126.

15. *Спиридонов М. А.* Ледниковая история Финского залива // Геология субаквальной части зоны сочленения Балтийского щита и Русской плиты в пределах Финского залива. – Л.: Изд-во ВСЕГЕИ, 1989. – С. 15–23.

16. *Спиридонов М. А., Рябчук Д. В., Жамойда В. А, Гогоберидзе Г. Г.* На пути создания современной геологической основы береговедения (базовая терминология) // Регион. геология и металлогения. 2006. № 28. – С. 181–191.

17. *Сухачева Л. Л., Кильдюшевский Е. И.* Исследование изменчивости берегов восточной части Финского залива на основе ретроспективного анализа данных аэро- и космических съемок // Сб. тезисов VII Международного форума «День Балтийского моря». 21–23 марта 2006. – СПб., 2006. – С. 254–255.

18. *Ядута В. А., Дверницкий Б. Г.* Неотектонические аспекты специализированных инженерно-тектонических и геоэкологических исследований территории Ленинградской области и Санкт-Петербурга // Междунар. конф. «Современные проблемы новейшей тектоники и геоморфологии». 21–23 января 1997 г. СПб., Россия: Тез. докладов. – СПб., 1997. – С. 91–93.

19. *Нуурпд Е.* Post-Glacial Changes of Shore-Line in South Finland // Bulletin de la Commission geologique de Finlande. 1937. № 120. – 225 с.

20. *Raukas A.* Yoldia stage – the least clear interval in the Baltic Sea history // Baltica. 1994. Vol. 8. – P. 5–14.

21. *Ryabchuk D., Sukhacheva L., Spiridonov M.* et al. Coastal processes in the Eastern Gulf of Finland – possible driving forces and connection with the near-shore zone development // Estonian J. of Engin. 2009. Vol. 15. № 3. – P. 151–167.

22. *Sergeev A., Ryabchuk D., Zhamoida V., Nesterova E.* The impact of two newly built port terminals in the Eastern Gulf of Finland on sedimentation processes and coastal zone dynamics // Estonian J. of Engin. 2009. Vol. 15. № 3. – P. 212–226.

23. *Spiridonov M., Ryabchuk D., Kotilainen* et al. The Quaternary deposits of the Eastern Gulf of Finland // Geological Survey of Finland, Spec. Pap. 45, 2007. – P. 5–17.

Спиридонов Михаил Александрович – зав. отделом ВСЕГЕИ. <Mikhail_Spiridonov@vsegei.ru>.

Рябчук Дарья Владимировна – ст. науч. сотрудник ВСЕГЕИ. <Daria_Ryabchuk@vsegei.ru>.

Орвику Карел – профессор, Институт экологии, Таллиннский ун-т (Таллинн, Эстония). <kaarelorviku@hot.ee>.

Сухачева Леонтина Леонидовна – вед. науч. сотрудник отдела береговых зон Научно-исследовательского института космоаэрометодов в геологии. <sukhacheval@mail.ru>.

Жамойда Владимир Александрович – вед. науч. сотрудник ВСЕГЕИ. <Vladimir_Zhamoida@vsegei.ru>

Нестерова Елена Николаевна – вед. инженер ВСЕГЕИ. <Elena_Nesterova@vsegei.ru>.