УДК 551.35
AGRIS P10
https://doi.org/10.33619/2414-2948/132/03

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ТРАНСПОРТНЫХ МАГИСТРАЛЕЙ В БЕРЕГОВОЙ ЗОНЕ МОРЯ (УЧАСТОК ЮГО-ВОСТОЧНЕЕ ТУАПСЕ. ЧЕРНОЕ МОРЕ)

***©Петров В. А.**, ORCID: 0009-0001-4195-1414, SPIN-код: 9421-9889, Scopus: 7402842652,*
канд. геогр. наук, Институт океанологии им. П. П. Ширшова,
г. Москва, Россия, demmi8@mail.ru

ENVIRONMENTAL SAFETY OF TRANSPORT ROADS IN THE COASTAL ZONE OF THE SEA (SECTION OF SOUTH-EAST OF TUAPSE, BLACK SEA)

***©Petrov V.**, ORCID: 0009-0001-4195-1414, SPIN-code: 9421-9889, Scopus: 7402842652, Ph.D.,*
P. P. Shirshov Institute of Oceanology, Moscow, Russia, demmi8@mail.ru

Аннотация. Транспортные магистрали, проходящие вблизи уреза моря, подвержены воздействию опасных природных процессов, протекающих в береговой зоне. При этом вероятно возникновение рисков, обусловленных недостаточным учетом на стадии разработки природоохранных мероприятий естественных природных процессов, их изменения во времени и отсутствием мер, направленных на компенсацию их негативного развития. Это может привести к нарушению экологической безопасности, проходящей вдоль моря железной дороги. Как показывает практика, природные экологические риски многократно усиливаются при техногенной нагрузке на берег вследствие нерациональной человеческой деятельности. Антропогенная и техногенная нагрузки на береговую зону наряду с деградацией волногасящих пляжей приводят к возникновению аварийных ситуаций, отражающихся на эксплуатации железнодорожного транспорта. Геологическое строение побережья участка берега восточнее Туапсе, сложенного слабо прочными коренными породами, опускание прибрежной полосы, подъем уровня моря и практически полное отсутствие волногасящих галечных пляжей полного профиля, защищающих берег от волнового воздействия, обуславливают развитие опасных береговых процессов: непрекращающийся размыв берега, сокращение ширины пляжей. Кроме этого, на состояние берега оказывают влияние краткосрочные изменения в природных процессах: цикличность волновых условий, флуктуации в выносе пляжеобразующего материала на берег, влияющие на величину вдольберегового потока наносов. Использование жестких (бетонных) берегозащитных конструкций для противодействия волновому воздействию и защиты берега от размыва без отсыпки галечного пляжа малоэффективно. Более перспективным и экономически оправданным является возведение проницаемых берегозащитных сооружений, таких как галечные пляжи полного профиля и различного рода волногасящие бермы. Для предохранения от подмыва оснований подпорно-волноотбойных стен, которые не только противодействуют волновому воздействию, но и предохраняют откос железнодорожного полотна от сползания в море, при возможном уменьшении ширины надводной части волногасящего галечного пляжа предлагается перед стенами возводить проницаемые волногасящие бермы, заглубленные в тело пляжа.

Abstract. Transport routes running near the seashore are susceptible to the impact of hazardous natural processes occurring in the coastal zone. In this case, there is a likelihood of risks arising due to insufficient consideration of natural processes at the stage of developing environmental protection measures, their temporal changes, and the absence of measures aimed at compensating for their

Тип лицензии CC: Attribution 4.0 International (CC BY 4.0)

Т. 12. №11 2026
https://doi.org/10.33619/2414-2948/132

negative development. This may lead to a violation of environmental safety along the seacoast and the railway running alongside it. As practice shows, natural environmental risks are significantly amplified by the anthropogenic load on the coast due to irrational human activity. Anthropogenic and technogenic impacts on the coastal zone, along with the degradation of wave-absorbing beaches, lead to emergency situations that affect the operation of railway transport. The geological structure of the coastline in the area east of Tuapse, which is composed of weakly durable bedrock, the subsidence of the coastal strip, the rise in sea level, and the almost complete absence of fully developed wave-absorbing pebble beaches that protect the coast from wave action, lead to the development of hazardous coastal processes: continuous erosion of the coast and a reduction in the width of the beaches. In addition, the condition of the coast is influenced by short-term changes in natural processes: the cyclical nature of wave conditions and fluctuations in the delivery of beach-forming material to the coast, which affect the magnitude of the longshore sediment transport. The use of rigid (concrete) coastal protection structures to counteract wave action and protect the shore from erosion without adding a pebble beach is ineffective. A more promising and economically viable option is to build permeable coastal protection structures, such as full-profile pebble beaches and various types of wave-absorbing berms. To prevent the erosion of the foundations of retaining and breakwater walls, which not only counteract the impact of waves but also protect the railway embankment slope from sliding into the sea, it is proposed to construct permeable breakwater berms, recessed into the beach body, in front of the walls, especially if the width of the above-water part of the wave-absorbing pebble beach may decrease.

Ключевые слова: береговая зона, береговой склон, берегозащитные сооружения, волногасящая берма, волновое воздействие, пляж, подпорно-волноотбойная стена, размыв, техногенный фактор, экологическая безопасность.

Keywords: coastal zone, coastal slope, coastal protection structures, wave-absorbing berm, wave impact, beach, retaining wall, erosion, anthropogenic factor, environmental safety.

Транспортные магистрали, в частности железные дороги, проходящие вдоль береговой линии морей, часто подвержены воздействию опасных природных процессов, основным из которых является волновое воздействие. На примере фрагмента берега протяженностью 20,6 км, расположенного между устьем р. Туапсе и северным флангом аккумулятивного выступа р. Аше, дадим оценку протекающим здесь природным процессам и их влиянию на экологическую безопасность железной дороги, проходящей вблизи моря. Береговая зона Черного моря юго-восточнее Туапсе испытывает интенсивное антропогенное и техногенное воздействие. Основной причиной, существенно оказавшей влияние на естественный ход береговых процессов, является наличие железной дороги, выходящей из предгорий к морю в районе Туапсе и идущей вдоль берега вблизи уреза воды с морской стороны абразионного берегового склона по полке, проложенной в его основании на отметках от 7 до 9 м. Немалое влияние на береговые процессы оказывают берегозащитные сооружения, возведенные для обеспечения бесперебойной работы дороги. Кроме того, побережье юго-восточнее Туапсе, обладая рекреационным потенциалом, в той или иной степени используется в курортных целях, что накладывает дополнительную нагрузку на береговую зону. Побережье Краснодарского края между Туапсе и Адлером, вдоль которого идет железная дорога, включает как абразионные, так и аккумулятивные участки, в пределах которых береговые процессы существенно отличаются. В данной работе рассматривается участок берега от Туапсе до устья

Тип лицензии CC: Attribution 4.0 International (CC BY 4.0)

Т. 12. №11 2026
https://doi.org/10.33619/2414-2948/132

р. Аше, в пределах которого в основном распространен абразионный тип берега и где береговой и прилегающий к нему подводный склоны сложены коренными породами.

Эксплуатация железной дороги на этом участке берега в течение многих десятилетий свидетельствует о неоднократном возникновении аварийных ситуаций, обусловленных недостаточной ее защищенностью от возникающих (проявлении) неблагоприятных природных условий и в первую очередь от воздействия штормовых волн. Это может привести к возникновению угрозы экологической безопасности, которая скажется на нарушении движения поездов.

Согласно ст. 1 Федерального закона РФ от 10 января 2002 г. «Об охране окружающей среды», экологическая безопасность — это «состояние защищенности природной среды и жизненно важных интересов человека от возможного негативного воздействия хозяйственной и иной деятельности, чрезвычайных ситуаций природного или техногенного характера и их последствий». Экологическая безопасность трактуется как состояние защищенности окружающей среды от различных угроз, возникающих вследствие негативных изменений ее компонентов в результате антропогенной деятельности [6].

Применительно к рассматриваемому участку берега угроза экологической безопасности представляет собой вероятность (возможную вероятность) возникновения при сочетании неблагоприятных природных условий аварийных ситуаций на железной дороге (разрушения полотна железной дороги), которые могут повлечь нарушение движения поездов. В первую очередь это относится к сильному волновому воздействию на береговой откос с проходящей вблизи моря железной дорогой, в основании которого отсутствует или лежит пляж с недостаточной шириной для гашения энергии штормовых волн, или же возведенные берегозащитные сооружения не в полной мере выполняют свои функции.

При разработке природоохранных мероприятий по защите железнодорожного полотна на конкретных участках берега, помимо анализа современных береговых процессов, необходимо определить степень устойчивости существующей береговой экосистемы с оценкой возможного возникновения в ней рисков, вызванных изменениями во времени природных условий и влиянием на них техногенного фактора, с назначением мер по снижению их последствий.

Цель исследования: на основании многолетних наблюдений за состоянием берега, расположенного юго-восточнее Туапсе, и берегозащитными сооружениями, защищающими его, оценить степень экологической безопасности для проходящей вблизи уреза моря железной дороги и предложить мероприятия по уменьшению риска возникновения аварийных ситуаций при развитии неблагоприятных природных явлений. Основными задачами данной работы являются: анализ современного состояния береговой зоны на участке берега между Туапсе и устьем р. Аше; выделение опасных природных процессов, влияющих на состояние береговой зоны, которые могут привести к возникновению угрозы экологической безопасности; анализ факторов, способствующих активизации воздействия на берег опасных природных процессов; оценка эффективности выполненных берегозащитных мероприятий; разработка мероприятий по уменьшению риска возникновения аварийных ситуаций.

Материал и методы исследования

При анализе береговых процессов, протекающих на участке берега между Туапсе и Сочи, использовались архивные материалы Черноморского отделения морских берегозащитных сооружений и Научно-исследовательского центра “Морские берега” г. Сочи, а также опубликованные данные о состоянии галечного пляжа и берегозащитных сооружений.

Тип лицензии CC: Attribution 4.0 International (CC BY 4.0)

Т. 12. №11 2026
https://doi.org/10.33619/2414-2948/132

Работа основывалась на данных за разные годы по обследованию и фотографированию пляжа и берегозащитных сооружений на участке берега от Туапсе до устья р. Аше.

Характеристика района исследований

Рассматриваемый фрагмент берега, расположенный между Туапсе и устьем р. Аше, является составной частью береговой полосы, протянувшейся до р. Псоу, расположенной на границе с Абхазией. Почти на всем протяжении берег от Туапсе до р. Псоу представляет собой чередование мысовидных участков с расположенными между ними бухтами разной протяженности и глубины вреза, окаймленные абразионными уступами (Рисунок 1).

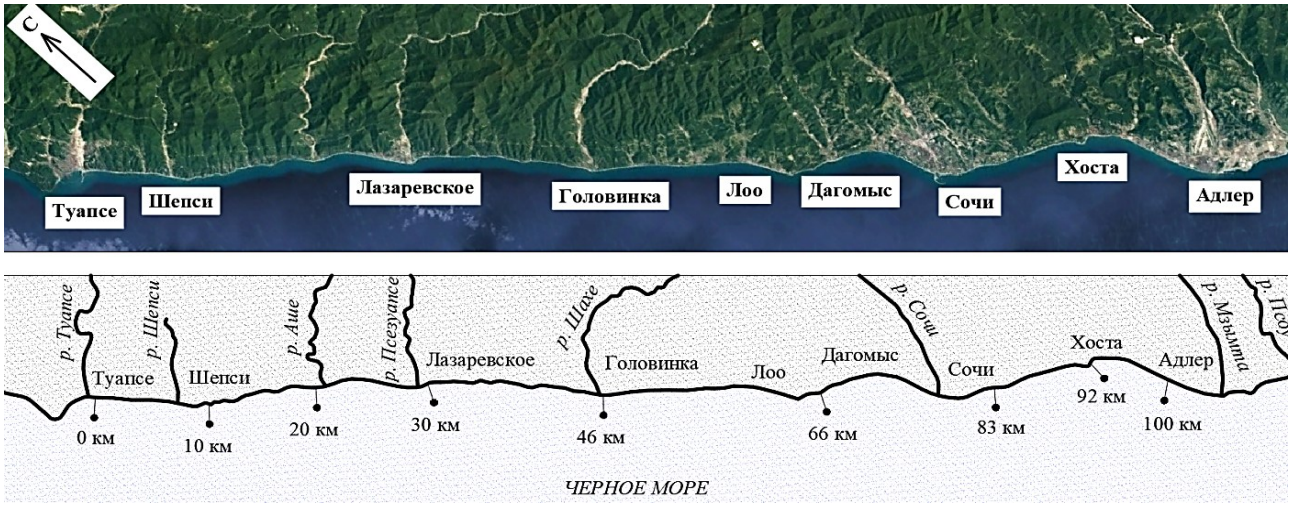


Рисунок 1. Обзорная схема побережья от Туапсе до р. Псоу. Цифрами указаны расстояния от Туапсе

В естественном состоянии (до постройки железной дороги) береговой склон на участке берега между Туапсе и устьем р. Аше представлял собой абразионный клиф (уступ), круто обрывающийся к морю, сложенный флишевыми и субфлишевыми отложениями верхнего мела [16].

Такие же образования были распространены и на подводном склоне, прилегающем к клифу с морской стороны. Отчасти коренные породы на подводном склоне были перекрыты аккумулятивными отложениями, приуроченными в основном к устьевой области р. Аше, а также некоторым более мелким водотокам. Для отложений, слагающих берег и дно, характерно ритмическое переслаивание пластов разных пород, мощностью, в основном, от 20 до 60 см. В петрографическом отношении в составе слагающих береговую зону пород преобладают мергели и известняки. Реже встречаются песчаники, алевролиты и аргиллиты. Обычно вогнутости береговой линии и бухты приурочены к местам выхода более податливых к разрушению волнами меловых свит [13].

На скальном подводном склоне в зависимости от интенсивности разрушения пластов пород разной прочности формируется ступенчатый или чаще всего грядовый бенч, в котором падение и простирание пластов могут приобретать разнообразное очертание. Высота гряд в известняково-песчаниковом флише может достигать 2-3 м, а в мергелевом не превышает 1 м.

В естественных условиях (до строительства железной дороги) под воздействием волн и перемещаемых наносов происходило формирование рельефа береговой зоны, сопровождающееся понижением отметок дна в мелководной зоне, сложенной коренными породами, и постепенным смещением уреза моря в сторону суши. Это усиливало развитие

Тип лицензии CC: Attribution 4.0 International (CC BY 4.0)

Т. 12. №11 2026
https://doi.org/10.33619/2414-2948/132

склоновых процессов, в результате которых в береговую зону поступал пляжеобразующий материал. После возведения железной дороги процесс формирования профиля подводного склона (понижение его отметок) и смещение уреза моря в сторону берега продолжились. На берегу коренные породы сверху перекрыты чехлом рыхлых четвертичных отложений [16].

В естественных условиях в береговой зоне рассматриваемого участка в основании берегового уступа лежали отложения различного генезиса: оползневые, делювиальные и обвально-осыпные, которые часто формировались под воздействием абразионных процессов. Под воздействием волн эти отложения пополняли галечные пляжи, подошва которых выдвигалась в море до глубины 2,5-3,0 м.

По архивным данным Черноморского отделения морских берегозащитных сооружений г. Сочи (ныне Научно-исследовательский центр «Морские берега») в 1914 г. ширина пляжа, лежащего перед береговым откосом, на рассматриваемом фрагменте берега протяженностью 20,6 км изменялась от 46 до 11 м, при этом его средняя ширина составляла 27,01 м. В распределении ширины пляжа вдоль берега наблюдалась цикличность. На первых 2,5 км от устья р. Туапсе ширина пляжа доходила до 38 м, после чего в 3,2 км она резко уменьшалась до 11 м, далее вновь быстро возрастая почти до 30 м. Уменьшение ширины пляжей до 11 м также отмечалось и на участке берега, расположенном в 8,6 км от устья р. Туапсе. В 16 км от него ширина пляжа перед береговым склоном составляла 14 м. Между участками берега с узкими галечными пляжами ширина пляжа увеличивалась до 30-40 м. Пополнение пляжей крупнообломочным материалом происходило в результате его выноса различного рода водотоками и проявления склоновых процессов. После прокладки железной дороги пополнение пляжей материалом со склонов практически прекратилось.

К середине пятидесятых годов прошлого века ширина пляжей на рассматриваемом фрагменте берега резко сократилась, а во многих местах он полностью исчез. Это было обусловлено изъятием на строительство различного рода объектов наносов из пляжей и аллювиального материала из русел рек. В 1955 г. ширина пляжа на первых двух километрах от устья р. Туапсе не превышала 15-16 м, за исключением самого устья, где его ширина доходила до 30 м. Далее вдоль берегового уступа лежал пляж, ширина которого составляла 5-8 м, за исключением приустьевых участков водотоков, где его ширина увеличивалась до 15-20 м. Средняя ширина пляжа в 1955 г. по сравнению с 1914 г. сократилась с 27,0 м до 8,5 м. Меры, такие как запрет вывоза пляжеобразующего материала с пляжей и русел рек, отсыпка наносов на пляж, привели к его стабилизации и даже к некоторому увеличению ширины. Следует отметить, что последствия антропогенного вмешательства в береговые и русловые процессы имеют устойчивую тенденцию и их восстановление возможно только при полном исключении влияния техногенного фактора и может продолжаться длительное время [3].

К сожалению, в более поздние годы систематических измерений ширины пляжа вдоль всего рассматриваемого фрагмента берега практически не производилось, за исключением отдельных его участков. В 2018 г. средняя ширина пляжа на участке берега протяжением 20,6 км, расположенном юго-восточнее устья р. Туапсе, равнялась 12,2 м. При этом протяженность участков берега без пляжа превышала 5 км [17].

На Рисунке 2 представлено изменение вдоль берега ширины пляжа в 1914, 1955 и 2018 годах. Берегозащитные мероприятия в виде возведения волноотбойных стен на отдельных непротяженных проблемных участках, где полотно железной дороги было проложено близко к границе абразионного берегового уступа, начали проводиться сразу после начала ее строительства [12].

Это были волноотбойные стены с неглубоким заложением основания, что приводило к их подмыву волнами и опрокидыванию последних [11].

Тип лицензии CC: Attribution 4.0 International (CC BY 4.0)

Т. 12. №11 2026
https://doi.org/10.33619/2414-2948/132

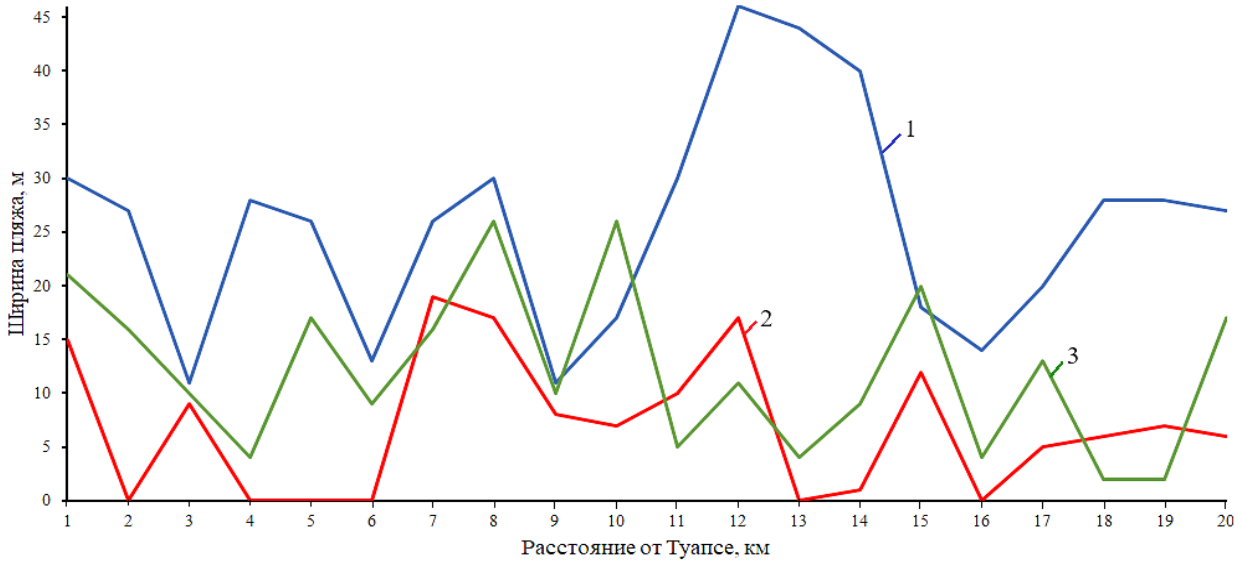


Рисунок 2. Изменение вдоль берега ширины пляжа в 1914 (1), 1955 (2) и 2018 (3) гг

Разрушению стен способствовала и недостаточная их масса, неспособная противостоять давлению грунта, слагающего береговой уступ и откос железнодорожного полотна. Это предопределило строительство подпорно-волноотбойных стен с заглублением их основания под уровень моря в коренные породы. Возведенные подпорно-волноотбойные стены должны были обеспечить их устойчивость от проявления склоновых процессов и защитить откос от воздействия волн и [12].

Со временем совершенствовались как их конструкция (монолитное или сборное исполнение), так и технология возведения стен (Рисунок 3).



а) б)

Рисунок 3. Подпорно-волноотбойная стена: а - в монолитном исполнении; б – сборная

Прогрессирующее сокращение ширины пляжной полосы и возможность возникновения аварийных ситуаций на железной дороге вызвало необходимость восстановления утраченных галечных пляжей, как основного волногасящего элемента, в результате отсыпок привозного пляжеобразующего материала. Восстановление пляжей на локальных участках берега предопределило возведение таких сооружений как буны, выполненные в монолитном или проницаемом исполнении и волноломы различных конструкций, относящиеся к пляжеудерживающим сооружениям (Рисунок 4) [9].

Тип лицензии CC: Attribution 4.0 International (CC BY 4.0)

Т. 12. №11 2026
https://doi.org/10.33619/2414-2948/132

В данном исследовании не дается оценка эффективности работы этих сооружений в зависимости от их параметров и конструктивных особенностей, а рассматриваются, как сооружения, возведенные для удержания пляжа.



а)



б)



в)

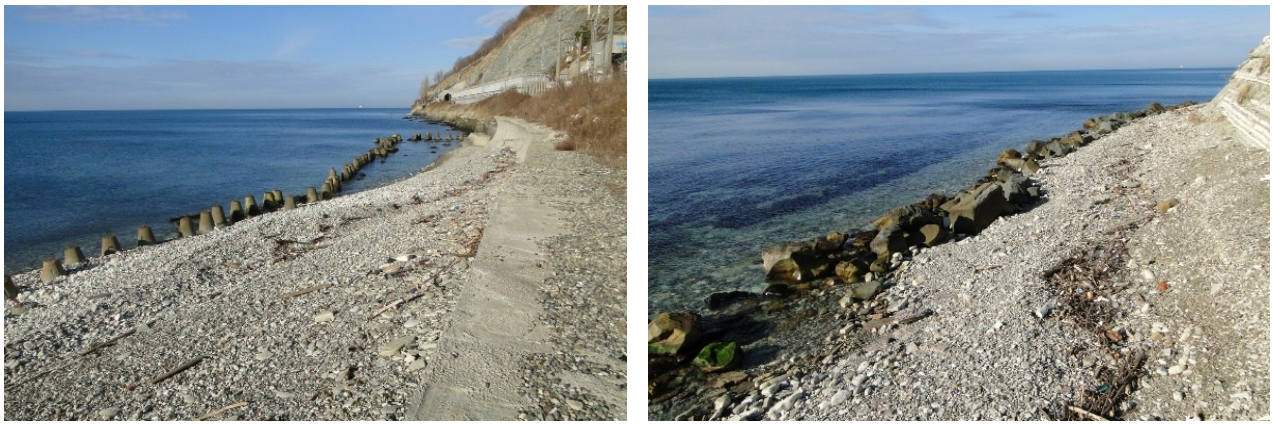
Рисунок 4. Пляжеудерживающие сооружения: буны: а – бетонные, б – каменнонабросные; в – волнолом

Следует отметить, что помимо галечного пляжа – основного волногасящего элемента на рассматриваемом участке от воздействия волн широко используются различного рода прикрытия, в качестве которых часто применяются наброски из камня, бетонных или фигурных элементов, размещенные вдоль берега вблизи уреза воды (Рисунок 5).

К настоящему времени вдоль рассматриваемого фрагмента берега от Туапсе до устья р. Аше протяженностью 20,6 км волноотбойные стены возведены на протяжении 17950 м, из которых на долю набережной городского округа Туапсе приходится 725 м, построено 117 бетонных бун разных конструктивных решений и длины, 44 каменно-набросных буны, 5 волноломов, в том числе и Г-образных. После возведения железной дороги и возведения различных берегозащитных сооружений антропогенный фактор на рассматриваемом участке берега приобрел главенствующую роль и является основным рельефообразующим фактором, влияющим на протекание в береговой зоне естественных гидро-литодинамических процессов [10]. В настоящее время из-за укрепления основания берегового уступа подпорно-волноотбойными стенами, предохраняющими железную дорогу от развития негативных процессов, пополнение пляжей в результате склоновых процессов практически не происходит.

Тип лицензии CC: Attribution 4.0 International (CC BY 4.0)

Т. 12. №11 2026
https://doi.org/10.33619/2414-2948/132



а) б)



в)

Рисунок 5. Волногасящие наброски: а – из камня; б – фигурных элементов; в – бетонных блоков

Несмотря на наличие такого количества сооружений на многих участках берега перед волноотбойной стеной лежит узкий галечный пляж или же он полностью отсутствует (Рисунок 6, 7). Основной причиной отсутствия на рассматриваемом участке берега волногасящего галечного пляжа является сокращение объемов материала, поступающего из водотоков, и отсутствие систематических пополнений пляжей привозным материалом. На морских побережьях ведущая роль в берегоформировании и преобразовании рельефа береговой зоны, в том числе берегового откоса и пляжей, сложенных крупнообломочным материалом, принадлежит морскому волнению [7].

К основным параметрам, его характеризующим, в первую очередь, относятся высота, период, длина, а также угол подхода волн к берегу. Немаловажное влияние на интенсивность воздействия волнового фактора на берег оказывает уровень водной поверхности. Наибольшее воздействие волны оказывают при повышенном уровне моря (расчетном), обусловленном сочетанием уровня моря 1% обеспеченности (возможном один раз в 100 лет), волнового и ветрового нагонов. Влияние сейшевых колебаний на изменение уровня моря в пределах Краснодарского края незначительно. Течения, возникающие в прибойной зоне при штормах, не оказывают существенного влияния на перемещение крупнообломочных наносов. На относительно приглубом берегу, расположенном восточнее Туапсе, высота волн в последнем их обрушении может достигать 2,0-2,5 м. Подошва пляжа (подводная граница) в зависимости от крутизны подводного склона в среднем размещена на глубинах от 2.5 до 3.0 м. Крупнообломочные наносы, слагающие подводную часть пляжа, во время штормов не уходят мористее зоны последнего обрушения волн, перемещаясь в зоне их наката на берег [5].

Тип лицензии CC: Attribution 4.0 International (CC BY 4.0)

Т. 12. №11 2026
https://doi.org/10.33619/2414-2948/132

Формирование рельефа подводного склона и берегового откоса во многом определяется геологическими процессами и современной тектоникой. К экзогенным геологическим процессам, активно протекавшим в береговой зоне как ранее, так и в настоящее время, и влияющим на ее состояние, можно отнести абразию берегового клифа и бенча, а также оползневые, обвально-осыпные, селевые, суффозионные процессы и вдольбереговой транспорт наносов. Состояние береговой зоны с распространением коренных пород во многом определяется прочностью и залеганием отдельных их пластов.



а) г) б) д) в) е)

Рисунок 6. Участки берега с галечным пляжем перед волноотбойной стеной, удаленные от устья р. Туапсе на: а – набережная Туапсе; б – 1,5 км; в – 4,2 км; г - 5,8 км; д – 12,1 км; е – 19,7 км

Тип лицензии CC: Attribution 4.0 International (CC BY 4.0)

Т. 12. №11 2026
https://doi.org/10.33619/2414-2948/132



Рисунок 7. Участки берега без пляжа, удаленные от устья р. Туапсе на: а – 3,7 км; б – 4,1 км; в – 11,9 км; г - 13,3 км; д – 15,8 км; е – 19,0 км

Разная прочность пород в пластах приводит к формированию на подводном склоне под воздействием гидродинамического фактора грядового бенча разной высоты, который искажает как поперечную, так и вдольбереговую составляющую волнового поля. На состояние береговой зоны рассматриваемого участка берега существенным образом оказывают влияние современные тектонические движения земной коры, характеризующиеся опусканием берега около 1 мм/год, что сопровождается незатухающим развитием абразионных процессов. На береговые процессы может оказывать влияние и сейсмичность района Туапсе-Адлер, относящегося к 9-балльной зоне [2, 14].

Тип лицензии CC: Attribution 4.0 International (CC BY 4.0)

Т. 12. №11 2026
https://doi.org/10.33619/2414-2948/132

Интенсивность размыва берега зависит от сезонных и многолетних изменений уровня моря. Сезонные колебания уровня моря являются следствием изменений речного стока и осадков. Максимальные уровни моря обычно отмечаются в июне, а наиболее низкие – в октябре-ноябре. На сезонные изменения уровня накладываются ветро-волновые нагоны. Кроме того, наблюдается тенденция общего подъема уровня моря. Выделяются два периода многолетних отклонений годовых значений уровня Черного моря от его среднего значения. В период 1875-1940 гг. уровень моря понижался, а с 1941 г. и по настоящее время отмечается устойчивое его повышение [15].

По результатам анализа уровней моря по данным морской метеостанции «Туапсе» за последние восемьдесят лет повышение уровня моря составило 13 см, при средней скорости его подъема, равной 1,67 мм/год. Тектоническое движение берега в сочетании с подъемом уровня моря предопределяют постоянное повышение глубин и продвижение уреза моря в сторону берега. При невозможности смещения уреза в сторону берега из-за наличия в основании берегового уступа бетонных волноотбойных стен наблюдается незатухающий размыв и понижение отметок подводного склона, что усиливает воздействие волн на стены, часто приводящих к подмыву их оснований и размыву откоса (Рисунок 8).



а) б)

Рисунок 8. Деформация основания подпорно-волноотбойной стены (а) и размыв откоса железнодорожного полотна (б)

Наряду с волнением, ведущим фактором, определяющим береговые процессы, является вдольбереговой поток наносов. Под результирующим воздействием всего спектра волн (при преобладании волнений северо-западных и западных румбов над южными и юго-восточными) поступающие на берег крупнообломочные наносы на участке берега восточнее Туапсе перемещаются в юго-восточном направлении, формируя вдольбереговой поток галечных наносов. Зарождающийся у р. Туапсе и пополняемый выносами крупных рек и многочисленных водотоков ранее до постройки оградительных молов Сочинского порта вдольбереговой поток галечных наносов доходил до мыса Пицунда [5, 13].

Незначительная часть обломочного материала, не имеющая решающего значения, поступала от размыва берегового откоса и дна. На любом фрагменте берега состояние и устойчивость берегового откоса и лежащего перед ним пляжа зависит от объема поступления и ухода пляжеобразующего материала, прочностных характеристик наносов и потерями на их истирание. При примерно одинаковых объемах поступления и ухода пляжеобразующего материала на фрагмент берега, расположенный восточнее Туапсе, основные потери объема

Тип лицензии CC: Attribution 4.0 International (CC BY 4.0)

Т. 12. №11 2026
https://doi.org/10.33619/2414-2948/132

крупнообломочных наносов, слагающих пляжи, определяются их истиранием при перемещении под воздействием волн.

Результаты и обсуждение

Недостаточный учет природных условий и протекающих в береговой зоне процессов и их изменения во времени в процессе эксплуатации железной дороги на участке берега между Туапсе и устьем р. Аше могут привести к развитию негативных явлений и возникновению экологических рисков, сказывающихся на бесперебойной работе железнодорожного транспорта [1].

Как показывает практика, природные экологические риски многократно усиливаются вследствие нерациональной человеческой деятельности. Под экологическим риском понимается вероятность возникновения опасных для береговой зоны последствий, обусловленных природными процессами и техногенными явлениями, создающими угрозу потери отдельных ее элементов (например, надводной части пляжа) или приводящие к разрушению объектов. Наибольшую опасность для нормальной эксплуатации проходящей вблизи уреза моря железнодорожного полотна представляет штормовое волнение, протекающее на фоне подъема уровня моря. Для гашения энергии волн природа создала уникальное волногасящее сооружение – пляж, в нашем случае галечный. Его параметры ширина и отметка верхней части должны быть достаточны для полного гашения накатывающихся на него волн. В противном случае часть энергии наката будет расходоваться на размыв берегового откоса или взаимодействие с берегозащитными сооружениями: волноотбойными стенами и различного рода волногасящими конструкциями, в которых со временем развиваются деформации их элементов. Как показала практика, искусственные берегозащитные сооружения особенно бетонные громоздки и недолговечны, при этом их возведение требует больших затрат. Наиболее перспективным на рассматриваемом участке берега является восстановление сохранившихся или создание новых волногасящих галечных пляжей в результате отсыпок привозного пляжеобразующего материала. Создаваемые пляжи должны быть пляжами полного профиля, способных полностью гасить энергию накатывающихся на него штормовых волн. Расчет и технология создания таких волногасящих галечных пляжей разработаны и отражены в соответствующих исследованиях и нормативных документах [8, 14].

При этом следует иметь ввиду, что волногасящие пляжи будут создаваться в пределах рекреационной зоны, каковой является все побережье от Туапсе до р. Псоу. В связи с чем, при возведении галечных пляжей необходимо соблюдать требования по крупности и прочности отсыпаемого материала, отвечающих санитарным нормам. Как указывалось выше почти вдоль всего между Туапсе и р. Аше возведена подпорно-волноотбойная стена. И только в районе небольших мысовидных участков берега, где полотно железной дороги несколько удалено от уреза моря, в подножье берегового уступа стены не возведены. Комплекс берегозащитных мероприятий, обеспечивающий экологическую безопасность проходящей вблизи моря железной дороги от проявления опасных природных процессов, должен включать возведение подпорно-волноотбойной стены, обеспечивающей устойчивость откоса железнодорожного полотна и волногасящий галечный пляж полного профиля, гасящий энергию штормовых волн.

В процессе эксплуатации возведенного волногасящего пляжа ширина надводной части галечного пляжа может уменьшаться, что приведет к воздействию волн на подпорно-волноотбойную стену или незащищенный береговой откос. Для исключения возможного подмыва во время штормов возведенной перед откосом подпорно-волноотбойной стены

Тип лицензии CC: Attribution 4.0 International (CC BY 4.0)

Т. 12. №11 2026
https://doi.org/10.33619/2414-2948/132

предлагается усилить ее основание волногасящей проницаемой бермой (например, каменнонабросной). Берма располагается над коренными породами (Рисунок 9).

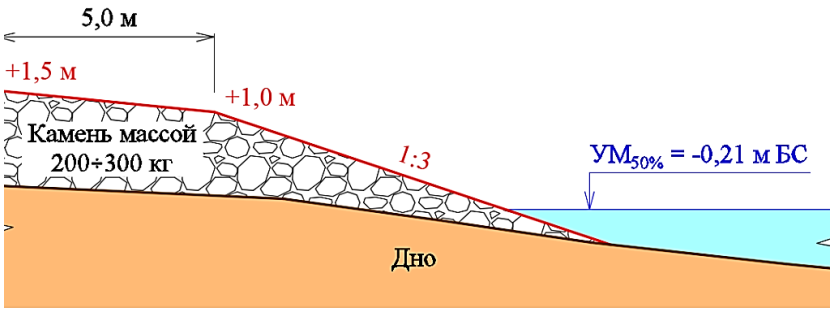


Рисунок 9. Профиль каменнонабросной волногасящей бермы, возводимой перед подпорно-волноотбойной стеной

Верх волногасящей бермы выполняется в виде горизонтальной или слабо наклонной в сторону моря площадки шириной до 5,0 м с отметками у волноотбойной стены не превышающими + 1,50 м, что исключит ее влияние при использовании пляжа в рекреационных целях. Морской край бермы выполняется откосом 1:2 или 1:3. Для возведения бермы рекомендуется использовать камень массой 200-300 кг.

Следует отметить, что природные процессы, протекающие в контактной (береговой) зоне сочленения моря и суши не достаточно изучены. Деятельность человека в ней может привести к необратимому нарушению равновесного состояния, сформировавшегося между отдельными составляющими береговых процессов. Создание на участке берега от Туапсе до устья р. Аше волногасящих галечных пляжей полного профиля (способных полностью гасить энергию штормовых волн) приведет к восстановлению нарушенных связей между воздействующим гидродинамическим фактором и шириной надводной части волногасящего пляжа, зависящей от крупности, прочности и состава слагающих ее наносов, потерями на истирание при их перемещении под воздействием волн, объемами поступления пляжеобразующего материала на рассматриваемый участок берега во вдольбереговом потоке наносов и уходами с него.

Выводы

В пределах побережья, расположенного восточнее Туапсе, наблюдается непрекращающийся размыв берега, обусловленный геологическим строением берега, сложенного относительно легко размываемыми коренными породами, современной неотектоникой (опускание прибрежной полосы) и подъемом уровня моря. Кроме того, на состояние берега оказывают влияние краткосрочные изменения в природных процессах, такие как цикличность волновых условий и вынос водотоками пляжеобразующего материала.

Недостаточный учет изменяющихся природных факторов, техногенного вмешательства в природную среду и отсутствие мероприятий по компенсации их последствий, сопряжены с возникновением экологических рисков, обусловленных развитием опасных береговых процессов, приводящих к размыву волногасящих пляжей, подмыву берегового склона и возникновению аварийных ситуаций на проходящей вблизи моря железной дороге. Возможное нарушение экологической безопасности железной дороги при проявлении опасных природных процессов должно предусматриваться на стадии разработки природоохранных мероприятий.

В настоящее время из 20,5 км протяженности берега между Туапсе и устьем р. Аше на 17950 м возведена подпорно-волноотбойная стена, предназначенная не только для защиты от волнового воздействия, но и для удержания выше расположенного откоса железнодорожного

Тип лицензии CC: Attribution 4.0 International (CC BY 4.0)

Т. 12. №11 2026
https://doi.org/10.33619/2414-2948/132

полотна. Ширина основного волногасящего элемента - галечного пляжа, недостаточна, а на многих фрагментах берега он полностью отсутствует. Это приводит к подмыву основания стен. Возведенные берегозащитные сооружения-буны, волноломы, бермы, являющиеся пляжеудерживающими сооружениями, при отсутствии волногасящего пляжа полного профиля, не способны защитить берег от воздействия штормовых волн. Современная неотектоника, характеризующая опусканием (хотя и медленным) прилегающей береговой полосы в сочетании с подъемом уровня моря, обуславливают непрекращающийся размыв подводного склона и продвижение уреза моря к береговому склону. Усиливающаяся антропогенная и техногенная нагрузки на береговую полосу приводит к деградации галечных пляжей и активизации опасных процессов, сказывающихся на экологической безопасности железной дороги.

Как показала практика использование жестких (бетонных) берегозащитных конструкций для противодействия волновому воздействию без отсыпки галечного пляжа, способного полностью гасить энергию проходящих штормов, малоэффективно. Более перспективным и экономически оправданым является возведение проницаемых берегозащитных сооружений, к которым в первую очередь необходимо отнести галечные пляжи полного профиля и различного рода волногасящие бермы. В условиях Черноморских берегов интенсивно используемых в селитебных целях возводимые в качестве берегозащитных сооружений галечные пляжи должны соответствовать рекреационным требованиям. При этом следует учитывать местные условия. Так для удержания откоса железнодорожного полотна близко расположенного к урезу моря на побережье от Туапсе до р. Псоу в основании берегового склона вынуждены строить подпорно-волноотбойные стены.

Для предохранения оснований стен от подмыва волнами при возможном уменьшении ширины надводной части волногасящего галечного пляжа предлагается перед стенами возведение проницаемых волногасящих берм, заглубленных в тело пляжа.

Работа выполнена в рамках государственного задания, тема FMWE 2024-0027

Список литературы:

1. Акселевич В. И., Мазуров Г. И. Экологические проблемы курортных городов // Береговая зона – взгляд в будущее: Материалы XXV Международной береговой конференции. М., 2014. С. 54-56.

2. Балабанов И. П. Палеогеографические предпосылки формирования современных природных условий и долгосрочный прогноз развития голоценовых террас Черноморского побережья Кавказа. М.-Владивосток: Дальнаука, 2009. 350 с.

3. Баринова Г. М., Рябкова О. И, Краснов Е. В. Типы конфликтов природопользования в прибрежной зоне // Моря России: год науки и технологий в РФ – десятилетие наук об океане ООН: Тезисы докладов Всероссийской научной конфенции. Севастополь, 2021. С. 350-353.

4. Блиновская Я. Ю. Угрозы региональной экологической безопасности дальневосточных морей // Береговая зона – взгляд в будущее: Материалы XXV Международной береговой конференции. М., 2014. С. 62-64.

5. Зенкович В. П. Берега Черного и Азовского морей. М:, 1958. 374 с.

6. Кофф Г. Л. Правовые основы обеспечения безопасности зданий и сооружений, возводимых на морских побережьях // Природные и природно-техногенные риски береговой зоны морей: Материалы Международной конференции. Одесса, 2008. С. 19-21.

Тип лицензии CC: Attribution 4.0 International (CC BY 4.0)

7. Лукьянова С. А., Соловьева Г. Д. Абразионная опасность на арктическом побережье России // Арктические берега: путь к устойчивости: Материалы XXVII Международной береговой конференции. Мурманск, 2018. С. 246-249.

8. Петров В. А. Волногасящие галечные пляжи. М.: Экон-Информ, 2021. 295 с.

9. Петров В. А. Расчет морских берегозащитных сооружений // Гидротехническое строительство. 2018. №5. С. 9-13.

10. Петров В. А. Антропогенный фактор как рельефообразующий фактор береговой зоны черноморского побережья Краснодарского края (на примере участка берега Туапсе-Адлер) // Бюллетень науки и практики. 2024. Т. 10. №11. С. 71-80. https://doi.org/10.33619/2414-2948/108/09

11. Петров В. А., Ярославцев Н. А. Опыт защиты полотна железной дороги на участке Туапсе – Адлер // Береговая зона – взгляд в будущее: Материалы XXV Международной береговой конференции. М., 2014. С. 152-155.

12. Петров В. А., Тлявлина Г. В., Тлявлин Р. М. Из опыта защиты Черноморского побережья Краснодарского края // Гидротехника. 2025. №3. С. 18-26.

13. Пешков В. М. Галечные пляжи неприливных морей. Краснодар, 2005. 444 с.

14. СП 277.13125800.2016 «Сооружения морские берегозащитные. Правила проектирования».

15. Экба Я. А., Дбар Р. С., Гицба Я. В. Ветровое волнение и абразия Черноморского побережья Абхазии // Морские берега: Материалы XXIV Международной береговой конференции. Краснодар, 2012. С. 113-123.

16. Яйли Е. А., Гогоберидзе Г. Г., Рябчук Д. В., Жамойда В. А., Яйли Д. Е., Аракелов М. С. Современные экзогенные геологические процессы и проблемы берегопользования в южной части береговой зоны Туапсинского района // Геориск. 2010. №4. С. 18-24.

17. Шелушинин Ю. А, Петров В. А. Мониторинг береговых процессов на Черноморском побережье Краснодарского края между Туапсе и Адлером // Экология. Экономика. Информатика. Серия: Геоинформационные технологии и космический мониторинг. Вып. 4. Ростов н/Д, 2019. С. 181-185.

References:

1. Akselevich, V. I., & Mazurov, G. I. (2014). Ekologicheskie problemy kurortnykh gorodov. In *Beregovaya zona – vzglyad v budushchee: Materialy KHKhV Mezhdunarodnoi beregovoi konferentsii, Moscow*, 54-56. (in Russian).

2. Balabanov, I. P. (2009). Paleogeograficheskie predposylki formirovaniya sovremennykh prirodnykh uslovii i dolgosrochnyi prognoz razvitiya golotsenovykh terras Chernomorskogo poberezh'ya Kavkaza. Moscow-Vladivostok. (in Russian).

3. Barinova, G. M., Ryabkova, O. I, & Krasnov, E. V. (2021). Tipy konfliktov prirodopol'zovaniya v pribrezhnoi zone. In *Morya Rossii: god nauki i tekhnologii v RF – desyatiletie nauk ob okeane OON: Tezisy dokladov Vserossiiskoi nauchnoi konfentsii. Sevastopol',* 350-353. (in Russian).

4. Blinovskaya, Ya. Yu. (2014). Ugrozy regional'noi ekologicheskoi bezopasnosti dal'nevostochnykh morei. In *Beregovaya zona – vzglyad v budushchee: Materialy KHKhV Mezhdunarodnoi beregovoi konferentsii, Moscow,* 62-64. (in Russian).

5. Zenkovich, V. P. (1958). Berega Chernogo i Azovskogo morei. Moscow. (in Russian).

6. Koff, G. L. (2008). Pravovye osnovy obespecheniya bezopasnosti zdanii i sooruzhenii, vozvodimykh na morskikh poberezh'yakh. In *Prirodnye i prirodno-tekhnogennye riski beregovoi zony morei: Materialy Mezhdunarodnoi konferentsii, Odessa,* 19-21. (in Russian).

Тип лицензии CC: Attribution 4.0 International (CC BY 4.0)

7. Luk'yanova, S. A., & Solov'eva, G. D. (2018). Abrazionnaya opasnost' na arkticheskom poberezh'e Rossii. In *Arkticheskie berega: put' k ustoichivosti: Materialy KHKhVII Mezhdunarodnoi beregovoi konferentsii, Murmansk,* 246-249. (in Russian).

8. Petrov, V. A. (2021). Volnogasyashchie galechnye plyazhi. Moscow. (in Russian).

9. Petrov, V. A. (2018). Raschet morskikh beregozashchitnykh sooruzhenii. *Gidrotekhnicheskoe stroitel'stvo,* (5), 9-13. (in Russian).

10. Petrov, V. (2024). Anthropogenic Factor as a Relief-forming Factor of the Coastal Zone of the Black Sea Coast of the Krasnodar Territory (on the Example of the Tuapse-Adler Coastline). *Bulletin of Science and Practice, 10*(11), 71-80. (in Russian). https://doi.org/10.33619/2414-2948/108/09

11. Petrov, V. A., & Yaroslavtsev, N. A. (2014). Opyt zashchity polotna zheleznoi dorogi na uchastke Tuapse – Adler. In *Beregovaya zona – vzglyad v budushchee: Materialy KHKhV Mezhdunarodnoi beregovoi konferentsii, Moscow,* 152-155. (in Russian).

12. Petrov, V. A., Tlyavlina, G. V., & Tlyavlin, R. M. (2025). Iz opyta zashchity Chernomorskogo poberezh'ya Krasnodarskogo kraya. *Gidrotekhnika,* (3), 18-26. (in Russian).

13. Peshkov, V. M. (2005). Galechnye plyazhi neprilivnykh morei. Krasnodar.

14. SP 277.13125800.2016 “Sooruzheniya morskie beregozashchitnye. Pravila proektirovaniya”.

15. Ekba, Ya. A., Dbar, R. S., & Gitsb,a Ya. V. (2012). Vetrovoe volnenie i abraziya Chernomorskogo poberezh'ya Abkhazii. In *Morskie berega: Materialy KHKhIV Mezhdunarodnoi beregovoi konferentsii, Krasnodar,* 113-123. (in Russian).

16. Yaili, E. A., Gogoberidze, G. G., Ryabchuk, D. V., Zhamoida, V. A., Yaili, D. E., & Arakelov, M. S. (2010). Sovremennye ekzogennye geologicheskie protsessy i problemy beregopol'zovaniya v yuzhnoi chasti beregovoi zony Tuapsinskogo raiona. *Georisk,* (4), 18-24. (in Russian).

17. Shelushinin, Yu. A, & Petrov, V. A. (2019). Monitoring beregovykh protsessov na Chernomorskom poberezh'e Krasnodarskogo kraya mezhdu Tuapse i Adlerom. In *Ekologiya. Ekonomika. Informatika. Seriya: Geoinformatsionnye tekhnologii i kosmicheskii monitoring, 4, Rostov n/D,* 181-185. (in Russian).

Поступила в редакцию
22.09.2026 г.

Принята к публикации
30.09.2026 г.

Ссылка для цитирования:

Петров В. А. Экологическая безопасность транспортных магистралей в береговой зоне моря (участок берега юго-восточнее Туапсе, Черное море) // Бюллетень науки и практики. 2026. Т. 12. №11. С. 28-43. https://doi.org/10.33619/2414-2948/132/03

Cite as (APA):

Petrov, V. (2026). Environmental Safety of Transport Roads in the Coastal Zone of the Sea (Section of the Coast South-East of Tuapse, Black Sea). *Bulletin of Science and Practice, 12*(11), 28-43. (in Russian). https://doi.org/10.33619/2414-2948/132/03

Тип лицензии CC: Attribution 4.0 International (CC BY 4.0)