

ПРИРОДНЫЕ И ТЕХНОПРИРОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ

УДК 556.535.6:62.626.35

СТОК ВЛЕКОМЫХ НАНОСОВ РЕК ЧЕРНОМОРСКОГО ПОБЕРЕЖЬЯ КРАСНОДАРСКОГО КРАЯ

© 2021 г. В. А. Петров^{1,*}, Н. А. Ярославцев¹

¹ ОПАО ЦНИИТС Научно-исследовательский центр “Морские берега”,
ул. Яна Фабрициуса, 1, г. Сочи, 354002 Россия

*E-mail: demmi8@mail.ru

Поступила в редакцию 25.01.2021 г.

После доработки 01.03.2021 г.

Принята к публикации 09.03.2021 г.

При сохранении оставшихся и восстановлении размывтых галечных пляжей на Черноморском побережье Краснодарского края, в том числе на участке берега между Туапсе и Адлером, необходимо учитывать твердый сток рек, неточные данные по которому могут негативно отразиться на рекомендуемые берегозащитные мероприятия. В естественных условиях до возведения портов, берегозащитных сооружений и выборки аллювиальных отложений из рек и пляжей стабильное состояние пляжей обеспечивалось равенством приходных и расходных составляющих баланса наносов в береговой зоне. В приходной части основной объем пляжеобразующего материала составляли крупнообломочные наносы, выносимые многочисленными водотоками. Поступление от абразионных процессов было незначительным. Расходная составляющая определялась истиранием пляжного материала при его перемещении под воздействием волн и, отчасти, уходом во вдольбереговом потоке за пределы рассматриваемого участка берега. На основе балансового расчета уточняются величины стока пляжеобразующего материала крупностью более 2 мм рек Черноморского побережья Краснодарского края, содержащиеся в работе Г.Н. Хмаладзе [11] и, отчасти, В.В. Ромашина [8]. Выполненные расчеты свидетельствуют о завышении величины твердого стока у Г.Н. Хмаладзе в 2, а у В.В. Ромашина – 1.7 раза. Антропогенное вмешательство в русловые процессы, связанное с канализацией русел и выборкой аллювиального материала, уменьшило объем наносов, выносимый реками. Современную величину твердого стока возможно оценить по объемам материала, аккумулирующегося в береговой зоне вблизи устьев рек, в том числе и в бунных комплексах. Бунные комплексы, расположенные ниже устьев рек относительно направления вдольберегового потока наносов, в межбунные отсеки которых не производилась отсыпка пляжеобразующего материала, аккумулируют наносы, выносимые реками, что приводит к возникновению и продвижению низовых размывов. При существенном сокращении твердого стока рек это обуславливает неравномерное распределение ширины пляжа вдоль берега, которое также сопряжено и с возведением поперечных преград неоправданной длины.

Ключевые слова: баланс пляжеобразующих наносов, вдольбереговой поток, истирание галечных наносов, пляж, твердый сток рек

DOI: 10.31857/S0869780921030073

ВВЕДЕНИЕ

В последние десятилетия на Кавказском побережье Краснодарского края усилились темпы деградации волногасящих галечных пляжей, защищающих берег от воздействия волн, в том числе полотно железной дороги и рекреационные объекты, расположенные между Туапсе и Адлером. Это предопределяет необходимость проведения эффективных берегозащитных мероприятий, соответствующих современным природоохранным, экологическим и рекреационным требованиям. Этому в полной мере отвечают природные и искусственные волногасящие галечные пляжи. Эффективность создаваемых берегозащитных пля-

жей во многом будет определяться достоверной оценкой баланса наносов при их проектировании. Основная приходная составляющая баланса наносов на участке берега между Туапсе и Адлером – твердый сток рек. В твердом стоке следует учитывать объемы выноса на берег наносов крупностью более 2 мм, определяющими пляжеобразующими фракциями галечных пляжей данного региона.

Наиболее полные данные по твердому стоку рек Черноморского побережья Краснодарского края приводятся в работах Г.Н. Хмаладзе [11] и В.В. Ромашина [8]. По данным Г.Н. Хмаладзе [11], среднегодовалая ежегодная величина сто-

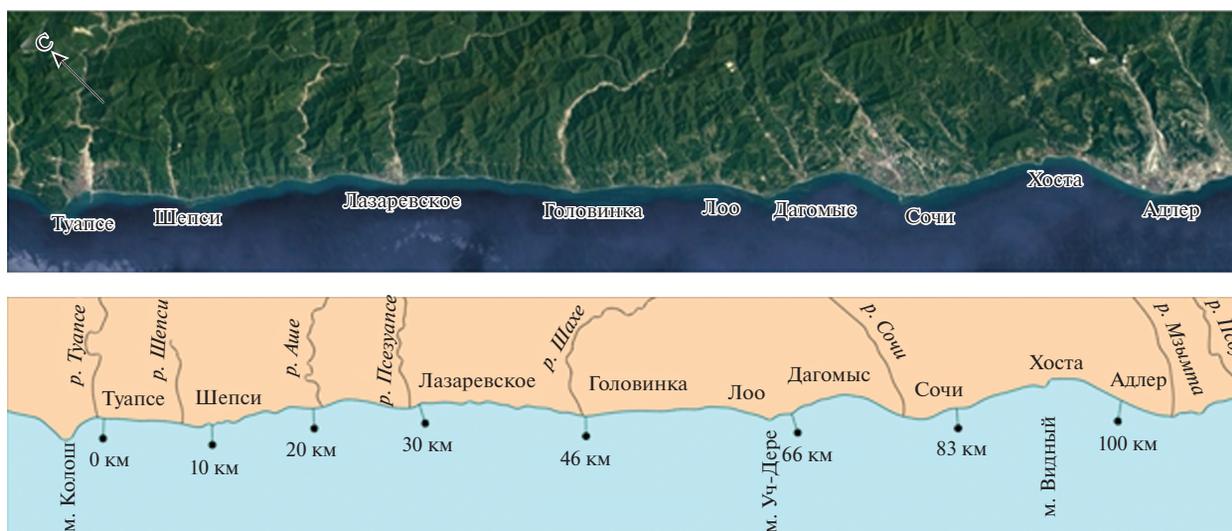


Рис. 1. Карта-схема берега между Туапсе и Адлером. Цифрами указаны расстояния от Туапсе.

ка наносов крупнее 2 мм по всем значимым водотокам на участке берега от Туапсе и до устья р. Мзымта, впадающей в море в Адлере, в естественных условиях составляла 516.6 тыс. т. или 303.9 тыс. м³. По данным В.В. Ромашина [8], величина стока пляжеобразующих наносов меньше — до 259.5 тыс. м³. Ранее А.М. Жданов [5] ежегодное поступление наносов из рек на этом участке берега в естественных условиях определил в объеме 150.0 тыс. м³.

Анализ береговых процессов, протекающих на рассматриваемом участке берега, свидетельствует о завышении величины стока, представленных в работах [8] и [11].

Литодинамические исследования, выполняемые при обосновании берегозащитных мероприятий с созданием волногасящих галечных пляжей на участке берега между Туапсе и Адлером, сопряженные с анализом поступления из рек пляжеобразующего материала и его распределением вдоль берега, свидетельствуют о завышении величины стока, представленных в работах [8] и [11].

В естественных условиях до возведения портов и берегозащитных комплексов и при отсутствии выборки наносов с пляжей и русел рек, рассматриваемый участок берега окаймляли широкие галечные пляжи, находящиеся в относительно равновесном состоянии. Относительная динамическая стабильность пляжа определялась вдольбереговым потоком галечных наносов, начинающимся от Туапсе и идущим в юго-восточном направлении до Абхазии. При своем движении поток, не прерываясь, обходил естественные преграды в виде небольших мысов (Уч-Дере, Видный и ряд других).

Устойчивость и ширина пляжей на конкретных участках берега зависела от соотношения поступления пляжеобразующего материала из рек, его истиранием, приходом и уходом за пределы рассматриваемого участка берега во вдольбереговом потоке. По мере своего движения вдольбереговой поток постоянно пополнялся выносами рек, многочисленных ручьев и временных водотоков (рис. 1). В естественных условиях для всего участка берега между Туапсе и Адлером в баланс наносов определяющими составляющими являлись твердый сток рек и потери в результате истирания галечных наносов, перемещаемых вдоль берега под воздействием волн. Величина вдольберегового потока на входе участка берега у Туапсе была равна нулю из-за полного его перехвата далеко выдвинутым в море мысом Колош, расположенным в 3.3 км северо-западнее Туапсе, и огражденным юго-восточным молом Туапсинского порта. На выходе у устья р. Мзымта ежегодная величина потока не превышала 10 тыс. м³. До возведения волноотбойных стен, которые в настоящее время прикрыли береговой откос на протяжении почти 82% длины рассматриваемого участка берега, часть пляжеобразующего материала в береговую зону могла попадать в результате донной и береговой абразии.

Таким образом, твердый сток рек на участке берега от Туапсе до устья р. Мзымта в естественных условиях может быть оценен по объему истирания галечного материала, его поступлению в результате абразионных процессов и величине потока наносов, проходящего через устье р. Мзымта.

Перехват наносов, выносимых реками и перемещающихся во вдольбереговом потоке бунными комплексами, возведенными вблизи устьев рек, в межбунные отсеки которых не производилась от-

сыпка пляжеобразующего материала, приводит к возникновению и распространению низовых размывов и неравномерному распределению вдоль берега ширины галечного пляжа.

Антропогенное вмешательство в естественные русловые процессы, связанное с канализацией русел и выборкой руслового аллювия, существенным образом отразилось на сокращении стока крупнообломочного материала. Современную величину твердого стока на участке берега между Туапсе и Адлером возможно оценить по объему истирания наносов на протяжении стабильных участков аккумулятивных выступов рек.

Выполненные исследования по оценке литодинамических условий береговой зоны на участке берега между Туапсе и Адлером проводились с целью:

- определения величины стока пляжеобразующих наносов крупностью более 2 мм рек Черноморского побережья Краснодарского края на участке берега между Туапсе и Адлером до активного антропогенного вмешательства в природные процессы (конец 1940-х – начало 1950-х гг.);

- определения современного твердого стока рек в условиях усиливающегося антропогенного вмешательства в береговые и русловые процессы;

- уточнения ранее опубликованных данных по твердому стоку рек рассматриваемого региона;

- оценки современного состояния галечного пляжа и берегозащитных сооружений;

- оценки влияния уменьшения твердого стока рек и нерационального проведения берегозащитных мероприятий на состояние галечных пляжей на рассматриваемом участке берега.

Проведенные исследования выполнены на основе балансового метода, включающего анализ приходных и расходных его составляющих с использованием последних данных по вдольбереговому потоку и истиранию галечных наносов. Полученные результаты сравнивались с ранее опубликованными данными. Анализ динамики состояния галечных пляжей выполнен по результатам сравнения современного их состояния, полученного по детальным обследованиям пляжной полосы и берегозащитных сооружений, выполненным авторами в 2018–2019 гг. с данными за предыдущие годы.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В естественных условиях ежегодная величина пополнения пляжей крупнообломочными наносами от абразии берега и дна на участке берега от Туапсе до Адлера не превышала 20.0 тыс. м³ [5]. Общие потери на истирание гравийно-галечного материала при его перемещении под воздействием волн в пределах рассматриваемого участка бе-

рега можно оценить с учетом его протяженности и удельных потерь, приходящихся на 1 км береговой линии.

По А.М. Жданову [4], объем потерь пляжеобразующего материала на 1 км берега в зависимости от прочности пород, выносимых реками на берег, изменяется от 900 до 1600 м³. Н.Н. Федоровский [10] величину потерь на 1 км берега принимает равной 1.7 тыс. м³ в год. У Е.К. Гречищева [1] эта величина колеблется от 1.0 до 1.3 тыс. м³ в год. По расчетам, выполненным в [9], величина потерь на истирание пляжеобразующего материала на 1 км берега от Туапсе до Адлера равна 1.55 тыс. м³.

Имея в виду выше приведенные значения, для дальнейшего анализа удельная величина потерь объема наносов на 1 км берега принимается равной 1.5 тыс. м³ в год. Тогда ежегодные потери объема пляжного материала на истирание при длине рассматриваемого участка берега равной 105.1 км, составят 157.7 тыс. м³. Как было отмечено выше, объем наносов, уходящий во вдольбереговом потоке за пределы устья р. Мзымта в естественных условиях, не превышал 10.0 тыс. м³ в год. Следовательно, общие потери, определяющие расходную часть баланса на участке берега от Туапсе до устья р. Мзымта в естественных условиях, составляли 167.7 тыс. м³ в год. Из равенства в балансовых расчетах приходных и расходных его частей следует, что ежегодный объем крупнозернистых наносов, выносимый водотоками на берег, включая материал, поступающий на пляжи от абразионных процессов (20.0 тыс. м³ в год), должен был составлять 147.7 тыс. м³. Полученная расчетная величина очень близка к твердому стоку рек, определенному А.М. Ждановым [5].

При величине твердого стока рек по источнику [11], равной 303.9 тыс. м³ в год, потери на истирание наносов для сохранения нулевого баланса должны увеличиться до 3 тыс. м³ на 1 км берега, что явно не соответствует действительности. Можно предположить, что значения твердого стока рек по данным Г.Н. Хмаладзе [11] и В.В. Ромашина [8] завышены. На это обращает внимание в своей работе и Ш.В. Джаошвили [3], который отмечал двукратное завышение в источнике [11] величины твердого стока р. Мзымта.

Использование данных по твердому стоку рек, выпадающих в море между Туапсе и Адлером, взятых из источников [11] и [8], могут привести к ошибкам при литодинамических исследованиях и назначении берегозащитных мероприятий.

Выполненные расчеты свидетельствуют, что данные по стоку рек, помещенные в работе [11], необходимо уменьшить в 2 раза, а в работе [8] – в 1.7 раза.

В табл. 1 (столбец 3) приводятся данные по величине объемов выноса реками наносов крупнее 2 мм по источнику [11] в естественном состоянии русел, т.е. не затронутых выборкой руслового аллювия, а в столбце 4 – значения, полученные по балансовому расчету.

Ранее, до начала строительства в 1914 г. железной дороги Туапсе–Сочи, берег был окаймлен сплошной полосой галечного пляжа, средняя ширина которого составляла 32 м. Наиболее полные данные по ширине галечных пляжей можно найти в материалах изысканий, выполненных перед началом строительства железной дороги. В естественных условиях береговая зона от Туапсе до Абхазии представляла собой единую литодинамическую систему, устойчивость пляжей в которой поддерживалась вдольбереговым потоком наносов, пополняемым по мере своего продвижения твердым стоком рек, основными из которых являлись Аше, Псезуапсе, Шахе, Сочи и Мзымта.

Возведение в 1936 г. оградительных молов Сочинского порта, в 1980-х гг. парусного центра при проведении летней олимпиады, а в начале 2000-х гг. – Имеретинского порта, расположенного в 130 м юго-восточнее устья р. Мзымта, прервало единый вдольбереговой поток галечных наносов. Береговая зона оказалась разделенной на обособленные литодинамические подсистемы, состояние пляжей в которых определялось не единым вдольбереговым потоком, а выносами рек, впадающих в море в их пределах. Существенное влияние на вдольбереговое перемещение материала и сокращение ширины галечного пляжа оказали берегозащитные мероприятия, защищающие береговой откос и железную дорогу от штормового воздействия волн, особенно возведение бун и волноломов, а также выдвигание на пляжную зону рекреационных объектов.

Катастрофические последствия на состояние галечных пляжей оказала выборка аллювиальных отложений из пляжей и русел рек на строительство различного рода народнохозяйственных объектов [2, 8]. Так, к середине 1970-х гг. только из русел наиболее крупных рек Туапсе, Аше, Псезуапсе, Шахе и Сочи было выбрано около 9 млн м³ аллювиальных отложений. Устройство карьеров по изъятию материала непосредственно с пляжей повлияло на то, что выносы рек не могли поддерживать пляжи в стабильном состоянии. К середине 1950-х гг. их средняя ширина на участке берега между Туапсе и Адлером по сравнению с 1914 г. уменьшилась почти вдвое и составила 17 м, при этом на протяжении 10.8 км пляж был полностью размыт [12]¹. К 1966 г. средняя ширина пляжа на рассматриваемом участке берега сократилась до

14.6 м. Принятые на правительственном уровне в конце 1960-х гг. меры, запрещающие выборку материала с пляжей и русел рек, и производимые отсыпки пляжеобразующих наносов, способствовали стабилизации пляжной полосы и некоторому ее расширению. К середине 1970-х гг. средняя ширина пляжа увеличилась до 18.2 м. Интенсивное изъятие наносов с русел рек, начавшееся с 1990-х гг. существенно подорвало сток пляжеобразующего материала, и к концу этого десятилетия средняя ширина пляжа на участке берега между Туапсе и устьем р. Мзымта уменьшилась до 17.9 м. Значительное сокращение изъятий наносов из русел рек после 2010 г. привело к некоторому восстановлению ширины пляжа.

По детальным обследованиям состояния берега и берегозащитных сооружений между Туапсе и Адлером, выполненным в октябре–ноябре 2018 г., средняя ширина пляжа на этом участке равнялась 19.8 м. Наряду с этим, общая протяженность участков берега без пляжа увеличилась до 14.5 км, что составляет 13.8% от общей протяженности береговой линии, а галечные пляжи с шириной менее 5 м распространены еще на 4.9 км (4.7%). Следовательно, из 105 км протяженности берега между Туапсе и Адлером в настоящее время галечный пляж на 19.4 км (18.5%) отсутствует или же его ширина не превышает 5 м. И это, несмотря на то, что к настоящему времени на этом участке берега возведено 774 бетонных и каменнонабросных пляжеудерживающих бун, из которых 670 расположено в пределах города-курорта Сочи. В среднем на каждые 136 м длины берега приходится по одной буне. Протяженность пляжей с шириной более 15 м, по данным выполненных обследований, составляет 63.2 км (60.1%). Таким образом, почти на 40% береговой линии между Туапсе и Адлером ширина галечного пляжа оказалась менее 15 м, что недостаточно для необходимого волногашения и может привести к возникновению аварийных ситуаций, угрожающих нормальной эксплуатации железнодорожного транспорта и рекреационных объектов.

Не смотря на отсыпки привозного пляжеобразующего материала, основным источником пополнения пляжей наносами остается твердый сток рек. Последствия изъятий материала из русел рек, сказавшиеся на сокращении их твердого стока, проявляются в настоящее время и не прекратятся в ближайшем будущем. В связи с этим немаловажное значение приобретает оценка фактической современной величины твердого стока рек.

Современный объем крупнозернистых наносов, выносимых реками, можно оценить по аккумулятивному выступам рек, включая галечные пляжи, сформированные в бунных комплексах, расположенных вблизи устьев рек ниже по ходу

¹ Здесь и далее по тексту под средней шириной пляжа понимается ширина в пределах всей длины рассматриваемого фрагмента берега, включая и участки без пляжа.

Таблица 1. Сток наносов крупнее 2 мм на участке берега от Туапсе до устья р. Мзымта (тыс. м³/год)

№ п/п	Река	Сток наносов крупнее 2 мм		
		естественный по Г.Н. Хмаладзе [11]	естественный по балансовому расчету	современный
1	2	3	4	5
1	Туапсе	21.7	10.8	4.8
2	Междуречье	3.3	1.6	1.6
3	Шепси	7.4	3.7	3.5
4	Междуречье	2.8	1.4	1.4
5	Макопсе	6.3	3.2	3.2
6	Неожиданная	1.7	0.8	0.8
7	Аше	27.7	13.8	9.6
8	Куапсе	3.7	1.8	1.8
9	Свирская	1.5	0.7	0.7
10	Псезуапсе	33.6	16.8	12.5
11	Междуречье	0.7	0.4	0.4
12	Цусхвадж	5.5	2.8	2.7
13	Междуречье	0.6	0.3	0.3
14	Чухукт	2.7	1.4	1.4
15	Междуречье	0.2	0.1	0.1
16	Чимит	6.2	3.1	2.5
17	Междуречье	1.2	0.6	0.6
18	Шахе	68.8	34.4	24.4
19	Междуречье	2.7	1.3	1.3
20	Буу	2.8	1.4	1.4
21	Хобза	3.7	1.9	1.9
22	Лоо	6.0	3.0	2.5
23	Междуречье	1.8	0.9	0.9
24	Дагомыс	9.6	4.8	2.7
25	Мамайка	2.7	1.4	1.4
26	Сочи	40.5	20.3	10.9
27	Междуречье	0.5	0.3	0.3
28	Бзугу	1.4	0.7	0.7
29	Междуречье	0.1	0.05	0.05
30	Мацеста	7.8	3.9	3.1
31	Агура	2.0	1.0	1.0
32	Междуречье	1.5	0.7	0.7
33	Хоста	13.3	6.6	4.9
34	Междуречье	0.1	0.05	0.05
35	Кудепста	9.2	4.6	2.2
36	Междуречье	0.26	0.13	0.13
37	Херота	1.6	0.8	0.8
38	Междуречье	0.2	0.1	0.1
	Сумма	303.36	151.63	109.33



Рис. 2. Аккумуляция наносов, выносимых р. Туапсе в пределах бунного комплекса.



Рис. 3. Современный аккумулятивный выступ р. Аше.

потока наносов, и фрагменты пляжей северо-западных флангов этих выступов. Юго-восточнее устья р. Туапсе в пределах бунного комплекса располагается фрагмент галечного пляжа протяженностью 2.5 км, положение которого в последнее время не меняется (рис. 2).

Из этого следует, что выносы реки в пределах этого участка берега компенсируют только потери на истирание пляжного материала. Можно допустить, что незначительная часть наносов, не превышающая 1 тыс. м³, уходит за пределы рассматриваемого фрагмента берега во вдольбереговом потоке. Ежегодные потери на истирание наносов в пределах этого участка берега при среднем его значении равном 1.5 тыс. м³ на 1 км составят 3.75 тыс. м³. При принятом допущении о возможном обходе материалом бунного комплекса, современный сток пляжеобразующих наносов р. Туапсе составит около 5 тыс. м³ в год.

Аналогичным способом с учетом истираемости пляжного материала на северо-западных флангах современных аккумулятивных мысов были определены стоки рек Аше, Псезуапсе и Шахе (рис. 3), которые в настоящее время соответственно составили 9.6, 12.5 и 24.4 тыс. м³ в год. Полученные величины твердого стока близки к данным В.В. Ромашина [8] по измененному стоку этих рек, уменьшенному на коэффициент 1.7. Следует отметить, что уменьшение твердого сто-

ка, обусловленного выборкой наносов с русел, наблюдается в основном на относительно крупных водотоках и не затрагивает малые реки и ручьи. Данные по современному стоку пляжеобразующих наносов представлены в табл. 1 (столбец 5).

При отсутствии надежных данных по твердому стоку рек Черноморского побережья Краснодарского края и величине вдольбереговых потоков наносов при расчете баланса наносов на исследуемом участке берега возможна его оценка по литодинамическим признакам, характеризующим этот фрагмент берега.

Сравнение ширины пляжа от Туапсе до Адлера, установленной по обследованиям, выполненным в 2018 г., с предыдущими данными свидетельствует о возрастающей ее неравномерности вдоль берега, связанной с диспропорцией между участками берега с избыточно широкими пляжами и участками, где их ширина недостаточна. Это обусловлено усиливающимися негативными последствиями антропогенной нагрузки на береговую зону, проявляющимися в возведении берегозащитных комплексов без отсыпки пляжа полного профиля, строительстве длинных бун, перехватывающих вдольбереговую поток наносов, перед которыми формируются пляжи избыточной ширины, и ряда других. Так по северной грани бунной длиной 88 м, возведенной по правому берегу р. Дагомыс, сформировался пляж шириной до 83 м, за

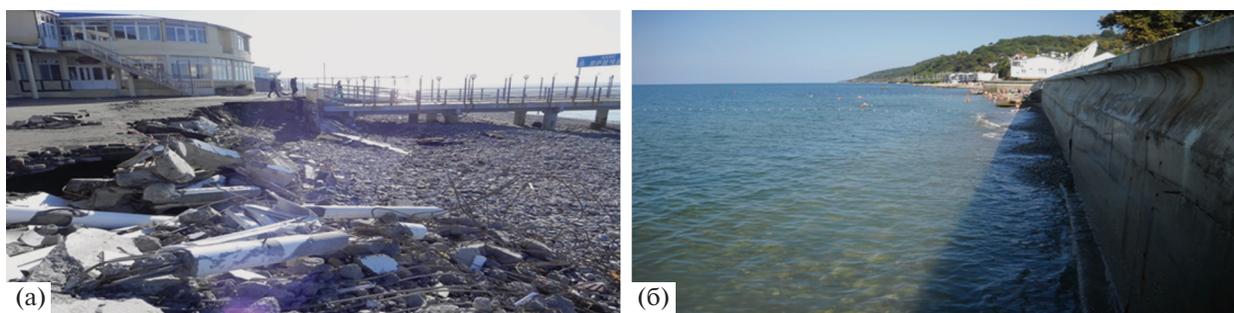


Рис. 4. Размыв пляжа в пос. Лоо (а) (2017 г.) и возведенная волноотбойная стена (б) (2019 г.).

которой после пляжного комплекса “Дагомыс” он исчезает, а волноотбойная стена защищена установленными перед ней бетонными массивами.

Широкий пляж в основном формируется в пределах бунных комплексов, возведенных вблизи устьев рек, за которыми ниже по ходу потока наносов развивается низовой размыв, приводящий к полному исчезновению волногасящего пляжа. Это характерно для устьев рек Туапсе, Аше, Псеуапсе, Шахе и ряда более мелких водотоков. Развитие таких процессов обусловлено недостаточными объемами или полным отсутствием во время строительства отсыпок пляжеобразующего материала в межбунные отсеки, которые не заполняются наносами, выносимыми реками, что приводит к резкому сокращению вдольберегового потока. При этом сами буны, в межбунные отсеки которых не отсыпан в полном объеме пляжеобразующий материал, не способны защитить береговой откос от воздействия волн. Они будут перехватывать вдольбереговой поток галечных наносов, формируемый выносами рек, что приведет к размыву оставшихся фрагментов галечных пляжей. Наибольшую угрозу это создает существованию трем крупным фрагментам сохранившихся естественных пляжей, расположенных на Лазаревском аккумулятивном выступе протяжением 4.3 км между устьем р. Лоо и мысом Уч-Дере, и пляжам Имеретинской низменности, протяжением 7.8 км, расположенным между устьями рек Мзымта и Псоу.

Буны, возведенные северо-западнее устья р. Лоо без отсыпки в межбунные отсеки волногасящих пляжей полного профиля, прервали, хотя и несколько уменьшенный из-за сокращения твердого стока рек, вдольбереговой поток галечных наносов, формируемый в основном выносами р. Шахе, впадающей в море в 14 км западнее. В пределах пос. Лоо во время прохождения в 2017 г. шторма западного направления был почти полностью размыв некогда существовавший широкий галечный пляж и разрушена набережная (рис. 4а). Дальнейшие волнения полностью размывли остатки пляжа, и для предохранения от раз-

рушения прилегающей территории была возведена подпорно-волноотбойная стена (рис. 4б). Однако при отсутствии перед ней пляжа или волногасящего сооружения, что запрещено нормативными документами [9], возведенная на рыхлых основаниях волноотбойная стена в ближайшее время может быть разрушена. Начавшийся размыв рассматриваемого фрагмента естественного галечного пляжа из-за перехвата вдольберегового потока наносов будет распространяться в юго-восточном направлении, что создаст угрозу нормальной эксплуатации проходящей в его тыльной части железной дороги и значительно уменьшит рекреационный потенциал пляжей.

Наибольшее влияние на вдольбереговое перемещение галечного материала оказывают ограждающие молы портов, размещенные юго-восточной устьев рек. Возведенные на южных флангах устьевых аккумулятивных выступов молы Сочинского порта, построенные в 1936 г., и Имеретинского порта в 2007 г., полностью прервали вдольбереговые потоки наносов. Проблемы с пляжами, расположенными южнее устья р. Сочи, из-за невозможности их пополнения выносами реки, проявляются в последние 70–80 лет и не решены полностью в настоящее время. Подобная проблема возникла и после возведения Имеретинского порта, приведшая к полному перехвату вдольберегового потока наносов, формируемого выносами р. Мзымта. Естественные галечные пляжи Имеретинской низменности быстрыми темпами начали размываться. В настоящее время пляж на протяжении 1 км от порта полностью размыв [7, 13]. От разрушения волнами набережная защищена наброской крупных камней (рис. 5) и, тем не менее, подвергается систематическому разрушению [6]. Этот участок берега полностью исключен из рекреационного использования. Без принятия срочных мер по отсыпкам пляжеобразующего материала размыв пляжа будет продолжаться.

Перехват вдольберегового потока наносов системой бун привел к размыву пляжей на северо-западном фланге Лазаревского аккумулятивного выступа (рис. 6). Берег превратился в нагромож-



Рис. 5. Защита набережной олимпийского комплекса в Адлере наброской крупного камня (а) и ее разрушение (б).

дение бетонных шпал и блоков, защищающих железнодорожное полотно от воздействия волн, но используемых рекреантами для отдыха. Практически полное отсутствие естественного вдольберегового потока наносов и отсыпок привозного пляжеобразующего материала скажется на продвижении размыва пляжа в сторону центра пос. Лазаревское, что сопряжено с утратой сохранившегося естественного галечного пляжа, возможным разрушением береговой инфраструктуры и существенным сокращением рекреационной зоны.

ВЫВОДЫ

Хозяйственная деятельность человека негативно отразилась на состоянии галечных пляжей Черноморского побережья Краснодарского края. Необходимость защиты железной дороги, протянувшейся вдоль всего берега от Туапсе до Адлера, и курортная значимость этого региона, предопределили проведение берегозащитных мероприятий на основе восстановления утраченных и создания искусственных галечных пляжей. Несмотря на значительные отсыпки привозного пляжеобразующего материала, основным источником наносов, пополняющих пляжи, является твердый сток многочисленных водотоков. При



Рис. 6. Состояние берега на северо-западном фланге Лазаревского аккумулятивного выступа.

литодинамических исследованиях, проводимых при разработке берегозащитных мероприятий, включающих создание волногасящих галечных пляжей полного профиля, до настоящего времени пользуются данными по среднегодовому стоку пляжеобразующих наносов крупностью более 2 мм, представленными в работах Г.Н. Хмаладзе [11], а позднее — В.В. Ромашина [8].

Выполненные авторами на основе балансовых расчетов исследования свидетельствуют:

- данные по величине стока пляжеобразующего материала для рек Черноморского побережья Краснодарского края у Г.Н. Хмаладзе завышены в 2 раза;

- величина стока пляжеобразующего материала у В.В. Ромашина завышена в 1.7 раза.

По объемам крупнообломочного материала, отложившегося в межбунных отсеках на участках берега вблизи устьев крупных рек, дается оценка величины современного стока рек между Туапсе и Адлером, сокращающегося в результате усиливающегося антропогенного вмешательства в береговые, а особенно в русловые процессы, связанные с канализацией русел и выборкой аллювиального материала.

Использование при балансовых расчетах данных, приведенных в указанных выше работах, завышает объем пляжеобразующего материала, поступающий из рек на берег, что негативно отражается на прогнозах состояния пляжной полосы между Туапсе и Адлером.

Сокращение реками твердого стока, перехват вдольберегового потока галечных наносов огражденными молами портов и возведенными пляжеудерживающими сооружениями являются причинами неравномерного распределения ширины галечного пляжа между Туапсе и Адлером и размыва последних фрагментов естественных пляжей. Это усугубляется порочной практикой проведения берегозащитных мероприятий, когда в межбунные отсеки возведенных бетонных или

каменноабросных бун отсыпается недостаточные объемы пляжеобразующего материала или же материал вообще не отсыпается в надежде их заполнения наносами выносимыми реками. Уменьшение поступления на берег пляжеобразующего материала из рек, объемы которого не в состоянии поддерживать пляжи в стабильном состоянии, приводит к усилению темпов деградации галечных пляжей на Черноморском побережье Краснодарского края.

Для восстановления утраченных галечных пляжей, выполняющих в рассматриваемом регионе как берегозащитные, так и рекреационные функции, необходимо полностью запретить выборку аллювиального материала с русел приморских рек, что увеличит объемы пляжеобразующего материала, поступающего на берег. Это будет способствовать хотя и медленному, но неуклонному увеличению ширины пляжей. Наиболее перспективным является восстановление утраченных галечных пляжей в результате отсыпки крупнообломочного пляжеобразующего материала, т.е. создание искусственных галечных пляжей.

При проведении берегозащитных мероприятий необходимо в межбунные отсеки отсыпать пляжный материал в объеме, предусмотренном проектом, а также заполнить крупнообломочными наносами существующие пустующие межбунные отсеки до полной пляжеудерживающей способности возведенных бун. Это позволит создать искусственные галечные пляжи на значительном протяжении берега. Необходимо предусматривать отсыпки наносов за построенными бунными комплексами и исключить их возведение вблизи устьев рек, что существенным образом уменьшит низовые размывы пляжей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гречищев Е.К., Жданов А.М., Сухиашивили Н.К., Филлин Л.Г. Основные задачи инженерной защиты берегов от размыва и образование пляжей на побережье Черного моря // Инженерная защита берегов Черного моря и рациональное использование прибрежных территорий. Киев: Будівельник, 1968. С. 9–12.
2. Гречищев Е.К., Шульгин Я.С. Проблемы защиты берегов Черного моря. // Укрепление морских берегов. М.: Транспорт, 1972. С. 10–15.
3. Джаошвили Ш.В. Речные наносы и пляжеобразование на Черноморском побережье Грузии. Тбилиси: “Сабчота Сакартвело”, 1986. 156 с.
4. Жданов А.М. Истирание галечных наносов под действием волнения // Бюллетень Океанографической комиссии. 1958. №1. С. 81–88.
5. Жданов А.М. Об основных проблемах защиты берегов Черного моря от разрушительного воздействия волнения // Морские берегоукрепительные сооружения. Тр. ЦНИИС, Вып. 50. 1963. № 50. 76 с.
6. Петров В.А., Ярославцев Н.А. Берег Имеретинской низменности. Настоящее и будущее // Матер. XXVII междунар. береговой конф. “Арктические берега: путь к устойчивости”. Мурманск: МАГУ, 2018. С. 124–127.
7. Петров В.А., Ярославцев Н.А. Влияние порта “Сочи-Имеретинский” на береговые процессы (Черное море) // Геоэкология. 2019. № 5. С. 38–47.
8. Ромашина В.В. Морфодинамика речных русел Сочиного района Черноморского побережья Кавказа // Тр. ЦНИИС. Вып. 211. 2002. 167 с.
9. СП 277.1325800.2016 “Сооружения морские берегозащитные. Правила проектирования”. <http://docs.cntd.ru/document/456055940>.
10. Федоровский Н.Н. Особенности берегозащитных мероприятий на сочинском курорте // Инженерная защита берегов Черного моря и рациональное использование прибрежных территорий. Киев: Будівельник, 1968. С. 22–26.
11. Хмаладзе Г.Н. Выносы наносов реками Черноморского побережья Кавказа. Л.: Гидрометеиздат, 1978. 167 с.
12. Шелушин Ю.А., Петров В.А. Динамика пляжей участка Черноморского побережья России 1956–2018 гг. // Матер. Междунар. конф. “Закономерности формирования и воздействия морских, атмосферных опасных явлений и катастроф на прибрежную зону РФ в условиях глобальных климатических и промышленных вызовов (“опасные явления”). Ростов-на-Дону: ЮНЦ РАН, 2019. С. 217–221.
13. Ярославцев Н.А., Сафьянов Г.А., Петров В.А. Динамика пляжей морского края Имеретинской низменности в междуречье Мзымта-Псоу (Черное море) // Сложные системы. 2018. № 1 (26). С. 37–54.

RUNOFF OF CARRIED RIVER SEDIMENTS AT THE BLACK SEA COAST, KRASNODAR REGION

V. A. Petrov^{a,#} and N. A. Yaroslavtsev^a

^a TsNIIS Joint Stock Co. Branch, “Sea shores” Research Center,
ul. Yana Fabritsiusa, 1, Sochi, 354002 Russia

[#]E-mail: demmi8@mail.ru

Coastal protection measures carried out on the Black Sea coast of the Krasnodar Territory should be focused on the preservation of existing pebble beaches and the creation of wave-damping artificial beaches that meet recreational requirements. This fully applies to the pebble beaches located between Tuapse and Adler, experiencing huge anthropogenic load from the construction of recreational facilities and coastal protection struc-

tures that protect the railway from waves. When restoring lost beaches and creating new ones, solid river runoff must be taken into account, inaccurate data on which may negatively affect the recommended bank protection measures. Under natural conditions, before the construction of ports, coastal protection structures and sampling of alluvial sediments from rivers and beaches, the stable state of the beaches was ensured by the equality of the input and output components of the sediment balance in the coastal zone. In the inlet part, the main thing was the arrival of coarse-grained material on the coast, carried out by numerous streams. The expenditure component was determined by the abrasion of the beach material when moving under the influence of waves and, in part, by leaving the coastal section in the alongshore flow. The balance calculation permitted us to specify the runoff of the beach-forming material with a size >2 mm from the rivers of the Black Sea coast, the Krasnodar krai, as sited in the works by G.N. Khmaladze [11] and, partially, V.V. Romashin [8]. Our calculations revealed overestimated solid runoff 2 times, by G.N. Khmaladze and 1.7 times, by V.V. Romashin. Anthropogenic interference with natural channel processes, i.e., channelling river beds and alluvium excavation has reduced the natural volume of sediments carried by rivers. The actual current solid runoff can be estimated proceeding from the volume of material accumulated in the coastal zone near river mouths, including buna complexes, in the interbuna compartments of which no beach-forming material was poured. Buna complexes located downstream of river mouths in the direction of the sediment flow accumulate sediments carried by rivers, which leads to the emergence and advancement of downstream erosion. A significant reduction in the solid river runoff causes an uneven distribution of the beach width along the coast, which is also associated with the construction of transverse barriers of unjustified length.

Keywords: *sediment balance, groin, alongshore flow, abrasion of pebble sediments, beach, solid river runoff*

REFERENCES

1. Grechishchev, E.K., Zhdanov, A.M., Sukhiashvili, N.K., Filin, L.G. *Osnovnye zadachi inzhenernoi zashchity beregov ot razmyva i obrazovanie plyazhei na poberezh'e Chernogo morya* [The main tasks of the engineering protection of the coast from erosion and the formation of beaches on the Black Sea coast]. *Inzhenernaya zashchita beregov Chernogo morya i ratsional'noe ispol'zovanie pribrezhnykh territorii* [Engineering protection of the Black Sea coast and the rational use of coastal territories]. Kiev, Budivel'nik Publ., 1968. P. 9–12. (in Russian)
2. Grechishchev, E.K., Shul'gin, Ya.S. *Problemy zashchity beregov Chernogo morya* [The problems of protecting the Black Sea shores]. *Ukrepnenie morskikh beregov* [Reinforcing the sea coasts]. Moscow, Transport Publ., 1972. P. 10–15. (in Russian)
3. Dzhaoshvili, Sh.V. *Rechnye nanosy i plyazheobrazovanie na Chernomorskom poberezh'e Gruzii* [River sediments and beach formation on the Black Sea coast of Georgia]. Tbilisi, SabchotaSakartvelo Publ., 1986. 156 p. (in Russian)
4. Zhdanov, A.M. *Istiranie galechnykh nanosov pod deistviem volneniya* [Abrasion of pebble deposits under the influence of waves]. *Bulleten' okeanograficheskoi komissii*, 1958. № 1. P. 81–88. (in Russian)
5. Zhdanov, A.M. *Ob osnovnykh problemakh zashchity beregov Chernogo morya ot razrushitel'nogo vozdeistviya volneniya* [On the main problems of protecting the shores of the Black Sea from the destructive effects of waves]. *Morskie beregoukrepitel'nye sooruzheniya* [Marine shore protection structures]. Transactions of TsNIIS. № 50, 1963, 76 p. (in Russian)
6. Petrov, V.A., Yaroslavtsev, N.A. *Bereg Imeretinskoi nizmennosti. Nastoyashchee i budushchee* [Shore of the Imereti Lowland. Present and future]. Proc. of the XXVII International Coastal Conference “Arctic Shores: the Path to Sustainability.” Murmansk, September 24–29, 2018, Murmansk, MAGU, 2018. P. 124–127. (in Russian)
7. Petrov, V.A., Yaroslavtsev, N.A. *Vliyanie porta “Sochi-Imeretinskii” na beregovye protsessy (Chernoje more)* [Impact of the port “Sochi-Imeretinsky” on coastal processes (the Black Sea)]. *Geoekologiya*, 2019. № 5. P. 38–47. (in Russian)
8. Romashin, V.V. *Morfodinamika rechnykh rusel Sochinskogo raiona Chernomorskogo poberezh'ya Kavkaza* [Morphodynamics of river channels in the Sochi region of the Black Sea coast of the Caucasus]. Transactions of TsNIIS. № 211, 2002, 167 p. (in Russian)
9. SP 277.1325800.2016 *Sooruzheniya morskije beregozashchitnye. Pravila proektirovaniya* [Marine coastal protection structures. Design rules]. Available at: <http://docs.cntd.ru/document/456055940> (in Russian)
10. Fedorovskii, N.N. *Osobennosti beregozashchitnykh meropriyatii na sochinskom kurorte* [Features of coastal protection measures at the Sochi resort]. *Inzhenernaya zashchita beregov Chernogo morya i ratsional'noe ispol'zovanie pribrezhnykh territorii* [Engineering protection of the Black Sea coast and the rational use of coastal territories]. Kiev, Budivel'nik Publ., 1968. P. 22–26. (in Russian)
11. Khmaladze, G.N. *Vynosy nanosov rekami Chernomorskogo poberezh'ya Kavkaza* [Carrying out sediments by the rivers of the Black Sea coast the Caucasus]. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1978, 167 p. (in Russian)
12. Shelushinin, Yu.A., Petrov, V.A. *Dinamika plyazhei uchastka Chernomorskogo poberezh'ya Rossii 1956–2018 gg.* [The dynamics of the beaches of the section of the Black Sea coast of Russia 1956–2018]. Proc. International Conference “Patterns of the formation and impact of marine, atmospheric hazards and disasters on the coastal zone of the Russian Federation in the context of global climatic and industrial challenges (“hazardous phenomena”). Rostov-on-Don, YuNTS RAN, 2019. P. 217–221. (in Russian)
13. Yaroslavtsev, N.A., Saf'yanov, G.A., Petrov, V.A. *Dinamika plyazhei morskogo kraya Imeretinskoi nizmennosti* [The dynamics of the beaches at the sea edge of the Imereti lowland in the Mzymta-Psou interfluvium (Black Sea)]. *Slozhnye sistemy*, 2018. № 1 (26). P. 37–52. (in Russian)