

PROBLEMS OF BEACHES FORMATION IN THE SOUTH COAST OF THE GULF OF FINLAND EASTERN PART

I. V. Kozhuhov¹, M. A. Spiridonov²

¹ — Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping,
St. Petersburg, Russian Federation

² — A.P. Karpinsky Russian Geological Research Institute, 199106,
St. Petersburg, Russian Federation

An actual problem of international scale, dealing with formation and erosion of beach territories along the sea coasts, emphasizing the eastern part of the Gulf of Finland coastal zone is considered. Special importance of the problem is underlined concerning the global climatic change. Some considerations providing a general pattern of beach formation, based on the personal experience obtained by extended field studies, as well as from foreign sources of information and regional hydrometeorological service are given. Besides that an important source material for analytic studies are large-scale navigational charts of the eastern part of the Gulf of Finland. Based on that charts, according to external landscape peculiarities, three relatively independent parts of the coast are identified. For some reasons the main attention is paid to the adjacent to the Neva Bay part of the coast: Shepelevski Cape — Bolshaya Ishora settlement. The study results the identification of role of the main structural beach elements in the backshore formation. The importance of long-shore coastal bars in formation and development of beaches is specially mentioned. Besides that, the reasons of insufficient beach development of the Southern part of the Bay of Finland belonging to the Russian Federation are indicated. Some negative role of the London Bank as a factor inhibiting the beach-forming processes and aggravating the environmental state on this coastal segment is specially marked. In this study attention is also paid to some methodical items. As main approach allowing us to carry out the coastal processes control, a large-scale secondary survey with multi-beam echo-sounder is used. Such approach is fruitful at the bottom topographic peculiarities investigation presented by 3D-format. The applied aim of such techniques is underwater relief transformation control as a result of storm activity. The use of a millimeter-wave radio signal allowing broad storm skyline examination for investigating the coastal refraction as a main relief-forming factor on sea shallow waters can be considered an equally significant approach. The study results the recommendations for improving the environmental situation of the coast. At the same time, the issue of artificial beach formation based on the theoretical assumptions stated in this paper is considered. Application of special dredge pump suitable for near-surface operation in the sea surf band is discussed.

Keywords: beach, sand, long-shore bar, dune, abrasion shelf, surge, London Bank, suspension current, eolation, dredge pump.

For citation:

Kozhuhov, Igor V., and Mikhail A. Spiridonov. "Problems of beaches formation in the south coast of the Gulf of Finland eastern part." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 11.6 (2019): 1056–1069. DOI: 10.21821/2309-5180-2019-11-6-1056-1069.

УДК 911.9

ПРОБЛЕМЫ ФОРМИРОВАНИЯ ПЛЯЖЕЙ В УСЛОВИЯХ ЮЖНОГО ПОБЕРЕЖЬЯ ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ФИНСКОГО ЗАЛИВА

И. В. Кожухов¹, М. А. Спиридонов²

¹ — ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова»,
Санкт-Петербург, Российская Федерация

² — Всероссийский научно-исследовательский геологический институт
им. А. П. Карпинского, Санкт-Петербург, Российская Федерация

Рассмотрена актуальная проблема, касающаяся эволюции пляжных территорий вдоль морских побережий, с акцентированием внимания на береговой зоне восточной части Финского залива. Отмечена особая актуальность указанной проблематики в связи с изменением климатических условий в масшта-

бах планеты в целом. Изложены соображения, дающие общую схему формирования пляжей как таковых на основании личного опыта, а также за счет использования специализированных зарубежных источников с привлечением материалов региональной гидрометслужбы. Кроме того, важным исходным материалом для аналитических проработок послужили крупномасштабные навигационные карты восточной части Финского залива. По ряду причин главное внимание в работе было уделено наиболее приближенному к Невской губе отрезку побережья: мыс Шепелево – населенный пункт Большая Ижора. В процессе обработки материалов была выявлена роль главных элементов пляжей при формировании их надводной части (суши). Отмечается особое значение приурезовых береговых валов в создании и развитии пляжных территорий. Указана негативная роль Лондонской отмели, служащей подводным препятствием для процесса пляжеобразования и одновременно ухудшающей экологическое состояние на данном береговом отрезке. В качестве основных подходов, позволяющих осуществлять управление прибрежными процессами, служит крупномасштабный повторный промер с использованием многолучевых эхолотов (МЛЭ). Не менее существенным в методическом плане можно считать использование радиосигнала миллиметрового диапазона, дающего возможность обследовать панорамы шторма в широком пространственном охвате для изучения прибрежных рефракционных полей как главного рельефообразующего фактора на морских мелководьях. Итогом работы послужили рекомендации по улучшению экологической обстановки побережья. Одновременно в работе рассмотрен вопрос об искусственном наращивании пляжей, которое следует осуществлять с учетом изложенных в статье теоретических выкладок. Ставится вопрос о применении специальных рефулерных механизмов, приспособленных для вскрышных работ на малых глубинах, особенно в полосе морского прибоя.

Ключевые слова: пляж, песок, береговой вал, дюна, абразионный уступ, волновой накат, Лондонская отмель, твердые потоки, эоловый процесс, рефулерные устройства.

Для цитирования:

Кожухов И. В. Проблемы формирования пляжей в условиях южного побережья восточной части Финского залива / И. В. Кожухов, М. А. Спиридонов // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2019. — Т. 11. — № 6. — С. 1056–1069. DOI: 10.21821/2309-5180-2019-11-6-1056-1069.

Введение (Introduction)

Побережья морей и океанов являются весьма активными геодинамическими зонами. Их ландшафтное положение на границе суши и моря обеспечивает высокий потенциал современных преобразований рельефа, с которым тесно связаны изменения природных территориальных комплексов. По мере накопления соответствующих знаний, появились достаточные основания для решения практических задач, связанных, например, с добычей строительных материалов в береговой зоне, проблемами берегозащиты, а также с вопросами навигационного, экологического или курортно-рекреационного направлений.

Наиболее существенным в настоящий момент можно считать вопрос сохранения или наращивания пляжных территорий. Актуальность данной темы, в частности, связана с усилением абразионных процессов в том числе вдоль побережья восточной части Финского залива. Так, уже в XIX в., по мнению В. В. Лонгинова [1, с. 170], начали появляться первые научные концепции, способные объяснить причину таких изменений. В качестве примера достаточно привести несколько крупных обобщений монографического характера в XX в. Это работы В. М. Дэвиса (1909), Д. Джонсона (1919), П. К. Божича (1930), Т. Мунх-Петерсона (1933) В. П. Зенковича (1946) и др. [2], [3]. В них было установлено, что берега меняют свое положение, то отступая под натиском моря, то отвоевывая морские пространства и заменяя их сушей. Были выделены два основных типа процессов, ход которых определяет подобные изменения, это *абразия* и *аккумуляция*. Соответственно были обозначены и основные генетические типы берегов: абразионные и аккумулятивные, а затем их географические разновидности (фиордовый, бухтовый, рiasовый и др.). Следующим этапом указанных исследований явилось выявление двух главных процессов переноса вещества, оказывающих влияние на изменение контура берегов: продольный (вдольбереговой) и поперечный потоки наносов.

Теоретически сложилось представление о том, что в динамике береговых процессов повсеместно ведущую роль играет транзитное вещество, изначально имеющее аллювиальное происхождение, т. е. поставляемое в береговую зону руслами рек. Вместе с тем развивались представления

и о береговых циркуляционных ячейках на участках берегов, достаточно удаленных от устьев крупных рек. Особенно явно это заметно на примере бухтовых берегов, где единый вдольбереговой поток наносов фактически прерывается наличием абразионных участков. Здесь отчетливо видно, что в формировании твердого потока большое участие принимает местный материал. Часть этого материала формируется за счет абразии (разрушения) разделяющих бухты мысов, а часть поступает со склонов, опирающихся на береговую зону [4]. К тому же в настоящее время дополнительную актуальность приобретают знания об эволюционном изменении развития береговых морфосистем в связи с прогнозом повышения уровня Мирового океана. Эти сведения позволяют, как мы полагаем, осуществить геоморфологический и географический прогноз изменения берегового контура в связи с ранее указанным общим повышением среднего океанического уровня, в том числе в пределах замкнутых морских водоемов [5]. Авторам работы не удалось обнаружить в периодической литературе и фундаментальных трудах описаний поэтапного формирования пляжных территорий в реальном времени как процессов противостояния энергии морского прибоя и динамики ветровых процессов.

В настоящей статье основное внимание уделено конкретному вопросу формирования пляжей на примере природного ландшафта части южного побережья Финского залива.

Целью настоящей работы служит попытка изменения гидрологического режима в пределах обозначенного побережья для интенсификации процессов пляжеобразования.

Методы и материалы (Methods and Materials)

В процессе работы над статьей были проанализированы материалы ГМС по интересующему региону, касающиеся ветрового режима и гидрологических характеристик изучаемого объекта. Кроме того, важным материалом в процессе предварительной работы послужили крупномасштабные навигационные карты восточной части Финского залива. По мере работы были использованы также труды отечественных и зарубежных специалистов по пляжной тематике, и в первую очередь работы В. Баскома и В. Л. Болдырева [6], [7].

Многолетние гидрометеорологические наблюдения служат надежным фундаментом, дающим общие представления о режимных характеристиках того или иного природного объекта. Однако, при решении затронутых в статье вопросов подобный материал дает лишь некую обобщенную картину процесса, подразумевающую на дальнейшем этапе исследований переход к более конкретным его деталям. Как показал многолетний опыт, существующие в инженерной гидрологии подходы не дают должного эффекта при решении многих прикладных задач береговой зоны [8]–[10]. К подобным проблемам можно отнести, например, защиту прибрежного морского дна и прилегающих берегов от разрушений и борьбу за сохранность искусственных глубин на судоходных фарватерах, а кроме того, вопросы наращивания сухих пляжей или создание искусственных мысов.

В существующей структуре твердого потока рельефообразующую роль играет придонный горизонт. Важнейшей деталью при этом служит проявляемое свойство дискретности, когда по мере перемещения наносов движущие сыпучие массы группируются в отдельные выпуклые образования в виде микрорельефа, достаточно легко распознаваемые в пространстве. Т. е. на поверхности дна в пределах морских мелководий при достаточном количестве песчаного материала образуются положительные формы рельефа типа гряд, песчаных волн или подводных песчаных валов [11]. Повторные батиметрические съемки позволяют опознавать указанные формы и контролировать их перемещение в пространстве. Данная парадигма, соответственно, подразумевает иной подход непосредственно к методике наблюдений. Отсюда среди инструментальных методов наиболее эффективными можно считать приемы инженерной гидрографии с применением новейших узколучевых сонаров — многолучевых эхолотов (МЛЭ). Основное внимание уделяется мелководным МЛЭ, способным работать на одной из частот в диапазоне 200–400 кГц в режиме линейно-частотной модуляции [12]. Для традиционной гидрографии, связанной с созданием морских навигационных карт, планшеты имеют масштабы, как правило, не крупнее 1:10 000. В случае инженерных батиметрических съемок масштабы отчетных планшетов чаще всего составляют 1:5 000 и более, поскольку конечных потребителей обычно интересуют именно детали микроре-

льефа, которые могут быть отображены только на крупных масштабах, однако они плохо воспринимаются в традиционном плоском (2D) изображении. Поэтому в конкретном случае внимание должно быть уделено подготовке результатов крупномасштабных съемок в трехмерном (3D) изображении. Представление рельефа в объемном виде, т. е. его *визуализация*, позволяет даже неспециалистам легко ориентироваться в деталях подводной топографии. Для реализации подобного подхода существуют специальные пакеты программ.

В целях изучения затронутых вопросов не менее значимым является использование радиоволн миллиметрового диапазона. С помощью радиосигнала на индикаторе кругового обзора (экране) легко воспроизводится в плоском формате пространственная картина волнения на подходах к берегу. Радиолокационный контроль позволяет достаточно просто определять значения периодов волн, фазовые волновые скорости перемещения их гребней, а также одну из существенных характеристик волнового поля на мелководье — ориентацию волновых фронтов относительно берега, т. е. углов подхода волн к береговой черте. Известно, что для количественной оценки вдольберегового твердого расхода основополагающими переменными, определяющими искомую величину, служат указанные ранее характеристики: высота волны h , средний уклон морского дна $\tan \beta$ и угол подхода волны к берегу α . При этом особую значимость из трех указанных величин приобретает переменная α в ее спектральном выражении. Последнее связано с наибольшей изменчивостью данной характеристики на коротких дистанциях по сравнению с остальными приведенными величинами. В силу неровностей микрорельефа за счет сложной подчас конфигурации береговой линии векторные характеристики волновых лучей от точки к точке могут меняться в достаточно широком интервале. Это и должно оказывать главное влияние на характер градиентов твердого расхода. В случае их положительных значений в рассматриваемом месте будет преобладать аккумулятивный процесс, а при отрицательных градиентах, наоборот, должны наблюдаться процессы эрозийного типа. Таким образом, «зрячие» радиолокационные средства с достаточной надежностью способны в любое время суток высвечивать на экране четкое изображение целого сектора водной поверхности. Все это позволяет почти во всех деталях, за исключением волновых высот, отслеживать подобные процессы в реальном времени, т. е. дает возможность получать ряд характеристик, свойственных различным фазам шторма на этапах его зарождения, стабилизации или затухания.

Основная часть (Main Part)

Прибойные потоки у морского берега, так называемая *зона волнового заплеска*, возникают между разрушающимся фронтом волны и границами волнового наката на сушу. По мере перемещения новых порций сыпучего материала в сторону берега там происходит нарастание пляжа, часть которого постепенно выходит из-под влияния волн. Образуется надводная береговая терраса, которая, собственно, и воспринимается в быту как пляж. Подобный элемент прибрежного ландшафта отличается достаточным разнообразием. Т. е. типов пляжей насчитывается немало количество.

В материалах по системным исследованиям в разделах изучения земных ландшафтов используется термин «геокомплексы», близкий по смыслу к понятию «экосистема». По мнению специалистов, геокомплексы как таковые воспринимаются в виде систем двух типов: замкнутых и разомкнутых: «Замкнутые комплексы обладают циркуляционным механизмом перемещения вещества, т. е. импульс в направлении «вход – выход» в них относительно мал <...>. Разомкнутые геокомплексы образованы односторонним движением вещества» [13, с. 104].

Среди множества разновидностей пляжей можно выделить немало объектов замкнутого типа. К ним следует отнести, например, «запертые» пляжи, расположенные между двумя скалистыми мысами. В подобных случаях в процессах литодинамики, по В. Баскому, преобладает поперечный тип движения песков в виде замкнутой схемы: с моря на берег и обратно. Вдольбереговая составляющая здесь выражена крайне слабо.

Предметом исследования настоящей работы служат песчаные пляжи открытого типа в условиях отмелого берега. Схему движения масс твердого материала в районах открытых пляжей

можно отнести к типу разомкнутых. В подобном случае процесс формирования прибрежных аккумулятивных форм зависит не только от поперечного движения твердого вещества, но, в не меньшей степени, и от характера его продольной составляющей [15]. Соотношение влияния обоих направлений (поперечного и вдольберегового) должно определяться своеобразием местных условий [16], [17]. Понятно, что часть перемещаемых штормом к берегу песков служит материалом для регулярной подпитки надводной части пляжной полосы и фактически должна выпадать из общего баланса прибрежного твердого расхода, сообразно в дальнейшем влиянию наземных эоловых процессов [18]. Недостаток безвозвратно утраченных морем песчаных масс при этом компенсируется за счет вдольберегового транзита твердого вещества, обеспечивая системе в целом состояние относительной устойчивости. Помимо линейных параметров (ширины и протяженности) типичный песчаный пляж включает три существенных морфологических элемента, а именно: береговой вал, надводную террасу (пляжевую ступень) и тыльную часть пляжной полосы (как правило, дюну). Береговой вал как самостоятельное образование формируется на границе между сушей и водой благодаря намыву песков (или гальки) к самому урезу ослабленной прибойной волной. Следующая часть пляжной полосы — надводная терраса — в большей степени подвержена воздействию эоловых процессов. Известно, что ветровые потоки смещают к тыльной части пляжа массы накапливаемого песка, формируя еще один существенный элемент пляжной территории — дюну (авандюну) либо группу параллельных друг другу дюн [19].

Как правило, малопримечательный на вид береговой вал играет, тем не менее, весьма существенную, порой ключевую, роль в плане развития пляжной системы в целом. Его наличие и размеры в значительной степени зависят от активности волноприбойных процессов. По состоянию берегового вала можно судить о степени эффективности прибойного волнового потока как инструмента «доставки» пляжного материала к берегу, т. е. самой перспективы существования пляжа. Четко выраженный в рельефе вал свидетельствует о высокой интенсивности волновых процессов, когда силы ветрового переноса по своей активности уступают воздействию морской стихии. Таким образом, основополагающим — «стартовым» элементом формирования пляжной полосы должен быть именно береговой вал, с которого, собственно, и начинается процесс надводного пляжеобразования. Типичный профиль открытого пляжа приведен на рис. 1.

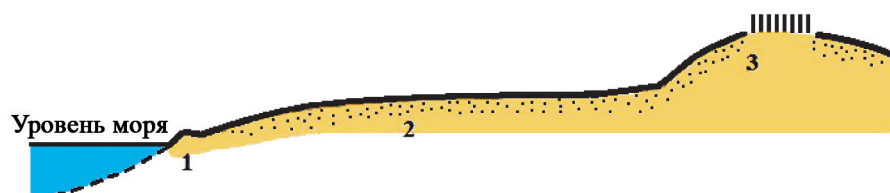


Рис. 1. Профиль развитого песчаного пляжа:
1 — береговой вал; 2 — надводная терраса; 3 — дюна
Условные обозначения: [штрихи] — растительность

В тыльной части пляжа располагается, как правило, авандюна. Данный элемент прибрежного рельефа можно воспринимать как своеобразное «хранилище» избыточных песчаных масс. Степень развития авандюны является еще одним внешним признаком, по наличию которого также можно судить о состоянии конкретной пляжной полосы. По размерам и форме авандюны можно определять качество пляжа и даже перспективу его дальнейшего развития. В случае слишком высоких темпов поступления наносов к береговой черте со стороны моря, т. е. при избытке песчаных масс, движимых в сторону суши, на прилегающей территории берега может формироваться не одна дюна, а целые ряды параллельных друг к другу аналогичных образований. В исключительных случаях подвижные дюны способны, подобно барханам, «атаковать» ближайшие населенные пункты. Известен эпизод на Куршской косе литовского берега, когда в XIX в. песчаными дюнами был засыпан ряд близлежащих деревень.

В случае слабо выраженного в рельефе берегового вала или его полного отсутствия можно утверждать, что интенсивность песчаной подпитки пляжа по каким-то причинам снизилась либо вообще свелась к нулю. В подобных ситуациях в системе «пляж» должно наблюдаться нарушение равновесия между влиянием прибоя и эоловым фактором при явном преобладании ветровой составляющей. В результате песчаная масса постепенно сокращается и рассеивается, удаляясь вглубь суши. В подобных случаях ослабленный импульс на входе (энергия прибоя) и более существенный на выходе (ветровой процесс) приводят к постепенному сокращению дюны, а затем и возможной деградации пляжа в целом. Характерным признаком подобных тенденций служит состояние лесонасаждений с тыльной части берега, где местами в результате выдувания песчаного грунта прослеживаются обнаженные корневые системы деревьев [20].

Не менее серьезной причиной разрушения пляжных территорий, безусловно, являются размыты, которые наблюдаются, как правило, в периоды всплесков штормовой активности. По мнению специалиста по морским берегам, В. Баскома «существует весьма чуткое равновесие между силами, которые приносят песок на берег, и силами, уносящими его в море» [6, с. 195]. Важно знать, что линейные характеристики пляжей, главным образом их поперечные размеры, могут заметно варьировать в зависимости от сезона. В частности, отмечается, что в зимне-осенний период года с учащением штормовой деятельности интенсивность расходования волновой энергии возрастает. Ухудшение гидрометеорологической обстановки в осенне-зимний период года чаще всего ведет к сокращению пляжной полосы по ширине [21], [22], в то время как в весенне-летний период при слабом и умеренном волнении эти размеры обычно восстанавливаются. По данному вопросу В. Баском отмечает следующее «... мелкие волны будут приносить песок на берег, а крупные — уносить его обратно в море» [6, с. 195]. Исключением может служить ситуация, когда в процесс вписывается какой-то посторонний внешний фактор.

Опыт работы на объектах замкнутого типа подтверждает высокую значимость именно поперечного движения обломочного материала по системе: «море → пляж; пляж → море». Что касается открытых берегов, то здесь в качестве серьезного дополнительного фактора в процессах пляжеобразования, как отмечалось ранее, выступает вдольбереговой перенос обломочного материала. При этом, если формирование подводных песчаных валов является следствием поперечного движения водных масс, то вдольбереговая составляющая служит решающим фактором при формировании аккумулятивных структур типа баров либо кос [23].

Характерной чертой любой пляжной полосы в активной фазе является отсутствие в ее пределах устойчивого травяного покрова. Отмеченная особенность служит доказательством высокой динамичности указанной зоны, где исключена возможность массового укоренения растений. Поэтому случаи покрытия поверхности пляжа плотной растительностью означают прекращение в данном месте эффективных волновых процессов. В подобной ситуации понятие «пляж» фактически теряет смысл. Отрезок южной части побережья Финского залива, находящийся под юрисдикцией Российской Федерации, начинается непосредственно у российско-эстонской границы (вблизи пункта Каростель), огибает полуостров Курголовский, обходя мыс Питкинен-Нос, и заканчивается в районе населенного пункта Большая Ижора. На рис. 2 приведена наибольшая по протяженности часть исследуемого побережья, за исключением последнего перед дамбой отрезка береговой линии. Общая циркуляция течений, присущая всем крупным водоемам северного полушария, ориентирована, как известно, против часовой стрелки. Согласно данному закону, генеральный дрейф водных масс вдоль всего южного берега осуществляется в направлении запад → восток, а вдоль северного побережья Финского залива, наоборот, в направлении восток → запад.

Ветровой режим в Северо-Западном регионе РФ в целом формируется главным образом под влиянием атлантических циклонов. Отсюда активными ветрами для всего южного побережья с учетом положения его береговой линии относительно стран света являются ветры западной, северо-западной и северной четверти. Южные ветры здесь практически незначимы с точки зрения заметного влияния на прибрежную полосу, поскольку в силу географических особенностей действуют со стороны суши.

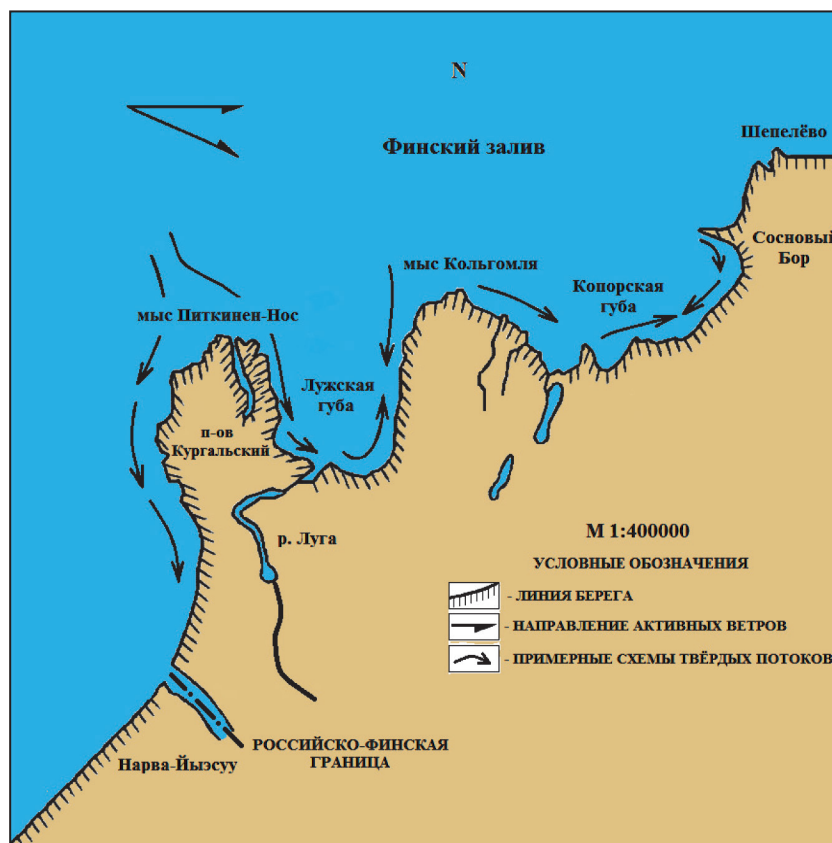


Рис. 2. Схема отрезка южной части побережья Финского залива

На завершающем участке побережья от мыса Шепелево до пункта Большая Ижора схема общей циркуляции дополняется и усиливается в периоды ветровой активности временными штормовыми потоками, ориентируемыми вдоль берега также в направлении запад → восток. По разнообразию ландшафтных характеристик южный берег Финского залива в пределах Российской Федерации можно подразделить на три более или менее самостоятельных зоны. Критерием подобного деления служат особенности экспозиции береговой линии по отношению к странам света и сама ее конфигурация.

Начиная от государственной российско-эстонской границы ближайшим относительно автономным участком российской территории можно считать полосу слабо вогнутого берега, близкого по типу к прямолинейному, охватывающего часть берегового контура Нарвского залива. Лишь на некотором его отрезке, а именно с наветренной стороны полуострова Кургальский, линия берега приобретает иззубренный характер. Обозначенная приграничная часть побережья ориентирована строго на запад. В качестве так называемых *опасных ветров*, способных создавать значительный волнообразующий эффект в этом месте, служат ветры западной, северо-западной и северной четверти при достаточно солидной для настоящего водоема дистанции волнового разгона.

По мере движения в восточном направлении от мыса Питкинен-Нос (конечной точки Курголовского полуострова) можно наблюдать существенное изменение общего положения береговой линии с резким разворотом к северу. Новый участок побережья по своему типу значительно отличается от предшествующего. В данном случае речь идет уже о береговой линии бухтового типа. Лужская и Копорская губы достаточно глубоко вдаются в сушу, превращаясь, в некотором смысле, в обособленные микроводоемы с местным волновым режимом и собственной кинематикой временных штормовых потоков.

Как известно, при сложном контуре береговой линии на ее бухтовых участках наблюдается *рефракция*, т. е. искажение волновых полей, что оказывает сильное влияние на характер и особен-

ности процессов литодинамики. Более того, в пределах самой Копорской губы берег дополнительно усложнен мысами Дубовским и Устинским, выдвинутыми в море почти на 500 м. Иными словами, помимо непростого рисунка волновых фронтов, порождаемого неровностями дна на мелководье, процессы рефракции дополнительно усиливаются здесь за счет местных береговых выступов и достаточно крупных мысов. Изменчивый характер береговой линии и ее сложная конфигурация меняют от места к месту значения углов подхода волн к урезу, что нарушает цельность в процессе переноса песчаных масс вдоль берега. Учитывая данное обстоятельство, преждевременно делать какие-либо выводы, касающиеся режима перемещения наносов в пределах описываемой части побережья, и тем более давать прогностические оценки его состояния. Для этого необходимо обладать по данному району хотя бы минимальной информацией, включающей материалы указанной ранее крупномасштабной батиметрической съемки дна и векторные характеристики волновых полей.

Следующая часть южного побережья, территориально наиболее приближенная к Санкт-Петербургу, расположена в восточной части Финского залива — от мыса Шепелево до населенного пункта Большая Ижора. Этот участок южного морского берега четко ориентирован на север северо-восток (рис. 3). Чуть восточнее Большой Ижоры линия берега стыкуется с «корневой» частью западного крыла Комплекса защитных сооружений Санкт-Петербурга от наводнений — дамбы. Именно последняя часть южного побережья в рамках настоящей статьи представляется наиболее актуальной. Указанный фрагмент береговой линии длиной около 30 км можно считать наиболее проблемным в плане экологии, а также по ряду иных причин. На всем своем протяжении, за исключением бухты Черная Лахта, берег здесь достаточно однообразен. Однако считать его исключительно прямолинейным не совсем верно. Так, ведущий научный сотрудник АО ИОРАН, кандидат географических наук, геоморфолог В. Л. Болдырев при оценке состояния пляжей по их внешним признакам считал хорошо развитыми пляжными участками те, ширина которых составляет величину от 70 м и более. Поперечные размеры пляжной полосы в пределах 40–50 м отнесены им к зонам так называемого *транзитного режима*. И, наконец, в местах, где поперечные габариты пляжей менее 40 м, налицо признаки дефицита наносов [24]. Следует отметить, что слабо развитые пляжи, а порой их полное отсутствие являются признаком нарушения пляжеобразующей функции волноприбойного механизма.

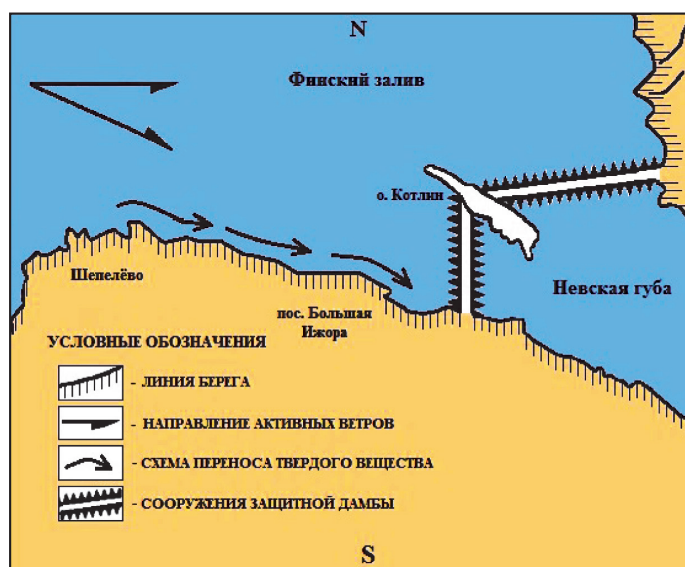


Рис. 3. Отрезок восточной части южного побережья Финского залива (схема вдольберегового потока наносов)

В режимном отношении обозначенный, третий по счету, отрезок берега в значительной своей части находится в не совсем благоприятных условиях. В первую очередь это касается участков

с очевидными следами абразии. На всем протяжении таких участков периодически встречаются места экстремальных разрушений береговых уступов. Одновременно обращает на себя внимание скудность пляжных территорий с явными признаками дефицита песчаных масс. Одним из индикаторов подобного состояния служит, в частности, наличие на отрезках песчаного побережья участков из валунно-галечного материала.

Обсуждение (Discussion)

Для выяснения причин создавшихся условий на южном побережье Финского залива следует сравнить его ландшафтные характеристики с близким по широтному расположению и природным особенностям побережьем Латвии. Пляжам Юрмалы, как известно, свойственны хорошо развитые песчаные территории, которые широко используются в курортной индустрии [25]. Обращает на себя внимание, что при сравнительной оценке указанных побережий Финского и Рижского заливов обнаруживается определенная природная схожесть этих двух объектов. Оба побережья расположены с южной стороны достаточно крупных водоемов в условиях, близких по своим широтно-климатическим характеристикам, и относятся к категории песчаных берегов отмелого типа. В обоих случаях береговые линии ориентированы в сторону ветров северных румбов, т. е. формирование пляжных территорий и поддержание их в стабильном состоянии должно осуществляться системами волн, идущими главным образом от северных и северо-западных направлений (рис. 4).

Из классической трохоидальной теории волн известно, что полная энергия ветровой волны S связана с ее высотой h следующим выражением: $S = \frac{1}{8} gh^2$. При этом сама высота является функцией трех величин: скорости ветра W , продолжительности его действия в устойчивом направлении t и длины разгона волн D — соответствующего румба, км, т. е. дистанции, в пределах которой ветер воздействует на водную поверхность: $h = f(W, t, D)$.

На схеме видно, что длина разгона волн под ветрами северных румбов в Финском заливе, особенно при ветрах в его северо-западной четверти, в своем значении заметно выше по сравнению с ситуацией в условиях Рижского залива (рис. 4).

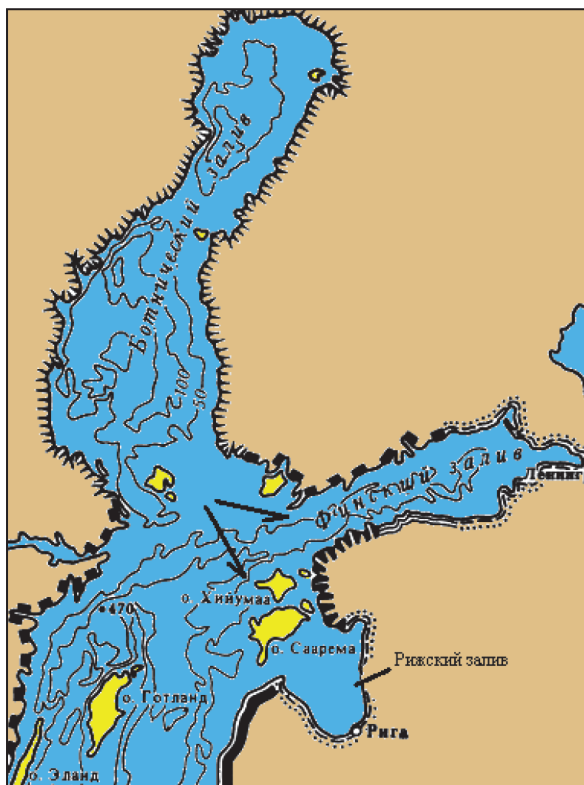


Рис. 4. Фрагмент изображения акватории Балтийского моря с заливами

На представленном плановом изображении обращает на себя внимание тот факт, что в Рижском заливе при схожих ветровых ситуациях дистанция волнового разгона D сокращается за счет блокировки свободного водного пространства двумя эстонскими островами: Хийумаа и Саарема. Таким образом, сообразно режимным характеристикам, побережье Финского залива должно выглядеть, казалось бы, предпочтительнее своего юго-западного аналога с точки зрения условий пляжеобразования. Но несмотря на это ситуация на латвийском побережье выглядит намного благоприятнее. Главная причина неблагоприятного состояния рассматриваемой части побережья Финского залива вряд ли связана с особенностями местного гидрологического режима, суть здесь несколько в ином. Вдоль значительной части береговой линии Финского залива параллельно ее контуру вырисовывается Лондонская отмель как один из основных, примыкающих к берегу элементов подводного рельефа. Это можно проследить по крупномасштабным навигационным картам района. Именно указанный элемент морского дна и должен блокировать ветровую волну со стороны открытого моря (рис. 5). На плане данный участок выделен бледно-голубым цветом.

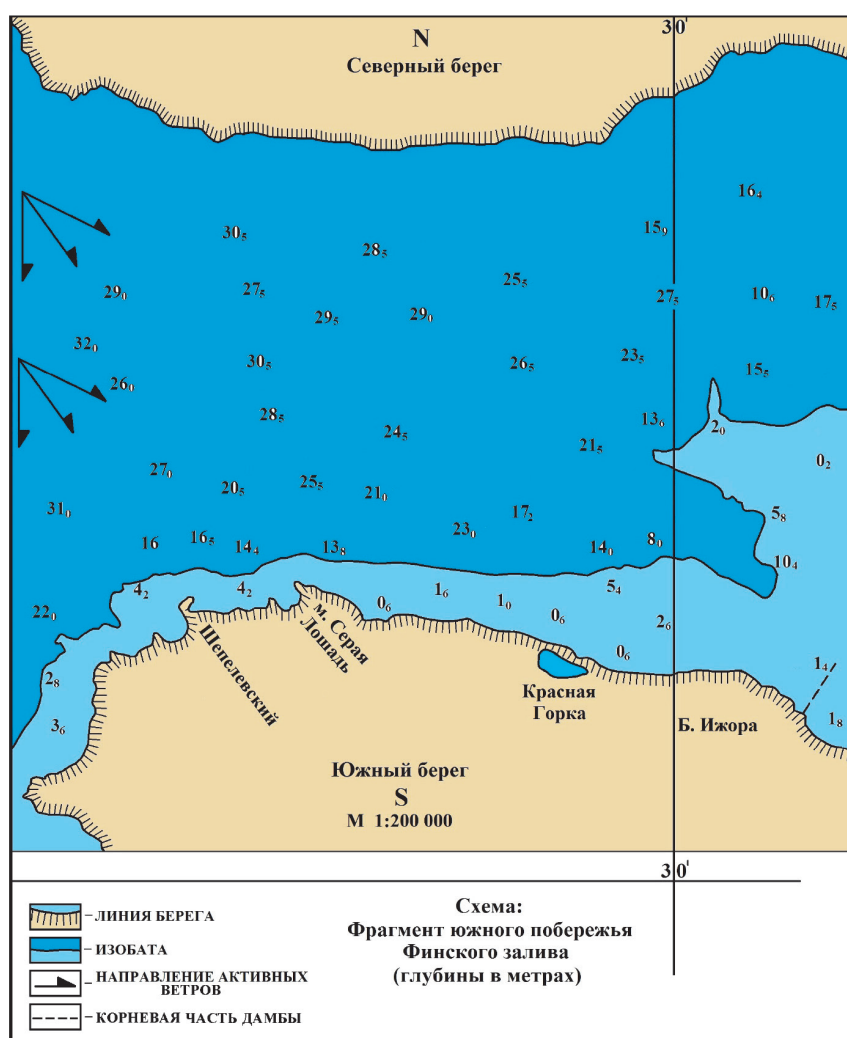


Рис. 5. Положение Лондонской отмели относительно линии берега в южной части побережья Финского залива

Изначально развитые штормовые волны Финского залива, преодолевая немалую дистанцию мелководья, с приближением к урезу, по мере контакта с мелким дном отмели, *утрачивают основную долю энергии за счет проявления «тормозящего» эффекта*. Таким образом, волна теряет свои пляжеобразующие свойства. Возникает некий парадокс: при избыточном скоплении песчаных масс у самого берега участки прилегающей суши залива испытывают резкий дефицит песчано-

го материала, т. е. существующее представление о том, что добыча песка в пределах Лондонской отмели якобы служит одной из весомых причин плохого состояния окружающих берегов, по нашему мнению, является ошибочным.

Таким образом, в процессе исследования данного природного феномена с экологической точки зрения можно отметить, что блокируемая Лондонской отмелью ветровая волна одновременно теряет способность осуществлять одну из важнейших функций по самоочистке (санированию) всей экосистемы и это должно оказывать отрицательное влияние на общее санитарное состояние большей части южного побережья.

Заключение (Conclusion)

Для регулирования процессов формирования пляжей в условиях южного побережья восточной части Финского залива необходимо изменить режим волноприбойного механизма на подходах к указанному берегу. Для этого необходимо предпринять действия по частичной ликвидации Лондонской отмели. Увеличение искусственным путем отметок дна (глубин) на 1–1,5 м с помощью дноуглубительных средств должно усилить пляжеобразующий волновой потенциал от западных, северных и северо-западных ветровых румбов [26], [27]. Подобная операция позволит открыть путь к берегу волнам открытого моря, активизируя выполнение ими экологических и рекреационных функций. Для реализации этого плана потребуется не одно десятилетие, если не более. Однако в перспективе мероприятие представляется оправданным и в дальнейшем должно быть учтено при разработке стратегических планов развития всего рассматриваемого объекта.

Частичная ликвидация Лондонской отмели с помощью дноуглубительной техники способна снять ряд вопросов не только природоохранного свойства. Добываемый песчаный материал может быть использован для подпитки соседствующих пляжных территорий, а также в строительной отрасли. Запасы данного месторождения оцениваются в количестве 41 млн 329 тыс. м³. Разведка месторождения насчитывает 174 скважины. Мощность верхней части залежи, представленной в основном мелкозернистыми фракциями песка, варьирует от 1,5 до 12 м. Подстилагся песчаная залежь супесями и суглинками. Учитывая грандиозность рекомендуемого проекта, но при этом его достаточно спорную актуальность для настоящего времени, целесообразно в ближайшие годы приступить к ускоренному формированию пляжных территорий искусственными методами с использованием специальной техники [28].

В начале 90-х гг. XX в. финскими инженерами была разработана малогабаритная рефулерная система, предназначенная для забора и транспортировки песчаных масс в прибрежной полосе, недоступной по глубинам даже для маломерных дноуглубительных средств. Такой тип рефулерных устройств может быть чрезвычайно востребован при решении ряда задач, связанных, например, с изменением конфигурации береговой линии, созданием искусственных бухт или наращиванием пляжей, обеспечивая при этом техническую возможность бесперебойной работы непосредственно в прибойной полосе даже в условиях непогоды.

Опыт искусственной отсыпки песчаной массы на пляже с целью поддержания оптимальных габаритов его надводной части был осуществлен на северном побережье Финского залива, в районе поселка Комарово в 1988 г. Размеры экспериментальной отсыпки объемом в 32250 м³ составляли в начальном виде 430 м в длину и 50 м в ширину. Данная операция выполнялась без учета приведенных в настоящей статье законов формирования пляжных территорий. В случае повторной реализации проектов подобного рода следует принять во внимание ранее изложенное, т. е. при осуществлении задуманного эксперимента на заранее согласованном участке берега следует определить наличие или отсутствие берегового вала. В случае наличия такового необходимо уточнить стадию его развития и дать оценку состояния прилегающей береговой полосы в целом. В местах отсутствия береговых валов следует осуществлять отсыпку вдоль уреза искусственного песчаного образования, имитирующего естественный береговой вал. Предлагаемая технология восстановления пляжной полосы является, с нашей точки зрения, наиболее соответствующей реальным природным процессам и достаточно экономичной. В условиях активного ветрового

режима созданный искусственным путем вал должен быть непременно вовлечен в естественные береговые процессы с постепенным восстановлением стандартного пляжного профиля [29], [30]. При формировании таким способом песчаной полосы, скорее всего, должна возникнуть необходимость в периодическом восстановлении искусственного вала. В данном случае на первый план выйдут технические возможности для проведения подобных операций с использованием малогабаритных рефулерных устройств нового типа.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лонгинов В. В. Очерки литодинамики океана / В. В. Лонгинов. — М.: Наука, 1973. — 244 с.
2. Мунх-Петерсон. Движение наносов вдоль берегов безливных морей / Мунх-Петерсон // 4-я Гидрологическая конференция Прибалтийских стран. — Л.: Государственный гидрологический институт, 1934. — С. 30.
3. Зенкович В. П. Основы учения о развитии морских берегов / В. П. Зенкович. — М.: Изд. АН СССР, 1962. — 710 с.
4. Спиридонов М. А. Изменение береговой зоны восточной части Финского залива под воздействием природных и антропогенных факторов / М. А. [и др.] // Региональная геология и металлогения. — 2010. — № 41. — С. 107–118.
5. Филатов Н. Н. Водные ресурсы европейского севера России в условиях изменяющегося климата / Н. Н. Филатов [и др.], // Водные ресурсы суши в условиях изменяющегося климата: сборник статей. — СПб.: ООО «Издательство ЛЕМА», 2007. — С. 3–19.
6. Баском В. Волны и пляжи / В. Баском. — Л. Гидрометеиздат, 1966. — 280 с.
7. Кожухов И. В. Литодинамика, экология, морской микрорельеф: монография / И. В. Кожухов. — СПб.: Изд. ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова, 2018. — 156 с.
8. Кожухов И. В. Электронная инженерная гидрография и перспективы получения новых данных по морфологии и геоэкологии арктических морей / И. В. Кожухов, Е. Н. Колосков, Ю. Г. Фирсов // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2015. — № 4 (32). — С. 95–103.
9. Кожухов И. В. Порты и морские побережья в аспекте современных экологических проблем / И. В. Кожухов // Эксплуатация морского транспорта. — 2009. — № 3 (57). — С. 40–43.
10. Кожухов И. В. Системный подход к изучению потоков наносов в мелководной зоне морей для обеспечения нормального режима судоходства / И. В. Кожухов // Эксплуатация морского транспорта. — 2010. — № 3 (61). — С. 30–34.
11. Фирсов Ю. Г. Новые методы пространственной визуализации результатов инженерной батиметрической съемки / Ю. Г. Фирсов, И. В. Кожухов // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2014. — № 2 (24). — С. 17–23.
12. Евменов В. Ф. Опыт определения элементов морских волн радиолокационным методом / В. Ф. Евменов [и др.]. — Киев: Наукова думка, 1971. — 22 с.
13. Ретеюм А. Ю. Физико-географические исследования и системный подход / А. Ю. Ретеюм // Системные исследования. — 1972. — С. 90–109.
14. Тимофеев-Ресовский Н. В. Системный подход в экологии / Н. В. Тимофеев-Ресовский // Системные исследования. — 1970. — С. 114–134.
15. Григорьев А. Г. Новые данные по истории развития юго-восточной части Балтийского моря от позднеледникового до современности / А. Г. Григорьев [и др.] // Региональная геология и металлогения. — 2009. — № 40. — С. 103–114.
16. Зубенко Ф. С. Природная и антропогенная динамика берегов восточной части Финского залива / Ф. С. Зубенко // XIX Международная конференция “Современные проблемы изучения берегов”. Тезисы докладов. — СПб.: Изд. РАН, Санкт-Петербургский Научный центр, 1995. — С. 52–54.
17. Ингл Дж. Движение пляжных песков / Дж. Ингл. — Гидрометеиздат, 1971. — 226 с.
18. Леонтьев О. К. Геоморфология морских берегов и дна / О. К. Леонтьев. — Изд. МГУ, 1955. — 269 с.
19. Леонтьев И. О. Динамика прибойной зоны у песчаного аккумулятивного берега бесприливног моря: автореф. дис. физ.-мат. ... наук / И. О. Леонтьев. — М., 1993. — 39 с.
20. Орвику К. Современные берега / К. Орвику, О. Гранэ. — Таллин: Издательство АН Эстонии, 1992. — 422 с.

21. Спиридонов М. А. Методология, методы и главные результаты морского экологического (геоэкологического) патруля (МЭП) / М. А. Спиридонов [и др.] // Государственный доклад о состоянии окружающей среды Санкт-Петербурга и Ленинградской области в 1998г. — СПб.: Ленкомэкология, 2000. — Т. 2. — С. 216–236.
22. Сухачева Л. Л. Исследование изменчивости берега восточной части Финского залива на основе ретроспективного анализа данных аэро- и космических съемок / Л. Л. Сухачева, Е. И. Кильдюшевский // Сборник тезисов VII Международного форума «День Балтийского моря». — СПб., 2006. — С. 254–255.
23. Чахотин П. С. Периодические формы донного рельефа на шельфе Белого моря / П. С. Чахотин // Океанология. — 1976. — № 6. — С. 1063–1067.
24. Болдырев В. Л. Потоки песчаных наносов юго-восточной Балтики / В. Л. Болдырев, В. К. Гуделис, Р. Я. Кнапс // Исследования динамики рельефа морских побережий. — М.: Наука, 1979. — С.14–18.
25. Шепард Ф. Морская геология / Ф. Шепард. — Л.: Недра, 1969. — 462 с.
26. Daly C. J. On the morphological development of embayed beaches / C. J. Daly, C. Winter, K. R. Bryan // Geomorphology. — 2015. — Vol. 248. — Pp. 252–263. DOI: 10.1016/j.geomorph.2015.07.040.
27. Leont'yev I. O. The forecast of the coastal recession in the eastern Gulf of Finland for the twenty-first century / I. O. Leont'yev, D. V. Ryabchuk, A. Y. Sergeev, O. A. Kovaleva // Oceanology. — 2015. — Vol. 55. — Is. 3. — Pp. 434–440. DOI: 10.1134/S0001437015030108.
28. Bruun P. Off shore dredging F. influence on beach and bottom stability / P. Bruun // Dock and Harbour Authority. — 1971. — No. 605. — Pp. 241–247.
29. Leont'yev I. O. Modeling of storm-induced deformations of a sandy coast (based on the example of the eastern Gulf of Finland) / I. O. Leont'yev, D. V. Ryabchuk, A. Y. Sergeev // Oceanology. — 2015. — Vol. 55. — Is. 1. — Pp. 131–141. DOI: 10.1134/S000143701406006X.
30. Smyth T. A. G. Aeolian dynamics of beach scraped ridge and dyke structures / T. A. G. Smyth, P. A. Hesp // Coastal Engineering. — 2015. — Vol. 99. — Pp. 38–45. DOI: 10.1016/j.coastaleng.2015.02.011.

REFERENCES

1. Longinov, V. V. *Ocherki litodinamiki okeana*. M.: Nauka, 1973.
2. Munkh-Peterson. "Dvizhenie nanosov vdol' beregov bezlivnykh morei." *4-ya Gidrologicheskaya konferentsiya Pribaltiiskikh stran*. L.: Gosudarstvennyi gidrologicheskii institut, 1934. 30.
3. Zenkovich, V. P. *Osnovy ucheniya o razvitiі morskikh beregov*. M.: Izd. ANSSSR, 1962.
4. Spiridonov, M. A., D. V. Ryabchuk, K.K. Orviku, L.L. Sukhacheva, E.N. Nesterova, and V.A. Zhamoida. "Izmenenie beregovoi zony vostochnoi chasti Finskogo zaliva pod vozdеistviem prirodnkh i antropogennykh faktorov." *Regional'naya geologiya i metallogeniya* 41 (2010): 107–118.
5. Filatov, N. N., A. V. Litvinenko, L. E. Nazarova, Yu. A. Salo, A. Yu. Terzhevnik, L.A. Rukhovets, G.P. Astrakhantsev, A. V. Semenov, and V.N. Ozhigina. "Vodnye resursy evropeiskogo severa Rossii v usloviyakh izmenyayushchegosya klimata." *Vodnye resursy sushi v usloviyakh izmenyayushchegosya klimata: sbornik statei*. SPb.: OOO «Izdatel'stvo «LEMA», 2007. 3–19.
6. Baskom, V. *Volny i plyazhi*. L. Gidrometeoizdat, 1966.
7. Kozhukhov, I. V. *Litodinamika, ekologiya, morskoi mikrorel'ef: monografiya*. SPb.: Izd. GUMRF imeni admirala S.O. Makarova, 2018.
8. Kozhukhov, I. V., E. N. Koloskov, and Yu. G. Firsov. "Electronic engineering hydrography and the prospects of obtaining new results on the morphology and bottom environmental conditions of the arctic seas." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S.O. Makarova* 4(32) (2015): 95–103.
9. Kozhukhov, I. V. "Porty i morskіe poberezh'ya v aspekte sovremennykh ekologicheskikh problem." *Ekspluatatsiya morskogo transporta* 3(57) (2009): 40–43.
10. Kozhukhov, I. V. "Systems approach to the study of flow of sediment in the shallow sea zone to ensure normal shipping." *Ekspluatatsiya morskogo transporta* 3(61) (2010): 30–34.
11. Firsov, Yu.G., and I. V. Kozhukhov. "The new three dimensional visualization techniques for bathymetric engineering survey." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S.O. Makarova* 2(24) (2014): 17–23.
12. Evmenov, V. F., I. V. Kozhukhov, N. T. Nichiporenko, and G. D. Khulap. *Opyt opredeleniya elementov morskikh voln radiolokatsionnym metodom*. Kiev: Nauk. dumka, 1971.
13. Reteyum, A. Yu. "Fiziko-geograficheskie issledovaniya i sistemnyi podkhod." *Sistemnye issledovaniya* (1972): 90–109.

14. Timofeev-Resovskii, N. V. "Sistemnyi podkhod v ekologii." *Sistemnye issledovaniya* (1970): 114–134.
15. Grigor'ev, A. G., V. A. Zhamoida, M. A. Spiridonov, A. Yu. Sharapova, and V. V. Sivkov. "Novye dannye po istorii razvitiya yugo-vostochnoi chasti Baltiiskogo morya ot pozdnelednikov'ya do sovremennosti." *Regional'naya geologiya i metallogeniya* 40 (2009): 103–114.
16. Zubenko, F. S. "Prirodnaya i antropogennaya dinamika beregov vostochnoi chasti Finskogo zaliva." *XIX Mezhdunarodnaya konferentsiya "Sovremennye problemy izucheniya beregov". Tezisy dokladov.* SPb.: Izd. RAN, Sankt-Peterburgskii Nauchnyi tsentr, 1995. 52–54.
17. Ingl, Dzh. *Dvizhenie plyazhnykh peskov.* Gidrometeoizdat, 1971.
18. Leont'ev, O. K. *Geomorfologiya morskikh beregov i dna.* Izd. MGU, 1955.
19. Leont'ev, I. O. Dinamika priboinoi zony u peschanogo akkumulyativnogo berega besprilivnogo moray. Abstract of diss. M., 1993.
20. Orviku, K., and O. Grane. *Sovremennye berega.* Tallin: Izdatel'stvo AN Estonii, 1992.
21. Spiridonov, M. A., N. G. Medvedeva, V. T. Paka, and M. A. "Kholmyanskii. Metodologiya, metody i glavnye rezul'taty morskogo ekologicheskogo (geoekologicheskogo) patrulya (MEP)." *Gosudarstvennyi doklad o sostoyanii okruzhayushchei sredy Sankt-Peterburga i Leningradskoi oblasti v 1998g.* Vol.2. SPb.: Lenkomekologiya, 2000. 216–236.
22. Sukhacheva, L. L., and E. I. Kil'dyushevskii. "Issledovanie izmenchivosti berega vostochnoi chasti Finskogo zaliva na osnove retrospektivnogo analiza dannykh aero- i kosmicheskikh s'emok." *Sbornik tezisev VII Mezhdunarodnogo foruma "Den' Baltiiskogo morya".* SPb., 2006. 254–255.
23. Chakhotin, P. S. "Periodicheskie formy donnogo rel'efa na shel'fe Belogo moray." *Okeanologiya* 6 (1976): 1063–1067.
24. Boldyrev, V. L., V. K. Gudelis, and R. Ya. Knaps. "Potoki peschanykh nanosov yugo-vostochnoi Baltiki." *Issledovaniya dinamiki rel'efa morskikh poberezhii.* M.: Izd. Nauka, 1979. 14–18.
25. Shepard, F. *Morskaya geologiya.* L.: Nedra, 1969.
26. Daly, Christopher J., Christian Winter, and Karin R. Bryan. "On the morphological development of embayed beaches." *Geomorphology* 248 (2015): 252–263. DOI: 10.1016/j.geomorph.2015.07.040
27. Leont'yev, I. O., D. V. Ryabchuk, A.Y. Sergeev, and O. A. Kovaleva. "The forecast of coastal recession in the eastern gulf of Finland for the twenty-first century." *Oceanology* 55.3 (2015): 434–440. DOI: 10.1134/S0001437015030108.
28. Bruun, P. "Off shore dredging F. influence on beach and bottom stability." *Dock and Harbour Authority* 605 (1971): 241–247.
29. Leont'yev, I. O., D. V. Ryabchuk, and A. Yu Sergeev. "Modeling of storm-induced deformations of a sandy coast (based on the example of the eastern Gulf of Finland)." *Oceanology* 55.1 (2015): 131–141. DOI: 10.1134/S000143701406006X.
30. Smyth, Thomas AG, and Patrick A. Hesp. "Aeolian dynamics of beach scraped ridge and dyke structures." *Coastal Engineering* 99 (2015): 38–45. DOI: 10.1016/j.coastaleng.2015.02.011.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Кожухов Игорь Валентинович —
кандидат географических наук, доцент
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала
С. О. Макарова»
198035, Российская Федерация, Санкт-Петербург,
ул. Двинская 5/7
e-mail: pontida@mail.ru, kaf_bj@gumrf.ru
Спирidonov Михаил Александрович —
доктор геолого-минералогических наук, профессор
Всероссийский научно-исследовательский
геологический институт им. А.П. Карпинского
199106, Российская Федерация, Санкт-Петербург,
ВО, Средний пр., 72
e-mail: michail_spiridonov@vsegei.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Kozhuhov, Igor V. —
PhD, associate professor,
Admiral Makarov State University of Maritime
and Inland Shipping
5/7 Dvinskaya Str., St. Petersburg, 198035,
Russian Federation
e-mail: pontida@mail.ru, kaf_bj@gumrf.ru
Spiridonov, Mikhail A. —
Dr. of Geological and Mineralogical Sciences,
professor
A.P. Karpinsky Russian Geological Research Institute
72 Sredny Av., Vasilievsky Island, St. Petersburg,
199106, Russian Federation
e-mail: michail_spiridonov@vsegei.ru

Статья поступила в редакцию 18 ноября 2019 г.
Received: November 18, 2019.