

УДК 551.252

## ВЛИЯНИЕ ПОРТА “СОЧИ-ИМЕРЕТИНСКИЙ” НА БЕРЕГОВЫЕ ПРОЦЕССЫ (ЧЁРНОЕ МОРЕ)

© 2019 г. В. А. Петров<sup>1,\*</sup>, Н. А. Ярославцев<sup>1</sup><sup>1</sup>Филиал АО ЦНИИС Научно-исследовательский центр “Морские берега”,

ул. Яна Фабрициуса, 1, Сочи, 354002 Россия

\*E-mail: demmi8@mail.ru

Поступила в редакцию 24.04.2019 г.

На основе сравнения данных изысканий дается оценка влияния порта, возведенного вблизи устья р. Мзымты, на вдольбереговую поток галечных наносов и изменение контура берега. Рассматриваются процессы аккумуляции наносов в волновой камере проницаемого юго-западного оградительного мола порта, и оценивается возможность его обхода галечным материалом. Показывается, что перемещаемые вдоль мола наносы попадают в многочисленные отвершки каньонов и уходят на глубину.

В результате низового размыва, возникшего за портом, галечный пляж перед берегозащитным сооружением, защищающим набережную от воздействия волн, исчез на участке берега протяжением около 1 км, и его размыв продолжается. Отсутствие волногасящего галечного пляжа создает угрозу разрушения берегозащитного сооружения и набережной.

**Ключевые слова:** аккумуляция, берегозащитное сооружение, вдольбереговой поток, галечный пляж, каньон, порт, оградительный мол, отвершек, пляжеобразующий материал, размыв, пляж, эрозионная ложбина.

DOI: <https://doi.org/10.31857/S0869-78092019538-47>

### ВВЕДЕНИЕ

Официальное название порта, возведенного в Адлере вблизи устья р. Мзымты, – Грузовой терминал порта Сочи. Но для исключения двойного толкования этот порт будем называть Сочи-Имеретинский. Участок берега, занятый в настоящее время территорией порта, до его строительства являлся составной частью сложной морфо-литодинамической системы, устойчивость которой определялась вдольбереговым потоком наносов, формируемым в основном твердым стоком р. Мзымты и направленным в результате особенностей гидродинамического режима в юго-восточном направлении в сторону устья р. Псоу. Основным элементом этой системы был галечный пляж шириной 30–60 м. Приглубость подводного склона, осложненного каньонами, обуславливает подход к берегу мало трансформируемых волн “глубокого” моря, определяющих высокую интенсивность гидродинамических процессов [5].

В 2008 г. в 130 м восточнее устья р. Мзымты вдоль берега на 1370 м начали возводить порт Сочи-Имеретинский [9]. Его акватория защищена от воздействия волн двумя проницаемыми оградительными молами: юго-западным, длиной 1285 м, идущим вдоль берега, и восточным, дли-

ной 160 м, возведенным почти перпендикулярно линии берега, между которыми находятся входные ворота (рис. 1).

Западный фланг территории порта от воздействия волн и возможного смещения в восточном направлении устьевого участка реки защищен наброской камня, сверху прикрытого несколькими слоями фигурных блоков – гексабитами. Проницаемая часть юго-западного оградительного мола начинается в 50 м от начала порта и представляет собой волногасящую камеру шириной 17.2 м, на первых 135 м огражденную двумя рядами (морским и внутренним) вертикально установленных металлических труб, которая далее переходит в камеру с тремя рядами труб. От проникновения волн в акваторию порта за внутренним рядом труб на расстоянии 0.60–0.65 м от него установлен непроницаемый шпунт [9]. Трубы диаметром 1020 мм в морском ряду установлены на расстоянии ~1 м друг от друга, а во внутреннем ряду расстояние между трубами диаметром 1220 мм – 1.18 м. Средний ряд, расположенный посередине между морским и внутренним, выполнен из труб диаметром 1220 мм, установленными в 0.36 м друг от друга. На трубы по отметке +9.40 м уложено бетонное перекрытие оградительного мола. С мор-

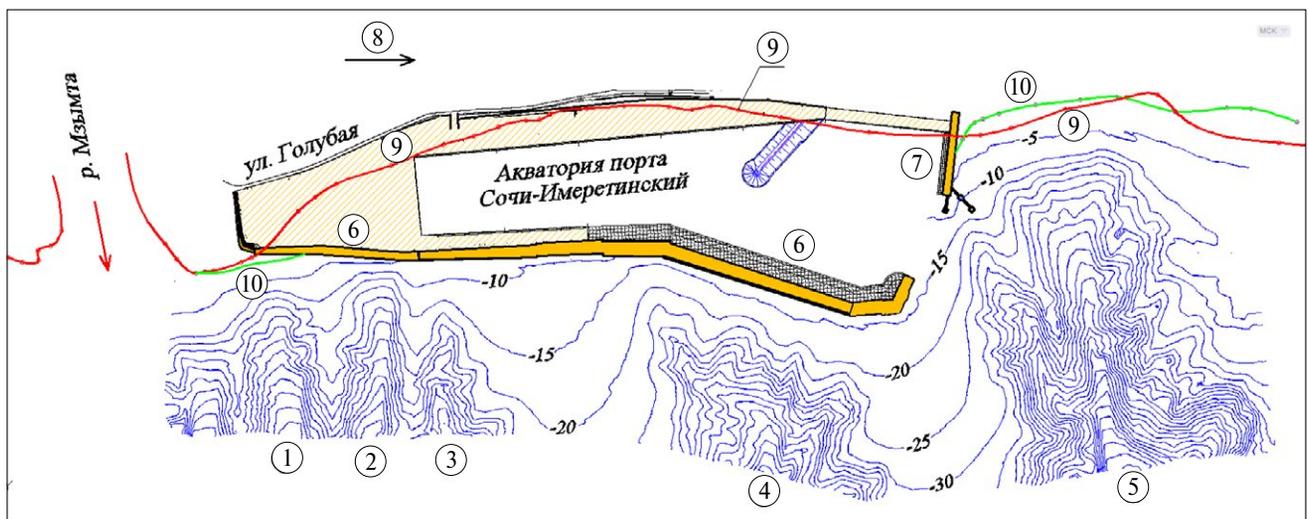
ской стороны перекрытия возведен волноотражательный козырек высотой 1.2 м. Перед морским рядом труб оградительного мола на дно уложены габионы, и выполнена наброска камней и бетонных блоков массой от 0.5 до 3.0 т.

К выдвинутому в море юго-западному оградительному молу порта подходят 3 эрозионные ложбины восточных отвершков приустьевой системы каньонов р. Мзымты [6] и западный отвершек каньона Новый – Кальмар [7]. Напротив входных ворот порта в 170 м от них расположено центральное русло каньона Новый, ориентированное почти параллельно восточному оградительному молу (см. рис. 1).

В естественных условиях береговые процессы и устойчивость галечного пляжа на участке берега, в пределах которого размещен порт Сочи-Имеретинский, были неодинаковыми. Это обусловлено как неоднородностью контура береговой линии, так и сложностью рельефа подводного склона из-за наличия многочисленных эрозионных ложбин, и определяло разное волновое воздействие на конкретные участки берега. Если северо-западный фланг территории порта размещен в пределах выдвинутого в море приустьевого аккумулятивного выступа с ранее относительно стабильным галечным пляжем, то его юго-восточный край приурочен к размываемому участку берега, имеющему слабовогнутый контур [5].

На расстоянии 700 м восточнее устья Мзымты в пределах аккумулятивного выступа галечный пляж до середины 1970-х годов размывался, что было обусловлено рядом факторов, в первую очередь изъятием материала с пляжей и русла реки,

а также возведением системы бун, перехватывавших вдольбереговой поток наносов на участке берега, расположенном севернее устья [2, 9]. В 1975 г. средняя ширина пляжа на приустьевом левобережье не превышала 35 м. Для восстановления размывтого пляжа в период 1976–1978 гг. здесь было возведено 9 бетонных бун. Следует отметить, что хотя антропогенное вмешательство в этот период и сказалось на величине вдольберегового потока, но не исключило его полностью. Начиная с 1977 г. и до конца 1980-х годов на этом участке берега шло интенсивное восстановление галечного пляжа. Его ширина ежегодно увеличивалась от 7 до 12 м, а в отдельные годы прирост достигал 24 м [1]. К 1990 г. ширина пляжа в пределах аккумулятивного выступа вблизи левого берега Мзымты достигла 75–80 м, уменьшаясь до 34–35 м к его восточному флангу. Максимальное выдвигание берега в море составляло 108 м [5] при средней ширине пляжа в целом для всего участка равной 55 м [1]. Наряду с урезом воды сместилось в море и положение изобат 5 и 10 м. Это указывает на аккумуляцию наносов не только на пляже, но и на подводном склоне. В 1990-х годах расширение галечных пляжей на приустьевом левобережье сменилось их размывом, и к началу 2000-х годов их ширина сократилась до уровня начала 1970-х годов (30–35 м). До 2004 г. наблюдался новый рост ширины пляжа, который на непродолжительное время вновь сменился их размывом с последующим увеличением пляжной полосы. Несмотря на неуклонное расширение пляжной полосы в приустьевой области, ежегодный размах ее миграций мог достигать 40 м. Все это указывает на высокую динамичность процессов, протекавших на приустьевом участке берега [1]. Общее увеличение



**Рис. 1.** Карта-схема береговой зоны района расположения порта Сочи-Имеретинский. 1-3 – отвершки приустьевой системы каньонов; 4-5 – каньоны: 4 – Кальмар, 5 – Новый; 6-7 – молы порта: 6 – юго-западный оградительный, 7 – восточный; 8 – направление вдольберегового потока наносов; положение уреза моря: 9 – в 2007 г., 10 – в 2014 г.

объема пляжа в пределах приустьевой левобережной части аккумулятивного выступа за период 1975-2007 гг. составило 372.2 тыс. м<sup>3</sup>, т.е. ежегодно пляж прирастал в среднем на 11.6 тыс. м<sup>3</sup>.

За аккумулятивным выступом до мыса Константиновский на протяжении 2.0 км шел берег со слабоогнутым контуром, к которому выходили вершина каньона Новый [7] и западный отвершек каньона Константиновский [8]. По данным многолетних наблюдений, этот участок берега был подвержен постоянному размыву. В период 1975-1990 гг. урез моря отступил здесь в среднем на 23 м. Причем смещения линии уреза на отдельных фрагментах берега изменялись от 10 до 30 м. С 1990 по 2007 г. урез моря отступил еще на 16 м. Наибольшие размывы пляжа были отмечены северо-западнее каньона Новый на участке берега (0.9 км), в пределах которого разместили восточный фланг порта. Максимальное отступление уреза моря было приурочено к расположенному напротив центрального русла каньона Новый участку берега. Здесь берег ежегодно отступал на 1.1-1.2 м, а в отдельные периоды – до 2.5 м в год [1]. С 1975 по 2007 г. смещение линии берега напротив вершины каньона Новый составило около 47 м [2], т.е. берег здесь отступал в среднем на 15 м в год. Несмотря на смещение линии уреза, ширина пляжа на этом участке берега оставалась около 30 м, поскольку синхронно с урезом смещался и абразионный уступ, вырабатываемый волнами в легко размываемых осадочных толщах. Такая ширина пляжа не обеспечивала гашение волн, особенно в районе центрального русла каньона Новый. Для защиты жилых домов от разрушения штормовыми волнами была возведена набросная берегозащитная дамба. Общий объем размыва пляжа на фрагменте берега протяжением 0.9 км в период 1975-2007 гг. составил 277.0 тыс. м<sup>3</sup>. Таким образом, объем пляжа уменьшался ежегодно в среднем на 8.7 тыс. м<sup>3</sup>.

Участок берега от каньона Новый и до мыса Константиновский протяженностью 1.1 км также подвергался размыву, хотя и не такому интенсивному. Уменьшение объема пляжа на этом фрагменте берега за тот же период составило 149.8 тыс. м<sup>3</sup>, при среднегодовом размыве 4.7 тыс. м<sup>3</sup>.

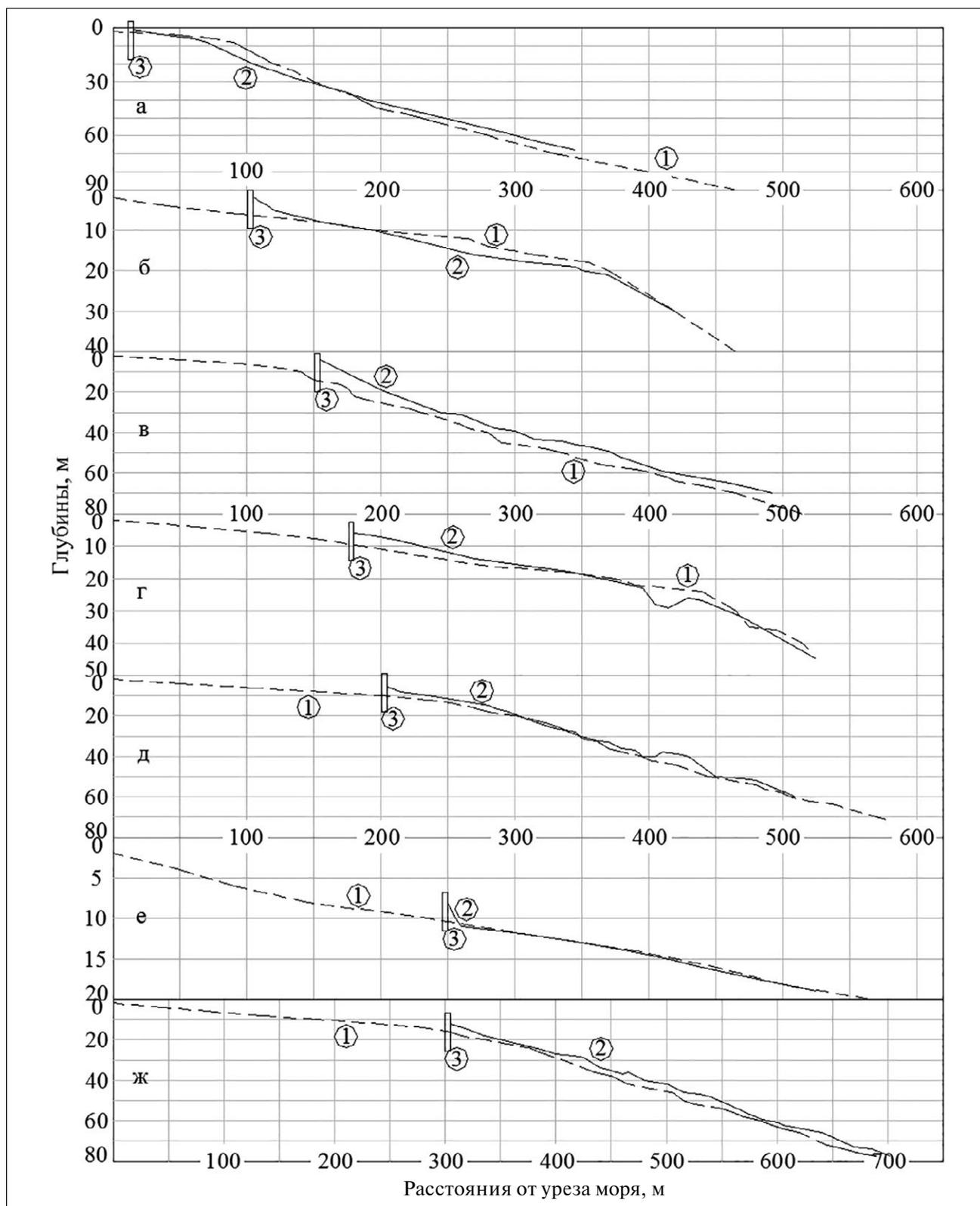
В основном дистальная оконечность Константиновского мыса на протяжении 450 м в период 1975-2007 гг. была стабильной, с незначительным от 5 до 10 м выдвиганием пляжа в сторону моря [5]. При этом размах годовых колебаний линии уреза мог достигать 8-10 м [1]. Общий объем приращения пляжа на дистальной оконечности мыса за это время составил 237 тыс. м<sup>3</sup>, при среднегодовом приросте 0.74 тыс. м<sup>3</sup>.

Для оценки влияния порта Сочи-Имеретинский на литодинамические процессы на галечном пляже и прилегающем к нему подводном склоне наряду с опубликованными данными использованы материалы изысканий, полученные в ходе многочисленных батиметрических съемок береговой полосы и дна Имеретинской низменности, выполненных Научно-исследовательским центром “Морские берега” (г. Сочи) в разные годы, в том числе до и после строительства порта. По результатам изысканий были построены планы в масштабе 1:1000. При производстве промерных работ галсы располагались через 20 м, а промерные точки на них – через 5 м. Помимо этого, в период 2010-2019 гг. проводились осмотр и фотографирование пляжа, расположенного восточнее порта и под юго-западным оградительным молом, с его нивелировкой и замерами параметров.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Возведение порта нарушило естественный ход береговых процессов. Оградительные молы порта полностью блокировали вдольбереговое перемещение галечных наносов, которое было направлено от устья Мзымты в сторону р. Псоу. Начало порта разместили в пределах приустьевой аккумулятивного выступа, имеющего выпуклый в сторону моря контур берега. Если начало порта расположили по урезу, то юго-западный оградительный мол в результате изгиба береговой линии выдвинулся в море и оказался вблизи трех восточных отвершков Мзымтинской приустьевой системы каньонов [6], из которых средний, ярко выраженный в рельефе дна наиболее приближен к молу и удален от начала порта на 250 м. Глубина у мола в вершине этого отвершка в 2007 г. составляла 14 м. Восточнее среднего отвершка на протяжении последующих 400 м глубина перед оградительным молом порта колебалась около 10 м. Далее на распределение глубин вдоль мола оказал влияние западный отвершек каньона Новый – Кальмар [7] (рис. 1, 2). По нему в месте положения морского ряда труб глубина моря достигала 16 м, а его вершина уходила под мол. До окончания юго-западного оградительного мола, восточный край которого выдвинут в море относительно положения уреза моря 2007 г. на 340 м, глубина перед ним на протяжении последних 495 м колебалась около 15 м.

С восточной стороны акватория порта от воздействия штормов в основном юго-восточных и южных направлений защищена восточным оградительным молом длиной около 160 м, головная часть которого выходит на глубину 10 м. Перед входными воротами порта начинается резкий свал глубин еще одного небольшого западного отвершка



**Рис. 2.** Поперечные профили подводного склона за 2007 и 2014 г., расположенные: а – по тальвегу 1-го отвёршка приустьевое каньона; б – по гребню, разделяющему 1-й и 2-й отвёршки приустьевое каньона; в – по тальвегу 2-го отвёршка; г – по гребню, разделяющему 2-й и 3-й отвёршки приустьевое каньона; д – по тальвегу 3-го отвёршка; е – по подводному склону, расположенному между 3-м отвёршкой и вершиной каньона Кальмар; ж – по тальвегу каньона Кальмар. 1 – профили за 2007 г.; 2 – профили за 2014 г.; 3 – положение труб морского ряда юго-западного оградительного мола порта.

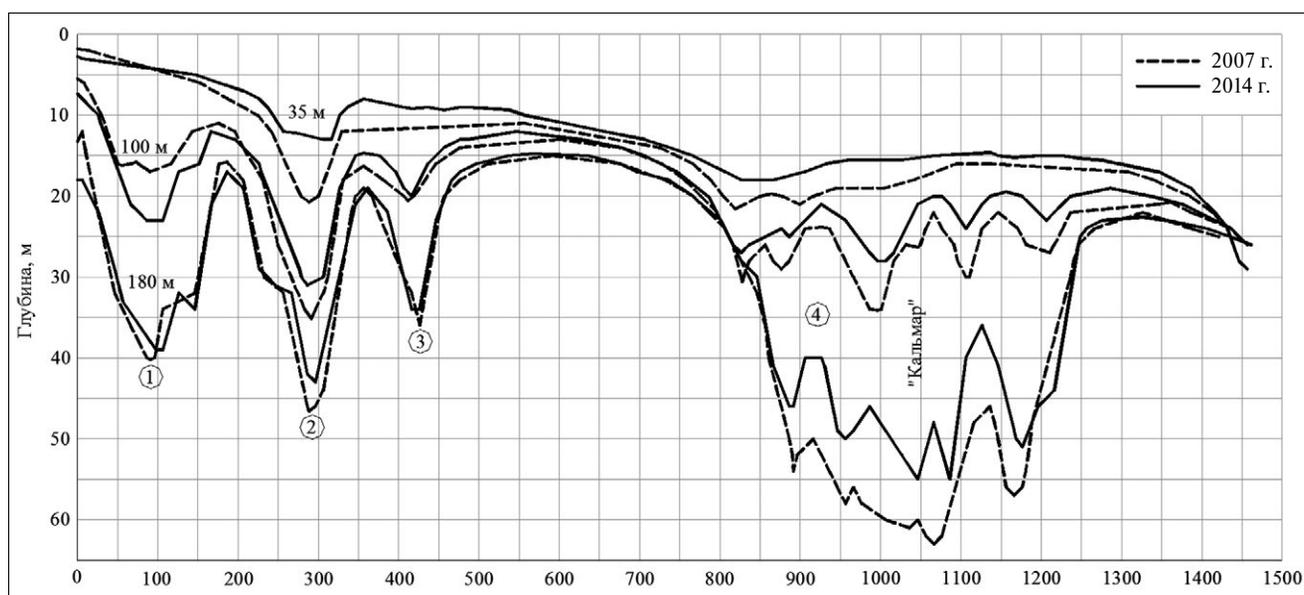
каньона Новый. Центральное русло каньона идет почти параллельно восточному оградительному молу порта и выходит к берегу в 170 м от него [9]. Выносимый Мзымтой крупнообломочный материал под воздействием волн стал обходить начало порта и перемещаться вдоль проницаемого юго-западного оградительного мола, аккумулируясь в пространстве под ним. В результате под молотом и на подводном склоне перед западным флангом порта начал формироваться галечный пляж.

Сравнение данных съемок, выполненных перед началом строительства порта и после его возведения, свидетельствует о том, что на участке берега от устья Мзымты и до начала порта, обладающего эффектом буны, отмечена аккумуляция галечного материала на пляже и подводном склоне. На протяжении первых 130 м от устья реки наблюдалось постепенное увеличение ширины галечного пляжа; к 2014 г. ширина пляжа у начала волногасящего прикрытия порта составила около 20 м [9]. Профиль надводной части сформированного здесь пляжа мало чем отличался от профиля пляжа до возведения оградительного мола. Выдвижение галечного пляжа в сторону моря наблюдалось до глубины 3,0 м. Его подводная часть сформировалась более крутой по сравнению с пляжем вне зоны влияния возведенного сооружения. Напротив этого участка берега на глубинах от 3 до 28 м имел место размыв дна (около 1 м). Далее в море до глубины 70 м была отмечена аккумуляция наносов мощностью до 4 м. Большое значение на изменение ширины пляжа и деформацию подводного

склона на этом участке берега оказало блуждание устья Мзымты во время прохождения паводков и штормов.

Напротив первой эрозионной ложбины (в 90 м от начала порта и в 40 м от начала волновой камеры юго-западного оградительного мола) в результате аккумуляции гравийно-галечного материала урез воды в 2014 г. по сравнению с 2007 г. выдвинулся в море на 53–54 м и находился в 5–6 м мористее труб мола. При этом высота сформировавшегося под ограждающим молотом галечного пляжа не превышала отметок естественного пляжа, расположенного вблизи устья Мзымты. По данным выполненной в 2014 г. батиметрической съемки, по тальвегу этой эрозионной ложбины наблюдалась аккумуляция галечного материала до изобаты 3 м, затем до глубины 38–39 м (по сравнению с 2007 г.) отмечался размыв дна. Максимальное понижение отметок дна 6 м было приурочено к диапазону глубин от 10 до 20 м. Материал от размыва смещался вниз по профилю, отлагаясь на более низких отметках (рис. 2, 3). Вполне возможно, это понижение отметок дна по тальвегу отвершка было связано с гравитационными процессами.

В верхней части подводного гребня, отделяющего первую эрозионную ложбину от второй, наиболее приближенной к оградительному молу, до глубины 8 м отмечается аккумуляция наносов. Можно предположить, что это аккумулятивное образование сложено гравием и галькой подобно пляжу, сформированному под молотом. Мористее



**Рис. 3.** Продольные профили подводного склона на разных расстояниях от юго-западного мола порта за 2007 и 2014 гг. 1–3 – отвершки приустьевой системы каньонов; 4 – каньон Кальмар. Цифры на рисунке – удаления продольных профилей от юго-западного оградительного мола, м. По горизонтали – расстояние от начала порта, м.

(между глубинами от 10 до 21 м) по гребню отмечается понижение отметок дна по сравнению с 2007 г., максимальное значение которых (3.5–4.0 м) приурочено к глубинам от 12 до 16 м. Материал с размытой части гребня, скорее всего, был смещен в прилегающие эрозионные ложбины, так как мористее 21 м его профиль не изменился.

По наиболее приближенной к молу второй эрозионной ложбине морской ряд труб был установлен на глубине около 14 м, в 180 м мористее положения уреза моря 2007 г. Вследствие максимальной приближенности вершины этой ложбины к молу, свал глубин в которой начинался с 10 метров, она, по видимому, в наибольшей степени будет перехватывать перемещаемый вдоль сооружения во время штормов западных направлений галечный материал. В 2014 г. по тальвегу 2-го отвершка глубина моря по морскому ряду труб составляла 4.5 м, т.е. по сравнению с 2007 г. уменьшилась почти в 3 раза. Наносы, попадающие в эту эрозионную ложбину, отложились по ее тальвегу, сформировав здесь аккумулятивную толщу, мощность которой в 2014 г. постепенно уменьшалась — от 10 м вблизи оградительного мола до 4.5 м на глубине 70 м (см. рис. 2). Аккумуляция наносов, как это видно из рис. 3, наблюдалась не только по дну тальвега, но и по его бортам. Полученные данные свидетельствуют о значительном перехвате этим отвершком крупнообломочного материала, перемещаемого в обход оградительного мола порта.

На участке подводного склона, расположенного между 2-м и 3-м отвершками приустьевой системы каньонов, отметки дна перед оградительным молотом в результате отложения наносов по сравнению с 2007 г. уменьшились в среднем на 4.0–4.5 м. Аккумуляция наносов, по данным съемки 2014 г., здесь наблюдалась до глубины 20 м. Мористее этой глубины на подводном склоне между этими отвершками прослеживаются знакопеременные деформации рельефа.

Аккумуляция наносов, но в значительно меньших объемах, чем по 2-му отвершку, отмечается и по тальвегу следующей — третьей — эрозионной ложбины, за исключением участка дна, расположенного вблизи оградительного мола, где отложения наносов существенны. По тальвегу этого отвершка мористее глубины 30 м на профиле видны формы рельефа, характерные для сползающих масс грунта (см. рис. 2).

Восточнее третьей эрозионной ложбины на протяжении 270–300 м напротив мола расположен подводный склон, в пределах которого аккумуляция наносов была отмечена только на его западном фланге, на протяжении первых 100–120 м. На восточном фланге профили поверхности дна за 2007 и 2014 гг. совпадают. Скорее всего, это указы-

вает не на отсутствие перемещающихся наносов, а на то, что они проходили этот участок транзитом. Это находит подтверждение и в изменении отметок дна по тальвегу следующей эрозионной ложбины — каньона Кальмар. Его верховье, расположенное в 0.9 км восточнее устья Мзымты, до строительства порта выходило на глубину 16 м и было удалено от берега почти на 300 м. В настоящее время оно располагается всего в 25 м от оградительного мола. Анализ имеющихся материалов свидетельствует о низкой активности литодинамических процессов, протекавших в естественных условиях в верховье каньона Кальмар до возведения юго-западного оградительного мола порта. На протяжении многих лет его профиль до глубины 30 м оставался стабильным. Продвижения к берегу вершины каньона не наблюдалось. В связи с ее удаленностью от берега крупнообломочный пляжеобразующий материал, по-видимому, во время штормов в этот отвершек попадал в незначительных объемах [7]. Взвешенные наносы, перемещаемые от устья Мзымты штормами западных направлений, прежде чем попасть в вершину каньона Кальмар, распределялись по широкой 300-метровой прибрежной полосе. Выдвижение порта в море привело к сужению зоны распределения взвешенных наносов, а значит, к увеличению их концентрации, что обусловило интенсивную их аккумуляцию в вершине этого каньона. Этому способствовали и отражение волн от мола, сказывающееся на возрастании придонных волновых скоростей, и увеличение концентрации взвешенных наносов на участке дна, прилегающего к верховью каньона, и их осаждение в углублениях дна.

По данным съемки 2014 г., за 2.5 года, прошедших после возведения оградительного мола, слой наносов, отложившихся в тальвеге каньона Кальмар до глубины 25 м, в среднем составил 1.5–2.0 м. На глубинах 25–60 м его толщина увеличилась до 4–5 м, а на расстоянии 400–450 м от мола снизилась до нуля на глубинах 80–85 м (см. рис. 2). Наносы отложились не только на дне тальвега, но отчасти и по его бортам, по-видимому, за счет оседания из взвеси, а не смещения сверху.

Под проницаемым юго-западным оградительным молотом в результате аккумуляции галечного материала в волновой камере урез моря к июлю 2014 г. вдоль его морского ряда труб сместился на 100 м от начала порта. Пространство под молотом между трубами было заполнено в основном гравийно-галечными наносами. По среднему ряду труб урез воды был удален на 172 м, а по внутреннему — на 204 м (рис. 4). По результатам наблюдения за пляжем под молотом, его параметры к сентябрю 2017 г. мало изменились от данных 2014 г. Это может указывать на то, что

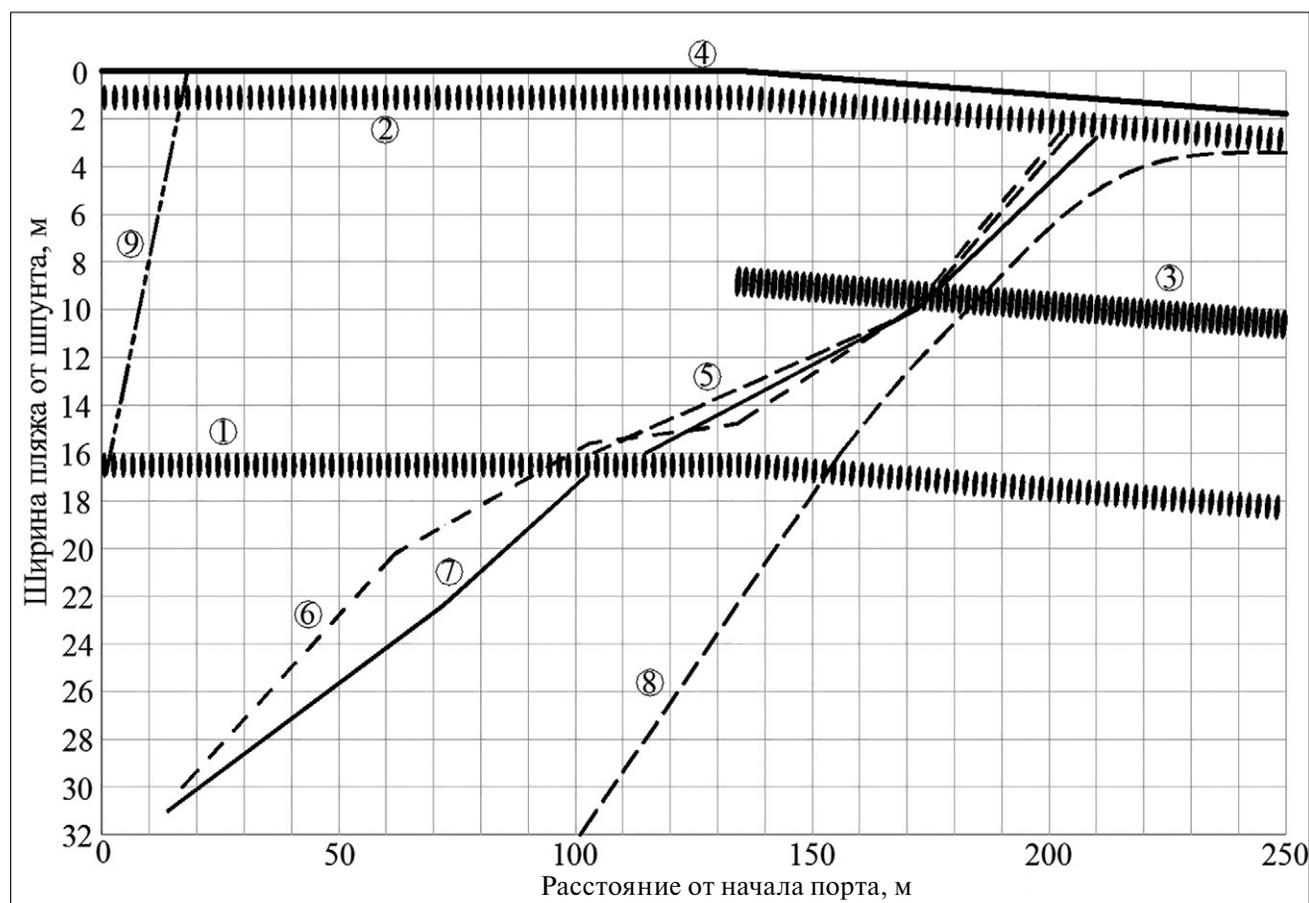
за этот период времени при вдольбереговом перемещении крупнообломочные наносы уходили в основном в 1-й и 2-й отвершки каньонов, не увеличивая объем формируемого под молом пляжа. Следует отметить, что если в 2014 г. в поверхностном слое пляжа под молом преобладала галька, то позже она в значительной степени была замещена песком.

К январю 2019 г. урез моря напротив устья Мзымты существенно выдвинулся в сторону моря. Подошва пляжа вплотную приблизилась к отвершкам приустьевой системы каньонов, и наносы, по-видимому, в больших объемах стали уходить по ним на глубину. У начала юго-западного оградительного мола порта урез выдвинулся в море почти на 50 м. По сравнению с 2017 г., когда ширина пляжа в этом месте составляла всего 14 м, прирост его ширины в 2019 г. составил 36 м. В 50 м от начала порта в январе 2019 г. ширина пляжа перед ним равнялась 34 м. Урез моря по морскому ряду труб проходил в 155 м от их начала (см. рис. 4). По отношению к предыдущим годам урез моря вдоль морского ряда труб сместился

на 55 м, а по среднему ряду продвинулся всего на 10 м (см. рис. 4). По внутреннему ряду труб урез моря в целом также сместился на 10 м, но в январе 2019 г. вдоль него наблюдалась аккумуляция галечного материала в виде полосы пляжа шириной 3-5 м, заканчивающейся в 250 м от начала порта.

По-видимому, к 2019 г. вершина 1-го отвершка, расположенная в 90 м от начала порта, заполнилась наносами, и они стали относительно свободно перемещаться вдоль мола, увеличивая ширину пляжа, который стал приближаться ко 2-му отвершку.

Положение уреза моря сформировавшегося пляжа повторяет контуры наиболее приближенного к молу 2-го отвершка приустьевой системы каньонов. Это свидетельствует о существенном перехвате им галечного материала, движущегося вдоль оградительного мола под воздействием волн в штормах западных направлений. Перемещаемый галечный материал в большинстве своем сваливается в этот отвершек по западной его стороне и частично огибает его вершину, проходя вблизи внутреннего ряда труб.



**Рис. 4.** Контуры пляжа, сформировавшегося в волновой камере юго-западного оградительного мола порта. 1-3 — ряд труб: 1 — морской, 2 — внутренний, 3 — средний; 4 — шпунт, ограждающий внутреннюю акваторию порта; 5-8 — положение уреза моря: 5 — 16.07.2014 г.; 6 — 30.07.2015 г.; 7 — 27.09.2017 г.; 8 — 18.01.2019 г.

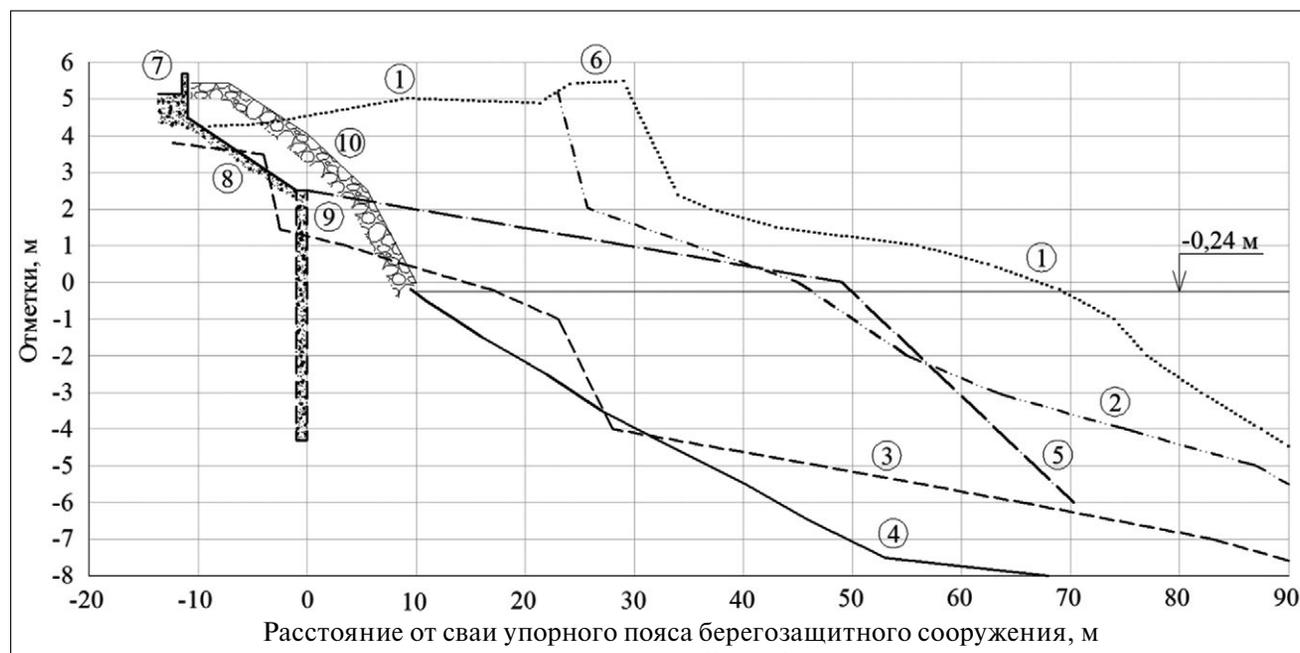
По оценочным данным, к концу 2018 г. перед западным флангом порта объем аккумулярованного пляжного материала, не считая наносов, ушедших по многочисленным отвершкам каньонов на глубину, составил около 50 тыс. м<sup>3</sup>. А в волновой камере юго-западного оградительного мола отложилось около 17 тыс. м<sup>3</sup>.

Оградительные молы, прервавшие вдольбереговой поток галечных наносов, обусловили развитие низового размыва на участке берега, расположенном восточнее порта. В 1990-х годах этот 300-метровый участок берега был защищен от воздействия волн набросной каменной дамбой, перед которой сохранялся галечный пляж шириной 30-35 м. К 2007 г. урез моря на этом участке берега по отношению к положению в 1990 г. сместился на 20 м. В 2010 г. после начала строительства порта вследствие перехвата вдольберегового потока наносов его оградительными молами здесь отмечался интенсивный размыв пляжа и аллювиальной террасы. Как видно из рис. 5, в 30 м восточнее порта смещение уреза моря в сторону берега в 2010 г. по сравнению с 1990 г. составило более 52 м, а ширина пляжа перед почти вертикальным уступом высотой около 2 м, выработанным волнением в размываемом берегу, уменьшилась до 18 м. При этом изменение ширины пляжа происходило более медленными темпами по сравнению со смещением уреза моря, так как одновременно смеща-

лась и верхняя бровка размыва, вырабатываемая волнением в легко размываемых аллювиальных отложениях, слагающих береговую зону.

На дистальной оконечности и восточном фланге Константиновского мыса на расстоянии 1.2-1.6 км от порта, где к 2010 г. еще не сказалось влияние низового размыва на пляж, его ширина перед упорным поясом берегозащитного сооружения, предназначенного для защиты от волн набережной [4], который начал возводиться в 2009 г., составляла 38-40 м.

К началу 2011 г. ширина пляжа на участке берега от порта и до мыса Константиновский еще более сократилась, и к августу этого же года на протяжении 320-350 м от порта пляж был размыв полностью. Урез моря вплотную подступил к упорному поясу [1]. Для восстановления размываемого пляжа начали производить отсыпки крупного пляжеобразующего материала, который доставлялся баржами и отсыпался на подводный склон на глубину 10-11 м. Однако с этих глубин галечный материал лишь в незначительных количествах переместился в сторону берега. Частично материал попал в каньоны, а большая его часть осталась лежать в местах его отсыпок и до настоящего времени возвышается над дном на 2-2.5 м. В 2012 г. отсыпки галечного материала были выполнены в надводную часть пляжа, что привело к незначительному



**Рис. 5.** Совмещенные профили в 30 м от восточного окончания порта. 1-4 – профиль пляжа и подводного склона: 1 – в 1990 г., 2 – 2007 г., 3 – 2010 г., 4 – 2017 г.; 5 – проектный профиль исходной отсыпки пляжеобразующего материала; 6 – набросная волногасящая берма; 7 – набережная с парапетом; 8 – бетонный откос берегозащитного сооружения, защищающего набережную от воздействия волн; 9 – свая упорного пояса берегозащитного сооружения; 10 – каменно-набросная берма.

его расширению. Выполненные мероприятия по восстановлению размытой пляжной полосы оказались малоэффективными и не обеспечили увеличения ширины пляжа, так как отсыпaeмый материал под воздействием волн уходил вдоль берега и в большей мере на глубину. В течение зимнего штормового сезона 2012–2013 гг. пляжная полоса на первом километре от порта подверглась размыву. Отсутствие волногасящего пляжа привело к переливам воды во время штормов через парапет набережной и подтоплению прилегающей территории. Начиная с 2013 г. для исключения переливов воды (вначале перед ростверком, а затем и на откосе берегозащитного сооружения) стали возводить волногасящую берму из крупного камня. В настоящее время фрагменты высокой бермы из камня возведены на участке берега от порта до Константиновского мыса [9]. К 2015 г. восточнее порта пляж перед ростверком на протяжении 500 м был смыт полностью, сохранившись отчасти на дистальной оконечности Константиновского мыса. К сентябрю 2017 г. низовой размыв пляжа распространился и на западный фланг мыса.

В настоящее время на протяжении 810 м от порта перед волногасящей каменной бермой пляжа нет, а граница его размыва прослеживается на расстоянии еще около 400 м [9].

Несмотря на выполненные мероприятия по усилению каменной бермой возведенного откосного берегозащитного сооружения с ростверком, в апреле 2017 г. в 720 м восточнее порта на участке берега, где галечный пляж отсутствовал, вследствие вымыва грунта из-под бетонного крепления произошло опускание блоков. Последующие небольшие волнения привели к расширению зоны деформации берегозащитного сооружения и парапета набережной. После январского 2018 г. умеренного шторма подверглась разрушению уже и набережная [3]. В условиях непростого рельефа дна, сложенного легко размываемыми отложениями, это свидетельствует о невозможности обеспечения надежной защиты набережной от дальнейшего разрушения без создания перед ней волногасящего галечного пляжа.

## ВЫВОДЫ

Оградительные молы порта прервали вдольбереговой поток крупнообломочного материала, формирующийся в основном за счет твердого стока р. Мзымты. Материал под воздействием волн штормов западных направлений начал попадать в волновую камеру пронизаемого юго-западного мола, перемещаясь по ней. При своем движении внутри мола он стал сваливаться в отвершки каньонов, близко подходящих к выдвинутому в море молу. Учитывая распространение вдоль оградитель-

ных молов многочисленных отвершков каньонов, в которые уходит крупнообломочный материал, и наличие мощного центрального русла каньона Новый, расположенного напротив входных ворот порта, ожидать его обхода вдольбереговым потоком наносов не приходится. Поэтому участок берега от порта до мыса Константиновский, который и до возведения порта был подвержен размыву, будет находиться в зоне постоянного низового размыва. Размыв галечных пляжей будет распространяться и восточнее мыса Константиновский.

Для предохранения набережной от разрушения и исключения подтопления прилегающей территории на участке берега от порта до мыса Константиновский необходимо восстановить галечный пляж шириной в надводной части не менее 30 м и проводить ежегодные его пополнения в объеме не менее 15 тыс. м<sup>3</sup>, производя отсыпки пляжеобразующего материала на участок берега, расположенный южнее вершины каньона Новый.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Имеретинская низменность. Природно-геологические условия, проблемы освоения / Под ред. И.П. Балабанова. М.: Недра, 2011. 281 с.
2. Петров В.А., Ярославцев Н.А. Береговые процессы в зоне подводных каньонов междуречья Мзымта-Псоу // Матер. XXIV Междунар. береговой конференции “Морские берега – эволюция, экология, экономика”. Краснодар: ООО “Издательский Дом - Юг”. 2012. С. 274–277.
3. Петров В.А., Ярославцев Н.А. Берег Имеретинской низменности. Настоящее и будущее // Матер. XXVII Междунар. береговой конференции “Арктические берега: путь к устойчивости”. Мурманск: МАГУ, 2018. С. 124–127.
4. Тлявлин Р.М., Ярославцев Н.А., Тлявлиева Г.В., Петров В.А. Имеретинская низменность. Проблемы берегозащиты // Гидротехника. 2012. № 4(29). С. 46–49.
5. Ярославцев Н.А., Петров В.А., Кириленко А.П. Динамика береговой зоны Имеретинской низменности // Int. journal for Computational Civil and Structural Engineering. 2011. 7(2). P. 126–131.
6. Ярославцев Н.А., Сафьянов Г.А., Петров В.А. Морфодинамика системы подводных каньонов морского края Имеретинской низменности (Черное море) // Сложные системы. 2016. № 2 (19). С. 22–44.
7. Ярославцев Н.А., Сафьянов Г.А., Петров В.А. Морфодинамика системы подводного каньона Новый (Черное море) // Сложные системы. 2017. № 2 (23). С. 33–51.
8. Ярославцев Н.А., Сафьянов Г.А., Петров В.А. Морфодинамика системы подводного каньона Кон-

стантиновский (Черное море) // Сложные системы. 2017. № 2 (27). С. 14-29.

9. 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. 37-52.

## REFERENCES

1. *Imeretinskaya nizmennost'. Prirodno-geologicheskie usloviya, problemy osvoeniya* [Imereti lowland. Natural and geological conditions, the problems of development]. I.P. Balabanov, Ed. Moscow, Nedra, 2011, 281 p. (in Russian)
2. Petrov, V.A., Yaroslavtsev, N.A. *Beregovye protsessy v zone podvodnykh kan'onov mezhdurech'ya Mzymta-Psou* [Coastal processes in the area of submarine canyons between the Mzymta and Psou Rivers]. Proc. XXIV Intern. Coastal conference "Sea coasts – evolution, ecology, economy", Tuapse, 1-6 October 2012. Krasnodar, Izdatel'skii dom Yug, 2012, pp. 274-277. (in Russian)
3. Petrov, V. A., Yaroslavtsev, N.A. *Bereg Imeretinskoi nizmennosti. Nastoyashchee i budushchee* [Imereti Lowland coast. The present and the future]. Proc. XXVII Intern. Coastal conference "Arctic shores: way to sustainability". Murmansk, 2018, pp. 124-127. (in Russian)
4. Tlyavlin, R.M., Yaroslavtsev, N.A. Tlyavlina, G.V., Petrov, V.A. *Imeretinskaya nizmennost'. Problemy beregozashchity* [Imereti lowland. Problems in coast protection]. *Gidrotekhnika*, 2012, no. 4 (29), pp. 46-49. (in Russian)
5. Yaroslavtsev, N.A., Petrov, V.A., Kirilenko, A.P. The dynamics of the coastal zone in the Imereti Lowland. *International journal for computational civil and structural engineerin*, 2011, no. 7(2), pp. 126-131.
6. Yaroslavtsev, N.A. Saf'yanov, G.A., Petrov, V.A. *Morfodinamika sistemy podvodnykh kan'onov morskogo kraya Imeretinskoi nizmennosti (Chernoje more)* [Morphodynamics of the system of submarine canyons at the marine edge of the Imereti Lowland (the Black sea)]. *Slozhnye sistemy*, 2016, no. 2 (19), p. 22-44. (in Russian)
7. Yaroslavtsev, N.A. Saf'yanov, G.A., Petrov, V.A. *Morfodinamika sistemy podvodnogo kan'ona Novyi (Chernoje more)* [Morphodynamics of Novyi submarine canyon system (the Black sea)]. *Slozhnye sistemy*, 2017, no. 2 (23), pp. 33-51. (in Russian)
8. Yaroslavtsev, N.A., Saf'yanov, G.A., Petrov V.A. *Morfodinamika sistemy podvodnogo kan'ona Konstantinovskii (Chernoje more)* [Morphodynamics of Konstatinovsky submarine canyon system (the Black sea)]. *Slozhnye sistemy*, 2017, no. 2 (27), pp. 14-29. (in Russian)
9. Yaroslavtsev, N.A., Saf'yanov, G.A., Petrov, V.A. *Dinamika plyazhei morskogo kraya Imeretinskoi nizmennosti v mezhdurech'e Mzymta-Psou (Chernoje more)* [Dynamics of coastal beaches in the Imereti lowland in the Mzymta-Psou interfluvium (the Black Sea)]. *Slozhnye sistemy*, 2018, no. 1 (26), pp. 37-52. (in Russian)

## THE IMPACT OF SOCHI – IMERETINSKY HARBOR ON THE COASTAL PROCESSES (THE BLACK SEA)

© 2019 V. A. Petrov<sup>1,\*</sup>, N. A. Yaroslavtsev<sup>1</sup>

<sup>1</sup>TsNIIS Joint Stock Co. Branch, "Sea shores" Research Center,  
ul. Yana Fabritsiusa, 1, Sochi, 354002 Russia  
\*E-mail: demmi8@mail.ru

The impact of the harbor built near the Mzymta river mouth on the pebble sediment transport along the coast and the coastal line transformation is assessed proceeding from the survey data comparison. Sediment accumulation in the wave chamber of the permeable southwestern barrier pier are considered and the possibility of its circumvention by pebble material is estimated. It is shown that the sediments transported along the pier penetrate into the numerous canyon openings and go deeper. As a result of the bottom erosion behind the port, the pebble beach in front of the shore-protective structure protecting the embankment from the waves has disappeared at the 1-km-long coast site, and its erosion continues. The absence of a wave-setting pebble beach poses a threat to the destruction of the coastal protection structure and the embankment.

**Keywords:** *accumulation, coast protecting structure, coastal stream sediments, pebble beach, canyon, harbor, barrier pier, ravine tributary, beach-forming material, erosion, beach, erosion hollow.*

**DOI:** <https://doi.org/10.31857/S0869-78092019538-47>