

СОВРЕМЕННЫЕ СПОСОБЫ БЕРЕГОЗАЩИТЫ

Д.И. Панов, студент

Научный руководитель: О.М. Преснов, канд. техн. наук, доцент

Красноярский институт железнодорожного транспорта – филиал Иркутского государственного университета путей
(Россия, г. Красноярск)

DOI:10.24412/2500-1000-2025-1-3-200-203

Аннотация. В статье рассматриваются современные методы и технологии берегозащиты, применяемые в России. Анализируются различные типы берегозащитных сооружений, включая искусственные пляжи, волноломы, буны и волноотбойные стены. Особое внимание уделяется комплексному подходу к берегозащите, экологическим аспектам и инновационным решениям. Обсуждаются региональные особенности берегозащиты в России, а также перспективы развития этой области инженерной деятельности.

Ключевые слова: берегозащита, искусственные пляжи, волноломы, экологический подход, инновационные технологии.

Берегозащита представляет собой сложный комплекс инженерно-технических мероприятий, направленных на предотвращение и минимизацию деструктивного воздействия гидродинамических и литодинамических процессов на береговую линию. Эта многогранная область инженерной деятельности интегрирует знания из гидротехники, инженерной геологии, океанологии и экологии, стремясь к сохранению морфологической целостности берега, предотвращению абразионно-эрозионных процессов и обеспечению геотехнической стабильности прибрежных территорий и инфраструктуры.

В современной практике берегозащиты применяется широкий спектр инженерных решений, включающих как активные, так и пассивные берегозащитные сооружения, а также их комбинации. К активным сооружениям относятся волноломы, буны, волноотбойные стены, искусственные мысы и островки. Пассивные сооружения включают искусственные пляжи, берегоукрепительные покрытия, габионные конструкции и геотекстильные материалы. Комбинированные системы защиты, такие как волноломы в сочетании с искусственными пляжами или буны с подсыпкой пляжеобразующего материала, позволяют оптимизировать берегозащиту с учетом конкретных природных условий и экономических факторов [1].

Волноломы, являясь одним из ключевых элементов берегозащиты, представляют собой

гидротехнические сооружения, располагаемые параллельно берегу на расстоянии 50-200 м от уреза воды. Их основная функция заключается в гашении энергии волн и создании зоны относительного гидродинамического спокойствия в прибрежной акватории. Современные волноломы часто проектируются как прерывистые конструкции с расстоянием между секциями 0,5-1,5 длины секции, что обеспечивает лучший водообмен и способствует формированию аккумулятивных образований. Длина волноломов может варьироваться от 30 до 300 м, ширина по верху составляет 3-5 м, а высота достигает 2-4 м над уровнем моря. Уклон откосов обычно находится в пределах 1:1,5 - 1:2. Материалы, используемые для строительства волноломов, включают железобетонные массивы, тетраподы, гексаподы и природный камень [2].

Буны, представляющие собой поперечные сооружения, располагаемые перпендикулярно береговой линии, играют важную роль в перехвате вдольберегового потока наносов и удержании пляжеобразующего материала. Их эффективность во многом зависит от правильного выбора параметров, которые определяются на основе детального изучения гидродинамического режима прибрежной зоны и расчетов литодинамических процессов. Длина бун может составлять от 30 до 120 м, ширина по верху – 2-3 м, а высота – 1-2 м над уровнем моря. Расстояние между бунами обычно составляет 2-3 длины буны. Современные буны

часто имеют Т-образную или Г-образную форму в плане, что повышает их эффективность в удержании наносов.

Волноотбойные стены представляют собой массивные конструкции, располагаемые вдоль берега для непосредственного отражения волнового воздействия. Их высота может достигать 3-7 м, толщина – 1-2 м, а заглубление фундамента – 2-3 м. Современные конструкции волноотбойных стен часто включают волногасящие камеры или специальные профили лицевой поверхности для снижения отражающей способности и уменьшения размыва пляжа перед сооружением. Например, волноотбойная стена с волногасящими камерами может иметь коэффициент отражения волн 0,3-0,5, что значительно ниже, чем у традиционных вертикальных стен (0,8-0,9) [3].

Примером инновационного решения в области волноотбойных стен является запатентованное берегозащитное сооружение (патент RU2204649C2), которое сочетает насыпную грунтовую призму с защитным покрытием из железобетонных плит и волногасящие камеры. Конструкция обеспечивает эффективное гашение волн при меньших затратах на строительство и обладает увеличенным сроком службы [8].

Создание искусственных пляжей является одним из наиболее эффективных и экологически приемлемых методов берегозащиты. Этот метод основан на принципе естественного гашения волновой энергии песчаным или галечным материалом. Ширина искусственных пляжей обычно составляет 30-50 м, уклон подводного склона – 0,02-0,05, а медианный диаметр частиц пляжеобразующего материала варьируется от 0,2-0,5 мм для песчаных пляжей до 5-50 мм для галечных. При проектировании искусственных пляжей необходимо учитывать направление и интенсивность вдольбереговых течений (скорость 0,1-0,5 м/с), характер волнового воздействия (высота волн 1% обеспеченности) и состав наносов.

В современной практике берегозащиты активно внедряются инновационные материалы и технологии. Применяются высокопрочные бетоны марок В40-В60 с добавками микрокремнезема и суперпластификаторов, обеспечивающие прочность на сжатие до 60 МПа и морозостойкость F300-F400. Используются

композитные материалы, такие как стеклопластиковая и базальтопластиковая арматура с прочностью на растяжение до 1000 МПа и коррозионной стойкостью в 2-3 раза выше, чем у стальной арматуры. Геосинтетические материалы с прочностью на разрыв 20-40 кН/м и водопроницаемостью 60-100 л/м²/с применяются для армирования грунтовых конструкций и фильтрации. Технология 3D-печати используется для создания сложных геометрических форм берегозащитных блоков с оптимизированными гидродинамическими характеристиками. Нанотехнологии находят применение в создании наномодифицированных бетонов с повышенной прочностью (до 100 МПа) и долговечностью в агрессивной морской среде [4].

Учитывая разнообразие природных условий на различных участках побережья России, применяется широкий спектр берегозащитных решений, адаптированных к местным условиям. На Балтийском побережье, где преобладают песчаные берега с интенсивностью размыва 0,5-2 м/год, широко применяются буны длиной 40-60 м с расстоянием между ними 80-120 м. Искусственные пляжи создаются с использованием песка крупностью 0,3-0,5 мм. Черноморское побережье характеризуется более интенсивным волновым режимом с высотой волн 1% обеспеченности до 5-7 м. Здесь применяются волноломы длиной 80-150 м, расположенные на расстоянии 50-100 м от берега, в сочетании с искусственными пляжами шириной 30-40 м. На Дальневосточном побережье, подверженном воздействию цунами с высотой волн до 15-20 м, применяются специальные конструкции берегозащитных сооружений, рассчитанные на экстремальные нагрузки, включая волноотбойные стены высотой до 10 м с усиленным армированием и заглублением фундамента до 5 м [5].

Современные подходы к берегозащите уделяют особое внимание экологическим аспектам. Развиваются так называемые «мягкие» методы берегозащиты, включающие искусственное восстановление дюн, посадку растительности для укрепления берегов и применение биоразлагаемых геотекстильных материалов. Создание песчаных валов высотой 3-5 м и их закрепление растительностью (*Ammophila arenaria*, *Leymus arenarius*) обеспечивает эффективность защиты от штормовых нагонов

до 70%. Использование галофитов (*Salicornia europaea*, *Atriplex littoralis*) для создания буферных зон шириной 20-30 м позволяет снизить скорость эрозии на 30-50%. Применение биоразлагаемых геотекстильных материалов из кокосового волокна с прочностью на разрыв 15-20 кН/м и сроком биоразложения 3-5 лет в сочетании с растительностью обеспечивает эффективность до 80% в снижении эрозии [6].

Современная берегозащита опирается на сложные математические модели и компьютерное моделирование. Используются гидродинамические модели, основанные на уравнениях мелкой воды и моделях Буссинеска для нелинейных волновых процессов, обеспечивающие точность прогноза волновых параметров до 85-90%. Морфодинамические модели, включающие уравнение баланса наносов и формулы расхода наносов, позволяют прогнозировать изменения береговой линии с точностью 70-80% на период до 5 лет. Интегрированные модели береговой зоны, учитывающие взаимодействие гидро- и литодинамических процессов, обеспечивают прогнози-

рование долгосрочной эволюции береговой зоны с точностью до 60-70% на период 10-20 лет [7].

Таким образом, современная берегозащита в России представляет собой сложную междисциплинарную область, требующую комплексного инженерно-технического подхода и учета множества факторов. Выбор оптимальных методов и сооружений для защиты берегов основывается на тщательном анализе природных условий, экономических возможностей и экологических требований. Дальнейшее развитие методов берегозащиты связано с внедрением инновационных технологий, повышением экологичности защитных сооружений и совершенствованием методов прогнозирования и моделирования береговых процессов. Особое внимание уделяется разработке адаптивных систем берегозащиты, способных эффективно функционировать в условиях изменяющегося климата и растущей антропогенной нагрузки на прибрежные экосистемы, что отражает глобальные тенденции в этой области и способствует устойчивому развитию прибрежных территорий.

Библиографический список

1. Ветрова Н.М., Гайсарова А.А. Технические решения берегозащитных сооружений для улучшения экологического состояния прибрежных рекреационных зон // Экономика строительства и природопользования. – 2024. – № 3 (72). – С. 95-102.
2. Ветрова Н.М., Меннанов Э.Э. Практика применения берегозащитных сооружений в приморских районах // Строительство и техногенная безопасность. – 2017. – № 7 (59). – С. 33-38.
3. Виноградова Л.И., Иванова О.И. Способы применения берегозащитных конструкций в гидротехническом и гидромелиоративном строительстве // Вестник КрасГАУ. – 2020. – № 3 (156). – С. 49-55.
4. Новиков В.Ю. Особенности строительства берегозащитных сооружений в городе // Вестник университета. – 2024. – № 11. – С. 76-82.
5. Леонтьев И.О., Акиншин А.А. Моделирование эволюции берегового профиля при наличии берегозащитных сооружений // Океанология. – 2022. – Т. 62. № 5. – С. 777-787.
6. Макаров К.Н., Макарова И.Л. Математическое моделирование берегозащитных мероприятий // Инженерно-строительный журнал. – 2023. – № 2 (108). – С. 10204.
7. Рогачко С.И., Шунько Н.В. Научное сопровождение проектирования берегозащитных сооружений // Вестник МГСУ. – 2016. – № 12. – С. 103-113.
8. Пат. 2204649С2 Российская Федерация, МПК E02B 3/06. Берегозащитное сооружение / Шахин В.М., Рогачко С.И.; заявитель и патентообладатель Севастопольский национальный технический университет. – № 2000114269/13; заявл. 05.06.2000; опубл. 20.05.2003, Бюл. № 14. – 5 с.: ил.

MODERN METHODS OF BRIBERY HEDGE PROTECTION

D.I. Panov, *Student*

Supervisor: *O.M. Presnov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor*

Krasnoyarsk Institute of Railway Transport is a branch of Irkutsk State University of Railways (Russia, Krasnoyarsk)

Abstract. *The article examines modern methods and technologies of coastal protection used in Russia. Various types of coastal protection structures are analyzed, including artificial beaches, breakwaters, groins, and seawalls. Special attention is paid to the integrated approach to coastal protection, environmental aspects, and innovative solutions. Regional features of coastal protection in Russia are discussed, as well as prospects for the development of this field of engineering.*

Keywords: *coastal protection, artificial beaches, breakwaters, ecological approach, innovative technologies.*