



Влияние литодинамики береговой зоны на безопасность эксплуатации железнодорожного полотна на участке Туапсе–Адлер Северо-Кавказской железной дороги

Г.В. Тлявлиная^{1,2✉}, Р.М. Тлявлин¹, Е.С. Ашпиз²

¹Центральный научно-исследовательский институт транспортного строительства, Обособленное подразделение «Научно-исследовательский центр «Морские берега»», г. Сочи, Россия

²Российский университет транспорта (МИИТ), г. Москва, Россия

Аннотация. В настоящей работе рассмотрена проблема защиты от размыва волнами железнодорожного полотна на участке Туапсе–Адлер Северо-Кавказской железной дороги (побережье Черного моря). Целью данной работы является оценка влияния литодинамики береговой зоны на безопасность эксплуатации железнодорожного полотна на данном участке. Описываются литодинамические процессы в береговой зоне моря. На примере конкретного участка берега (1907–1910 км) показано влияние строительства берегозащитных сооружений на литодинамику в целом, и на смежные участки. Представлен ретроспективный анализ поэтапного строительства наносоудерживающих сооружений, морских бун, без полноценной отсыпки пляжеобразующего материала в межбунные отсеки. По результатам обследования и анализа спутниковых снимков участка берега от 1907 км до 1910 км в пределах перегона Водопадный–Лазаревское были сделаны выводы о том, что интенсивное строительство берегозащитных сооружений на участке, которое велось без должного учета процессов литодинамики, привело к размывам пляжа и аварийному состоянию подпорно-волноотбойных стен от 1909 км до 1910 км. Предлагаемые рекомендации позволяют выполнять строительство сооружений инженерной защиты железнодорожного полотна с учетом литодинамических процессов, что повысит безопасность эксплуатации железнодорожного пути.

Ключевые слова: берегозащитные сооружения, железнодорожный путь, земляное полотно, инженерная защита, литодинамические процессы, обследование

Для цитирования: Тлявлиная Г.В., Тлявлин Р.М., Ашпиз Е.С. Влияние литодинамики береговой зоны на безопасность эксплуатации железнодорожного полотна на участке Туапсе–Адлер Северо-Кавказской железной дороги // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2024. Т. 14. № 3. С. 580–591. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2024-3-580-591>. EDN: RBCPJA.

Original article

Influence of lithodynamics of coastal area on the safety of railway operation on the Tuapse-Adler section of the North Caucasus Railway

Galina V. Tlyavlina^{1,2✉}, Roman M. Tlyavlin¹, Evgenij S. Ashpiz²

¹Central Research institute of Transport Construction, R&D Centre «Morskie berega», Sochi, Russia

²Russian University of Transport (MIIT), Moscow, Russia

Abstract. The present paper considers the railroad bed on the Tuapse-Adler section of the North Caucasus Railway (Black Sea coast) in terms of its protection from wave scouring. Aim. To evaluate the influence of coastal lithodynamics on the safety of the railway operation on the section under consideration. The paper describes lithodynamic processes in the sea coastal zone and demonstrates the influence of coastal protection structures produced on lithodynamics in general and on adjacent sections, as exemplified by a specific section of the coast (1907–1910 km). The study involves a retrospective analysis of the step-by-step construction of trapping structures, and sea groins without full-fledged dumping of

beach-forming material into the inter-groin compartments. The investigation and analysis of satellite images of 1907–1910 km coast within the Vodopadny-Lazarevskoye section indicate that lithodynamic processes remained unconsidered during the intensive construction of bank protection structures, which led to the beach erosion and the emergency condition of the seawalls along 1909–1910 km section. The paper provides recommendations for considering lithodynamic processes in the construction of railway protection structures, thereby increasing the safety of the railway operation.

Keywords: coastal protection structures, engineering protection, inspection, lithodynamic processes, railway track, roadbed

For citation: Tlyavlina G.V., Tlyavlin R.M., Ashpiz E.S. Influence of lithodynamics of coastal area on the safety of railway operation on the Tuapse-Adler section of the North Caucasus Railway. *Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2024;14(3):580-591. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2024-3-580-591>. EDN: RBCPJA.

ВВЕДЕНИЕ

Земляное полотно железнодорожного пути на участке Туапсе–Адлер Северо-Кавказской железной дороги (СКЖД) проходит в непосредственной близости от берега Черного моря.

Со стороны берега участок подвержен склоновым процессам (оползням, обвалам и т. п.), а со стороны моря – волновой абразии [1]. Поэтому надежность и безопасность эксплуатации железнодорожного полотна во многом зависит от эффективности работы сооружений инженерной защиты от волнового воздействия.

Надежность и эффективность сооружений инженерной защиты берегов, в свою очередь, зависит от изученности и правильной оценки литодинамики и морфологии участка [2–5].

При этом оценка влияния различных факторов может быть выявлена только при долгосрочных наблюдениях за состоянием берега [2–9]. Берегозащитные мероприятия должны реализовываться в границах литодинамических систем [2].

Поэтому, приступая к изучению современного состояния береговой зоны в пределах каждого конкретного участка, следует выделить систему и оценить процессы, протекающие на рассматриваемом фрагменте [2, 6].

Согласно современным представлениям, литодинамическая система – это участок береговой зоны, в пределах которого выражен вдольбереговой поток наносов, его литодинамический режим относительно независим от смежных участков.

Данная система должна включать совокупность характерных природных и антропогенных факторов, определяющих взаимосвязанные и независимые от соседних участков берега процессы, протекающие на рассматриваемом участке и определяющих устойчивость

самой системы [2, 10].

Материал, выносимый реками и поступающий в береговую зону моря под воздействием волн, перемещается вдоль берега, формируя и поддерживая природные волногасящие пляжи, являющиеся основным элементом, защищающим его от штормовых волн [2, 10].

Процессы аккумуляции и транспорта наносов в береговой зоне на участке от Туапсе до Адлера связаны с твердым стоком рек и его перераспределением под действием волнового и прибойного потока и течений [10, 11].

Полоса пляжа образована песчано-галечными наносами. Их вдольбереговое перемещение определяется воздействием волн на поступающий в береговую зону пляжеобразующий материал.

Величина этого воздействия зависит от экспозиции конкретного участка берега [10].

Под воздействием волн пляжный материал вдоль него смещается в разных направлениях. В силу особенностей гидродинамического режима моря результирующее перемещение галечного пляжного материала на рассматриваемом участке за длительный период времени направлено с северо-запада на юго-восток, т. е. от Туапсе в сторону Адлера (рис. 1). Это результирующее перемещение наносов и является вдольбереговым потоком.

Существенное влияние на вдольбереговой поток наносов оказывает возведение пляжеудерживающих сооружений, таких как буны и прерывистые волноломы, которые, перехватывая наносы, способствуют возникновению низовых размывов.

Большое влияние на изменение величины вдольберегового потока наносов оказывает выборка материалов из русел рек, приводящая к уменьшению их твердого стока и сокращению его величины.

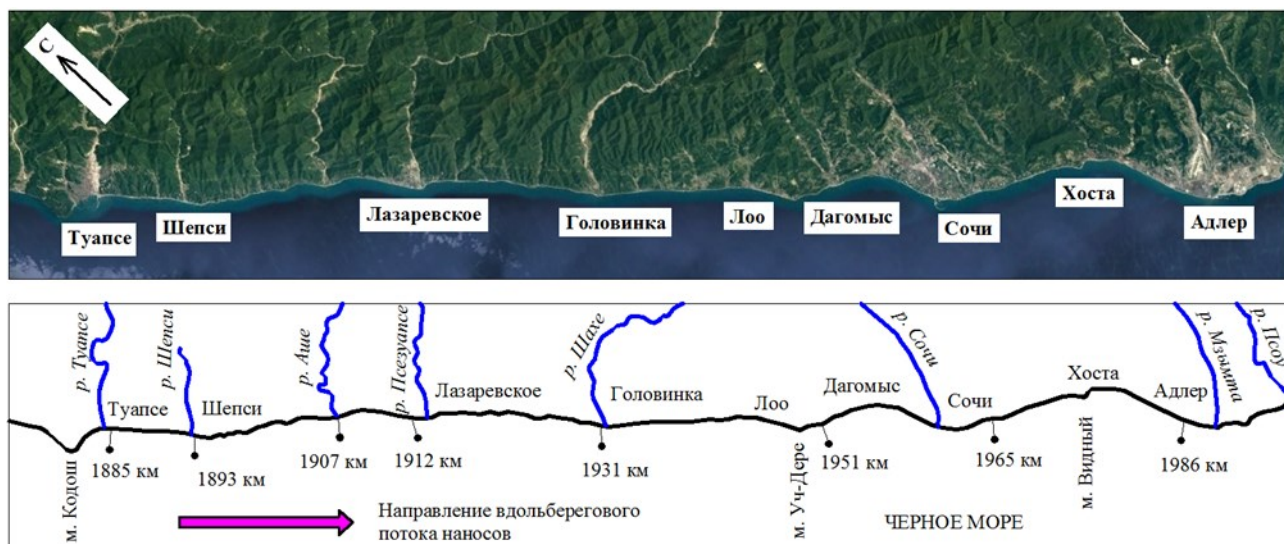


Рис. 1. Схема участка литодинамической системы от Туапсе до Адлера (побережье Черного моря)

Fig. 1. Map of the lithodynamic system section from Tuapse to Adler (Black Sea coast)

МЕТОДЫ

Для оценки литодинамических процессов и их влияния на устойчивость сооружений инженерной защиты и безопасность эксплуатации железнодорожного полотна выполнялся анализ космических снимков сервиса Google Earth, проводились эпизодические натурные наблюдения за динамикой береговой линии и изучались результаты комплексного обследования [1, 2, 9, 12, 13].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Ярким примером тяжелых последствий, к которым приводит неучет литодинамических процессов при строительстве сооружений инженерной защиты в береговой зоне моря, является участок берега от 1907 км ПК0 до 1911

км ПК0 в пределах перегона Водопадный–Лазаревское СЖД.

Северо-западная граница литодинамической подсистемы этого участка приурочена к устью р. Аше [10].

По оценке [11] она выносит в море ежегодно около 16,3 тыс. м³ руслового аллювия, этот материал перемещается вдоль берега на юго-восток и аккумулируется южнее р. Куапсе, на пляжах п. Лазаревское.

Рассмотрим два соседних участка (выбран фрагмент до строительства берегозащиты на участке 1 и после).

Участок 1 расположен северо-западнее устья р. Куапсе, а участок 2 – юго-восточнее (рис. 2).



Рис. 2. Схема участков от 1907 км ПК0 до 1911 км ПК0

Fig. 2. Map of section 1907 km PK 0 to 1911 km PK 0

Из-за различной ориентации береговой линии галечный материал на участке 1 практически не задерживался и перемещался волновыми течениями к участку 2, в результате этого на участке 1 ширина пляжей не превышала 5–10 м, и волны методично разрушали подпорно-волноотбойную стену, что могло привести к размыву земляного полотна железной дороги. В то же время на участке 2 было стабильным, ширина пляжей составляла от 15 м у устья р. Куапсе и до 40 м в центральной части п. Лазаревское.

До 2009 г. на участке 1 (от 1908 км ПК0 до 1910 км ПК0) пляж отсутствовал за исключением небольшого фрагмента на 1909 км ПК5, где под прикрытием волнолома задерживался пляжевый материал. Возникла необходимость

в защите участка от разрушающего воздействия волн.

В период с 2005 по 2018 г. на этом участке, севернее р. Куапсе, было построено 16 бун: четыре бетонные в период до 2009 г., 11 каменнонабросных до 2012 г. и одна каменнонабросная в 2017 г.

На спутниковых снимках 2009–2018 гг. отчетливо прослеживается накопление аллювия, выносимого р. Аше, в межбунных отсеках вновь построенных бун с северо-запада на юго-восток (рис. 3). Это свидетельствует о том, что при строительстве они заполнялись пляжеобразующим материалом не в полном объеме или не заполнялись вовсе, что, в свою очередь, является грубым нарушением требований действующих норм в области берегозащиты.



Рис. 3. Состояние волногасящей полосы от 1907 км ПК0 до 1910 км ПК0, 2018 г.
Fig. 3. The condition of the beach from 1907 km PK0 to 1910 km PK0, 2018

Требования нормативных документов об обязательном заполнении межбунных отсеков вновь строящихся бун основаны на многолетних исследованиях и натурных наблюдениях: пляжевый материал рек будет оседать пока не заполнит их полностью и не будет поступать на берег ниже по ходу потока наносов. Данный факт полностью подтвердился на рассматриваемом участке берега: за прошедшие пять лет (с 2013 по 2018 г.) на северо-западе участка между новыми бунами отсеки полностью заполнились пляжевым материалом из вдольберегового потока, средняя ширина пляжа составила 35 м. А на южной стороне участка за волноломами пляж оказался размыв полностью. На участке 2 на 1910–1911 км в 2005 г. ширина пляжа варьировалась от 20 до 30 м, и он был стабильным (рис. 4). После строительства бун на соседнем участке резко начал размываться пляж и уже в 2012 г. на 1910 км пляж практически полностью отсутствовал, за исключением

небольшого участка за волноломом. А на 1911 км ширина пляжа сократилась с 30 до 10–20 м. В 2019 г. он отсутствовал уже на всем протяжении и даже за волноломами (рис. 5). В результате выполненного в 2018 г. обследования было зафиксировано, что глубина воды перед стеной достигала уже 1,5–2 м, а это значит, что волны практически без потери энергии бьют в стену, разрушая ее. Следует отметить, что согласно нормативным документам, перед волноотбойными стенами обязательно следует предусматривать волногасящие сооружения: волногасящую полосу (пляж) или волногасящую берму [2, 10, 13]. Данные требования обусловлены тем, что вызываемое волноотбойными стенами отражение волн ведет к размыву основания перед ними [2, 14, 15, 16]. Поэтому в нормативные документы внесены требования о недопустимости строительства волноотбойных стен без волногасящих сооружений перед ними.



Рис. 4. Волногасящая полоса на участке 2, 2005 г.
Fig. 4. Wave-extinguishing strip on site 2, 2005



Рис. 5. Волногасящая полоса размыва на участке 2, 2019 г.
Fig. 5. The wave-quenching band is blurred in section 2, 2019

Вместе с тем, учитывая недопустимость возникновения аварийных ситуаций на защищаемых автомобильных и железных дорогах, введены дополнительные требования для такого варианта защиты на случаи отсутствия волногасящего прикрытия перед стенами (например, внезапный размыв пляжа вследствие воздействия шторма более редкой повторяемости, чем расчетная) [2]:

– об обеспечении устойчивости волноотбойных стен даже при отсутствии пляжа перед ними;

– о защите лицевых граней стен облицовкой из высокопрочных материалов либо о применении бетона более высоких марок, если облицовка не предусмотрена. Соблюдение этих дополнительных требований ни в коем случае не обеспечивает длительную защиту волноотбойных стен от обрушения (и, следовательно, безопасную эксплуатацию железнодорожного полотна) на постоянной основе.

Отсутствие такого сооружения перед стеной является критическим дефектом, приводящим к аварийной ситуации, и допустимо лишь

кратковременно, до устранения размыва пляжа [2, 17, 18, 19].

В 2018–2019 гг. специалистами НП «Наука-МГУПС» совместно с Научно-исследовательским центром «Морские берега» и Ростовским государственным университетом путей сообщения были выполнены научно-исследовательские, обследовательские работы и инженерные изыскания в общем составе работ по комплексному обследованию береговой стороны железнодорожной линии Туапсе–Адлер СКЖД [1, 5, 20]. Было выполнено ранжирование железнодорожной линии по степени опасности штормового воздействия с разработкой первой редакции программы противодеформационных мероприятий [1]. По итогам выполненных исследований уже в 2019 г. участок от 1908 км ПК 2+7 до 1909 км ПК 5+00 был отнесен к потенциально опасным, а участок от 1909 км ПК 5+00 до 1911 км ПК 0+00 к аварийным. Предложенные противодеформационные мероприятия, на основании которых была разработана проектная документация, были реали-

зованы лишь частично (рис. 6). В 2020 г. построены еще 11 каменно-набросных бун, что лишь усугубило ситуацию на участке 2, южнее р. Куапсе. При этом межбунные отсеки не были заполнены полностью, что привело к дальнейшему перехвату галечника из потока наносов. Учитывая текущий объем потока, около 16 тыс. м³ в год, межбунные отсеки на этом участке будут заполняться еще не менее 10 лет, а значит, участок 2 будет размываться и далее [21–25]. При этом размывы будут распространяться на 1911 и 1912 км.

По результатам анализа космических снимков сервиса Google Earth за период с 2005 по 2020 г. построен график изменения ширины пляжа на 1908 км ПК0 и на 1911 км ПК0 (рис. 7). Как видно из рис. 7. до строительства бун на участке 1 в 2005 г. на 1908 км ПК0 пляж был шириной не более 4 м (синяя линия на графике), а после строительства бун стал резко нарастать, уже в 2014 г. его ширина составила 20 м и далее, до 2020 г. он находился в стабильном состоянии.



Рис. 6. Состояние волногасящей полосы от 1907 км ПК0 до 1910 км ПК0, 2020 г.

Fig. 6. The condition of the beach from 1907 km PK0 to 1910 km PK0, 2020

На участке 2 за рассматриваемый период происходила обратная ситуация (красная линия на графике). В 2005 г. на 1911 км ПК0 наблюдался пляж шириной 18–20 м, а после строительства берегозащитных сооружений на соседнем участке ширина волногасящей полосы резко начала сокращаться, и уже в 2014 г. пляж перед волноотбойной стеной отсутствовал вовсе.

По материалам наблюдений, выполненных в 2018 г. [1], установлено, что волноотбойная стена на участке разрушается (рис. 8).

Например, на участке от 1910 км ПК8+15 до 1911 км ПК1+5 в нижней части стены при отсутствии волногасящего пляжа произошли размывы коренных пород перед ней. Наблюдались проседания блоков основания с последующим их смещением. В этих местах глубина моря перед волноотбойной стеной достигала 1,5–2 м. Наибольшую опасность представлял участок от 1911 км ПК0+25 до 1911 км ПК0+80, где нижний элемент сборной волноотбойной стены и подстилающая железобетонная плита отсутствуют полностью. Подмывы под стеной

достигали 2,5–3 м в плане, что привело к вытягиванию грунта из-за волноотбойной стены и ее просадке.

В результате шторма, прошедшего 27 но-

ября 2023 г., произошло обрушение волноотбойной стены на данном участке и размыв земляного полотна железной дороги. Было прекращено движение поездов.

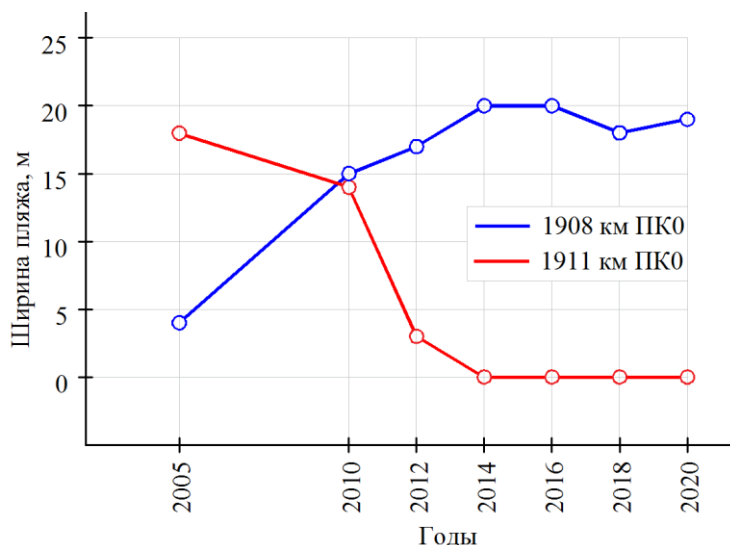


Рис. 7. Изменение ширины пляжа на 1908 км ПК0 и на 1911 км ПК0 за период с 2005 по 2020 г.
Fig. 7. The change in the width of the beach by 1908 km PK0 and by 1911 km PK0 for the 2005 to 2020



Рис. 8. Разрушающаяся волноотбойная стена на участке 2, 2018 г.
Fig. 8. Destroying sea wall on section 2, 2018

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Оценка геоморфологических условий береговой зоны и выявление направленности литодинамических процессов, протекающих на рассматриваемом участке берега, необходимы

для комплексной оценки природных и техногенных условий [2, 18, 26, 27].

Интенсивность проявления береговых процессов и их направленность должны быть положены в основу разрабатываемых берегоза-

щитных мероприятий, включающих оптимальный выбор гидротехнических сооружений, их строительство и эксплуатацию [2, 5, 28]. Эффективность и долговечность возведенных на берегу объектов определяется достоверным учетом, на стадии разработки мероприятий, протекающих в береговой зоне моря природных процессов и их направленности. При этом, большое значение имеет оценка влияния на протекающие природные процессы антропогенного фактора, которая может быть выявлена только при долговременных наблюдениях за состоянием берега. Проявление негативных процессов, связанных с абразией коренного берега под воздействием волн, требует постоянного контроля за его состоянием, выявления опасных участков и проведения берегозащитных мероприятий.

Данные мероприятия на протяжении всего участка Туапсе–Адлер СКЖД, и на участке

1908–1910 км в частности, следует проводить в соответствии с программой противодеформационных мероприятий, первая редакция которой была разработана в 2019 г. и в настоящее время нуждается в актуализации в связи с интенсивными размывами в береговой зоне в последние годы [1]. Программа разработана с учетом литодинамического районирования на основании выполненных исследований и должна реализовываться комплексно и поэтапно. Так, размеры участков и мероприятия, входящие в пусковой комплекс (этап), должны определяться с учетом всех природных и антропогенных процессов в береговой зоне моря.

Игнорирование литодинамических процессов, выполнение проектных мероприятий не в полном объеме, определенном научными исследованиями, приводит к чрезвычайным ситуациям на транспорте и крупным финансовым потерям [17, 18, 29, 30].

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Ashpiz E., Savin A., Tlyavlin R., Tlyavlina G. Urgent Issues of Anti-Deformation Measures to Protect Coastal Railways // Proceedings of the 14th MEDCOAST Congress on Coastal and Marine Sciences, Engineering, Management and Conservation (Marmaris, 22–26 October 2019). Marmaris, 2019. Vol. 2. p. 841–852. EDN: JWHEBE.
2. Тлявлиная Г.В. Научное обоснование нормативной базы по проектированию защиты транспортных сооружений от гидродинамических воздействий естественной водной среды. М.: Экон-Информ, 2023. 173 с. EDN: IMBNHK.
3. Powell E.J., Tyrrell M.C., Milliken A., Tirpak J.M., Staudinger M.D. A Review of Coastal Management Approaches to Support the Integration of Ecological and Human Community Planning for Climate Change // Journal of Coastal Conservation. 2019. Vol. 23. Iss. 1. P. 1–18. <https://doi.org/10.1007/s11852-018-0632-y>.
4. Rangel-Buitrago N., Neal W.J., De Jonge V.N. Risk Assessment as Tool for Coastal Erosion Management // Ocean and Coastal Management. 2020. Vol. 186. P. 105088–105099. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2020.105099>.
5. Тлявлиная Г.В. Лабораторные и натурные исследования в обеспечение развития нормативной базы и безопасности транспортных сооружений в условиях волнового воздействия // Транспортные сооружения. 2022. Т. 9. № 4. С. 1–19. <https://doi.org/10.15862/10SATS422>. EDN: JVREME.
6. Stokes K., Poate T., Masselink G., King E., Saulter A., Ely N. Forecasting Coastal Overtopping at Engineered and Naturally Defended Coastlines // Coastal Engineering. 2021. Vol. 164. P. 1–17. <https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2020.103827>.
7. Sancho F. Evaluation of Coastal Protection Strategies at Costa da Caparica (Portugal): Nourishments and Structural Interventions // Journal of Marine Science and Engineering. 2023. Vol. 11. Iss. 6. P. 1–23. <https://doi.org/10.3390/jmse11061159>.
8. Saengsupavanich Ch. Flaws in Coastal Erosion Vulnerability Assessment: Physical and Geomorphological Parameters // Arabian Journal of Geosciences. 2021. Vol. 15. Iss. 57. <https://doi.org/10.1007/s12517-021-09368-2>.
9. Шелушин 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. 2019. № 4. С. 181–185. <https://doi.org/10.23885/2500-123X-2019-2-4-181-185>. EDN: NRDFML.
10. Петров В.А. Волногасящие галечные пляжи. М.: Экон-Информ, 2021. 295 с. EDN: NSTOJW.
11. Петров В.А., Ярославцев Н.А. Сток влекомых наносов рек Черноморского побережья Краснодарского края // Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геокриология. 2021. № 3. С. 19–28. <https://doi.org/10.31857/S0869780921030073>. EDN: SEKVOT.
12. Шелушин Ю.А., Петров В.А. Динамика пляжей участка Черноморского побережья России 1956–2018 гг. // Закономерности формирования и воздействия морских, атмосферных опасных явлений и катастроф на прибрежную зону РФ в условиях глобальных климатических и промышленных вызовов

- («Опасные явления»): материалы Междунар. науч. конф. (г. Ростов-на-Дону, 13–23 июня 2019 г.). Ростов-на-Дону, 2019. С. 217–221. EDN: WTBAEQ.
13. Петров В.А., Ярославцев Н.А. Оценка величины вдольберегового потока наносов в литодинамических системах (на примере участка берега между Туапсе и Адлером) // Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геокриология. 2020. № 4. С. 60–67. <https://doi.org/10.31857/S0869780920040074>. EDN: XZJJYA.
 14. Lira-Loarca A., Cáceres-Euse A., De-Leo F., Besio G. Wave Modeling with Unstructured Mesh for Hindcast, Forecast and Wave Hazard Applications in The Mediterranean Sea // Applied Ocean Research. 2022. Vol. 122. P. 103110–103118. <https://doi.org/10.1016/j.apor.2022.103118>.
 15. De Finis S., Romano A., Bellotti G. Numerical and Laboratory Analysis of Post-Overtopping Wave Impacts On a Storm Wall for A Dike-Promenade Structure // Coastal Engineering. 2020. Vol. 155. P. 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2019.103598>.
 16. Weiqiu Chen, Marconi A., van Gent M.R.A., Warmink J.J., Hulscher S.J.M.H. Experimental Study on the Influence of Berms and Roughness on Wave Overtopping at Rock-Armoured Dikes // Journal of Marine Science and Engineering. 2020. Vol. 8. Iss. 6. P. 1–21. <https://doi.org/10.3390/jmse8060446>.
 17. Финагенов О.М., Штильман В.Б., Шульман С.Г., Юделевич А.М. Развитие методов оценки надежности гидротехнических сооружений // Известия Всероссийского научно-исследовательского института гидротехники им. Б.Е. Веденеева. 2021. Т. 300. С. 7–20. EDN: IANMJK.
 18. Седнев В.А. Оценка факторов, влияющих на организацию защиты населения в зонах возможного катастрофического затопления // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. 2021. № 1. С. 73–82. <https://doi.org/10.36535/0869-4176-2021-01-10>. EDN: RLTTQA.
 19. Qin Chen, Lixia Wang, Haihong Zhao, Douglass S.L. Prediction of Storm Surges and Wind Waves on Coastal Highways in Hurricane-Prone Areas // Journal of Coastal Research. 2007. Vol. 95. Iss. 5. P. 1304–1317. <https://doi.org/10.2112/05-0465.1>.
 20. Тлявлин Р.М. Оценка технического состояния волногасящих сооружений инженерной защиты земляного полотна от волнового воздействия // Известия Петербургского университета путей сообщения. 2020. Т. 17. № 2. С. 198–209. <https://doi.org/10.20295/1815-588X-2020-2-198-209>. EDN: TWPLCB.
 21. Leont'yev I.O. Artificial Beach as A Structure for Protecting a Seacoast from Storm Surge Impact (Based On the Example of the Eastern Gulf of Finland) // Oceanology. 2019. Vol. 59. Iss. 2. P. 267–275. <https://doi.org/10.1134/S0001437019020115>.
 22. Divinsky B.V., Kosyan R.D. Bottom Sediment Suspension under Irregular Surface Wave Conditions // Oceanology. 2019. Vol. 59. Iss. 4. P. 482–490. <https://doi.org/10.1134/S0001437019040039>.
 23. Süme V. Shoreline Changes in Three Groin Fields On the Eastern Black Sea Coast // Fresenius Environmental Bulletin. 2018. Vol. 27. Iss. 1. P. 125–131.
 24. Кантаржи И.Г., Леонтьев И.О., Куприн А.В. Аналитические исследования динамики «карманного пляжа» // Фундаментальная и прикладная гидрофизика. 2023. Т. 16. № 3. С. 93–105. [https://doi.org/10.59887/2073-6673.2023.16\(3\)-7](https://doi.org/10.59887/2073-6673.2023.16(3)-7). EDN: SPDWAI.
 25. Dolgoplova E.N. Mechanism for Sediment Transport at Tidal Estuaries Under Bore Formation // Processes in GeoMedia. Springer Geology. Springer: Cham, 2020. Vol. 1. P. 231–241. https://doi.org/10.1007/978-3-030-38177-6_25.
 26. Fomin V.V., Goryachkin Yu.N. Accounting for the Local Wave and Morphodynamic Processes in Coastal Hydraulic Engineering // Physical Oceanography. 2022. Vol. 29. Iss. 3. P. 271–290. <https://doi.org/10.22449/1573-160X-2022-3-271-290>. EDN: WKTMVO.
 27. Mathew R., Winterwerp J.C. Sediment Dynamics and Transport Regimes in A Narrow Microtidal Estuary // Ocean Dynamics. 2020. Vol. 70. Iss. 4. P. 435–462. <https://doi.org/10.1007/s10236-020-01345-9>.
 28. Tlyavlina G.V., Vyalyi, E.A. The Use of Natural Stone in Marine Hydraulic Engineering Construction // Ecological Safety of Coastal and Shelf Zones of Sea. 2022. Iss. 2. P. 53–69. <https://doi.org/10.22449/2413-5577-2022-2-53-69>. EDN: AEFXHI.
 29. Осипова О.С. Анализ и оценка риска возникновения гидродинамических аварий // Биотехнологии и безопасность в техносфере: сб. материалов II Национальной науч. конф. студентов и молодых ученых (г. Санкт-Петербург, 02–03 марта 2022 г.). СПб, 2022. Т. 2. С. 33–36. EDN: KNZWKW.
 30. Савушкин С.А., Искоростинский А.И., Лемешкова А.В. Климатические причины железнодорожных аварий // ИТНОУ: Информационные технологии в науке, образовании и управлении. 2023. № 2 (21). С. 19–24. <https://doi.org/10.47501/ITNOU.2023.2.19-24>. EDN: FGLGGH.

REFERENCES

1. Ashpiz E., Savin A., Tlyavlin R., Tlyavlina G. Urgent Issues of Anti-Deformation Measures to Protect Coastal Railways. In: *Proceedings of the 14th MEDCOAST Congress on Coastal and Marine Sciences, Engineering, Management and Conservation*. 22–26 October 2019, Marmaris. Marmaris; 2019. Vol. 2. p. 841–852. EDN: JWHEBE.

2. Tlyavlina G.V. *Scientific Justification of the Regulatory Framework for The Design of Protection of Transport Structures from Hydrodynamic Effects of the Maritime Environment*. Moscow: Ekon-Inform, 2023. 173 p. (In Russ.). EDN: IMBNHK.
3. Powell E.J., Tyrrell M.C., Milliken A., Tirpak J.M., Staudinger M.D. A Review of Coastal Management Approaches to Support the Integration of Ecological and Human Community Planning for Climate Change. *Journal of Coastal Conservation*. 2019;23(1):1-18. <https://doi.org/10.1007/s11852-018-0632-y>.
4. Rangel-Buitrago N., Neal W.J., De Jonge V.N. Risk Assessment as Tool for Coastal Erosion Management. *Ocean and Coastal Management*. 2020;186:105088-105099. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2020.105099>.
5. Tlyavlina G.V. Laboratory and Field Studies to Ensure the Regulatory Framework Development and The Transport Facilities' Safety in The Wave Effect Conditions. *Russian Journal of Transport Engineering*. 2022;9(4):1-19. (In Russ.). <https://doi.org/10.15862/10SATS422>. EDN: JVREME.
6. Stokes K., Poate T., Masselink G., King E., Saulter A., Ely N. Forecasting Coastal Overtopping at Engineered and Naturally Defended Coastlines. *Coastal Engineering*. 2021;164:1-17. <https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2020.103827>.
7. Sancho F. Evaluation of Coastal Protection Strategies at Costa da Caparica (Portugal): Nourishments and Structural Interventions. *Journal of Marine Science and Engineering*. 2023;11(6):1-23. <https://doi.org/10.3390/jmse11061159>.
8. Saengsupavanich Ch. Flaws in Coastal Erosion Vulnerability Assessment: Physical and Geomorphological Parameters. *Arabian Journal of Geosciences*. 2021;15(57). <https://doi.org/10.1007/s12517-021-09368-2>.
9. Shelushinin Yu.A., Petrov V.A. Monitoring The Condition of Beaches at The Black Sea Coast of Krasnodar Region. *Ekologiya. Ekonomika. Informatika. Seriya: Geoinformatsionnye tekhnologii i kosmicheskii monitoring*. 2019;4:181-185. (In Russ.). <https://doi.org/10.23885/2500-123X-2019-2-4-181-185>. EDN: NRDFML.
10. Petrov V.A. *Wave Dampening Pebble Beaches*. Moscow: Ekon-Inform, 2021. 295 p. (In Russ.). EDN: NSTOJW.
11. Petrov V.A., Yaroslavl'tsev N.A. Runoff of Carried River Sediments at The Black Sea Coast, Krasnodar Region. *Geoekologiya. Inzhenernaya geologiya, gidrogeologiya, geokriologiya*. 2021;3:19-28. (In Russ.). <https://doi.org/10.31857/S0869780921030073>. EDN: SEKVOT.
12. Shelushinin Yu.A., Petrov V.A. Dynamics of Beaches of the Black Sea Coast of Russia Over The 1956–2018. In: *Zakonovernosti formirovaniya i vozdeistviya morskikh, atmosferykh opasnykh yavlenii i katastrof na pribrezhnuyu zonu RF v usloviyakh global'nykh klimaticheskikh i industrial'nykh vyzovov («Opasnye yavleniya»): materialy Mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii = Patterns of Formation and Impact of Marine, Atmospheric Hazardous Phenomena and Disasters on The Coastal Zone of The Russian Federation in The Context of Global Climatic and Industrial Challenges ("Hazardous Phenomena"): Materials of The International Scientific Conference*. 13–23 June 2019, Rostov-on-Don. Rostov-on-Don; 2019. p. 217–221. (In Russ.). EDN: WTBAEQ.
13. Petrov V.A., Yaroslavl'tsev N.A. Evaluation of Longshore Transport of Sediments in Lithodynamic Systems (By The Example of the Coast Section Between Tuapse and Adler). *Geoekologiya. Inzhenernaya geologiya, gidrogeologiya, geokriologiya*. 2020;4:60-67. (In Russ.). <https://doi.org/10.31857/S0869780920040074>. EDN: XZJJYA.
14. Lira-Loarca A., Cáceres-Euse A., De-Leo F., Besio G. Wave Modeling with Unstructured Mesh for Hindcast, Forecast and Wave Hazard Applications in The Mediterranean Sea. *Applied Ocean Research*. 2022;122:103110-103118. <https://doi.org/10.1016/j.apor.2022.103118>.
15. De Finis S., Romano A., Bellotti G. Numerical and Laboratory Analysis of Post-Overtopping Wave Impacts On a Storm Wall for A Dike-Promenade Structure. *Coastal Engineering*. 2020;155:1-13. <https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2019.103598>.
16. Weiqiu Chen, Marconi A., van Gent M.R.A., Warmink J.J., Hulscher S.J.M.H. Experimental Study on the Influence of Berms and Roughness on Wave Overtopping at Rock-Armoured Dikes. *Journal of Marine Science and Engineering*. 2020;8(6):1-21. <https://doi.org/10.3390/jmse8060446>.
17. Finagenov O.M., Shtilman V.B., Shulman S.G., Yudelevich A.M. Development of Methods for Assessing the Reliability of Hydraulic Structures. *Izvestiya Vserossiiskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta gidrotekhniki im. B.E. Vedeneeva*. 2021;300:7-20. (In Russ.). EDN: IANMJK.
18. Sednev V.A. Assessment of Factors That Affect the Organization Protection of the Population in Areas of Possible Catastrophic Flooding. *Problemy bezopasnosti i chrezvychaynykh situatsii*. 2021;1:73-82. (In Russ.). <https://doi.org/10.36535/0869-4176-2021-01-10>. EDN: RLTOA.
19. Qin Chen, Lixia Wang, Haihong Zhao, Douglass S.L. Prediction of Storm Surges and Wind Waves on Coastal Highways in Hurricane-Prone Areas. *Journal of Coastal Research*. 2007;95(5):1304-1317. <https://doi.org/10.2112/05-0465.1>.
20. Tlyavlin R.M. Assessment of The Technical Condition of Wave Canceling Structures for Engineering Protection of Roadbeds from Wave Exposure. *Proceedings of Petersburg Transport University*. 2020;17(2):198-

209. (In Russ.). <https://doi.org/10.20295/1815-588X-2020-2-198-209>. EDN: TWPLCB.
21. Leont'yev I.O. Artificial Beach as A Structure for Protecting a Seacoast from Storm Surge Impact (Based On the Example of the Eastern Gulf of Finland). *Oceanology*. 2019;59(2):267-275. <https://doi.org/10.1134/S0001437019020115>.
22. Divinsky B.V., Kosyan R.D. Bottom Sediment Suspension under Irregular Surface Wave Conditions. *Oceanology*. 2019;59(4):482-490. <https://doi.org/10.1134/S0001437019040039>.
23. Süme V. Shoreline Changes in Three Groin Fields On the Eastern Black Sea Coast. *Fresenius Environmental Bulletin*. 2018;27(1):125-131.
24. Kantarzi I.G., Leont'ev I.O., Kuprin A.V. Analytical Studies of the Dynamics of Pocket Beach. *Fundamental and Applied Hydrophysics*. 2023;16(3):93-105. (In Russ.). [https://doi.org/10.59887/2073-6673.2023.16\(3\)-7](https://doi.org/10.59887/2073-6673.2023.16(3)-7). EDN: SPDWAI.
25. Dolgoplova E.N. Mechanism for Sediment Transport at Tidal Estuaries Under Bore Formation. In: *Processes in GeoMedia. Springer Geology*. Springer: Cham, 2020. Vol. 1. p. 231–241. https://doi.org/10.1007/978-3-030-38177-6_25.
26. Fomin V.V., Goryachkin Yu.N. Accounting for the Local Wave and Morphodynamic Processes in Coastal Hydraulic Engineering. *Physical Oceanography*. 2022;29(3):271-290. <https://doi.org/10.22449/1573-160X-2022-3-271-290>. EDN: WKTMOV.
27. Mathew R., Winterwerp J.C. Sediment Dynamics and Transport Regimes in A Narrow Microtidal Estuary. *Ocean Dynamics*. 2020;70(4):435-462. <https://doi.org/10.1007/s10236-020-01345-9>.
28. Tlyavina G.V., Vyalyi, E.A. The Use of Natural Stone in Marine Hydraulic Engineering Construction. *Ecological Safety of Coastal and Shelf Zones of Sea*. 2022;2:53-69. <https://doi.org/10.22449/2413-5577-2022-2-53-69>. EDN: AEFXHI.
29. Osipova O.S. Analysis and Assessment of the Risk of Hydrodynamic Accidents. In: *Biotehnologii i bezopasnost' v tekhnosfere: sbornik materialov II Natsional'noi nauchnoi konferentsii studentov i molodykh uchenykh = Biotechnology and Safety in The Technosphere: Collection of Materials of The II National Scientific Conference of Students and Young Scientists*. 02–03 March 2022, Saint Petersburg. Saint Petersburg; 2022. Vol. 2. p. 33–36. (In Russ.). EDN: KNZWKW.
30. Savushkin S.A., Iskorostinsky A.I., Lemiashkova A.V. Climate Causes of Railway Accidents. *ITNOU: Informatsionnye tekhnologii v nauke, obrazovanii i upravlenii*. 2023;2(21):19-24. (In Russ.). <https://doi.org/10.47501/ITNOU.2023.2.19-24>. EDN: FGLGGH.

Информация об авторах

Тлявлиная Галина Вячеславовна,
к.т.н., заведующий лабораторией
моделирования, расчетов и нормирования
в гидротехническом строительстве
ОП АО ЦНИИТС «НИЦ «Морские берега»»,
354002, г. Сочи, ул. Яна Фабрициуса, 1,
Россия,
докторант кафедры мосты и тоннели,
Российский университет
транспорта (МИИТ),
127994, г. Москва, ул. Образцова, д. 9, ст. 9,
Россия,
✉e-mail: TlyavlinaGV@Tsnis.com
<https://orcid.org/0000-0003-4083-9014>
Author ID: 604630

Тлявлин Роман Маратович,
к.т.н., заместитель генерального директора
АО ЦНИИТС, руководитель ОП АО ЦНИИТС
«НИЦ «Морские берега»»,
354002, г. Сочи, ул. Яна Фабрициуса, 1,
Россия,
e-mail: TlyavlinRM@Tsnis.com
<https://orcid.org/0000-0002-8648-0492>
Author ID: 123325

Information about the authors

Galina V. Tlyavlina,
Cand. Sci. (Eng.), Head of the Laboratory
of Modeling, Calculations and Standardization
in Hydraulic Engineering, Joint Stock Company
«Central Research institute of Transport
Construction», R&D Centre «Morskies berega»,
1, Yana Fabritciusa St., Sochi 354002, Russia,
Doctoral Student of the Department of Bridges
and Tunnels,
Russian University of Transport (MIIT),
9 building, 9 Obrastsova St., Moscow 127994,
Russia,
✉e-mail: TlyavlinaGV@Tsnis.com
<https://orcid.org/0000-0003-4083-9014>
Author ID: 604630

Roman M. Tlyavlin,
Cand. Sci. (Eng.), Head of the R&D Centre
«Morskies berega», Joint Stock Company
«Central research institute of Transport
Construction»,
1, Yana Fabritciusa St., Sochi 354002, Russia,
e-mail: TlyavlinRM@Tsnis.com
<https://orcid.org/0000-0002-8648-0492>
Author ID: 123325

Ашпиз Евгений Самуилович,

д.т.н., профессор, заведующий кафедрой
путь и путевое хозяйство,
Российский университет транспорта (МИИТ),
127994, г. Москва, ул. Образцова, д. 9, ст. 9,
Россия,
e-mail: geonika@inbox.ru
Author ID: 169354

Evgenij S. Ashpiz,

Dr. Sci. (Eng.), Professor, Head of the Department
Railway Track and Facilities,
Russian University of Transport (MIIT)
9, B. 9 Obratsova St., Moscow 127994,
Russia,
e-mail: geonika@inbox.ru
Author ID: 169354

Вклад авторов

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Contribution of the authors

The authors contributed equally to this article.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests regarding the publication of this article.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

The final manuscript has been read and approved by all the co-authors.

Информация о статье

Статья поступила в редакцию 24.06.2024.
Одобрена после рецензирования 10.07.2024.
Принята к публикации 12.07.2024.

Information about the article

The article was submitted 24.06.2024.
Approved after reviewing 10.07.2024.
Accepted for publication 12.07.2024.