

АКТУАЛЬНЫЕ НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В ОБЛАСТИ МЕЛИОРАЦИИ И ГИДРОТЕХНИКИ

Обзорная статья

УДК 627.41:626.823

Обзор исследований берегозащитных устройств на гидротехнических сооружениях мелиоративного назначения

Александр Юрьевич Гарбуз¹, Дмитрий Сергеевич Рыбалко²

^{1, 2}Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск,
Российская Федерация

¹A.Y.Garbuz@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1503-7300>

²tuba4eks@gmail.com

Аннотация. Цель: сбор, обработка и анализ зарубежного и отечественного опыта в области создания берегозащитных сооружений на объектах мелиоративного назначения, применяемых для целей берегоукрепления и берегозащиты. **Обсуждение.** Определено понятие «руслозащитное сооружение», которое направлено на защиту дна, откосов, берм и других элементов каналов от воздействия вод или протекающего водного потока, наносов и влекаемых предметов. Данные сооружения имеют ограничения по их применению, а именно: они подвержены водному потоку и волновым явлениям (надводные их части – откосы, берма и бровка канала). Данный факт предполагает снижение прочностных характеристик материалов, используемых при их строительстве. На основании выполненного анализа разработана обобщенная классификация берегозащитных гидротехнических сооружений, которая включает в себя активные и пассивные сооружения для защиты грунтовых откосов каналов от воздействия протекающего водного потока. **Выводы.** Выполнен анализ зарубежного и отечественного опыта, который указывает, что устройство берегозащитных мероприятий возможно при различной оценке всех необходимых факторов, а также в различных конструктивно-технических решениях. В свою очередь для обеспечения наибольшей их эффективности необходимо учитывать, как природные условия территории, на которой они будут расположены, так и их устройство с учетом современных технологических решений. При анализе конструктивных решений выявлено, что берегозащитные сооружения в большей степени применяются на крупных гидротехнических объектах, морских и портовых сооружениях ввиду негативного воздействия волн и водного потока на прибрежные территории и грунтовые откосы, что приводит к их деформациям и абразивным процессам.

Ключевые слова: деформации русел, гидротехническое сооружение, размыв, берегозащитные устройства, водопроводящая сеть, канал

Апробация результатов исследования: основные положения статьи доложены на Международной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов «Актуальные научные исследования в области мелиорации и гидротехники» (г. Новочеркасск, 30 мая 2025 г.).

Для цитирования: Гарбуз А. Ю., Рыбалко Д. С. Обзор исследований берегозащитных устройств на гидротехнических сооружениях мелиоративного назначения // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. 2025. Т. 96, № 2. С. 15–34.

CURRENT SCIENTIFIC RESEARCH IN THE FIELD OF LAND RECLAMATION AND HYDRAULIC ENGINEERING

Review article

Research review of coastal protection works at reclamation hydraulic structures

Alexander Yu. Garbuz¹, Dmitry S. Rybalko²

^{1, 2}Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk,
Russian Federation

¹A.Y.Garbuz@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1503-7300>

²ruba4eks@gmail.com

Abstract. Purpose: collection, processing and analysis of foreign and domestic experience in the field of coastal protection structures at reclamation facilities used for the purposes of coast stabilization and protection. **Discussion.** The concept of “channel protection structure” aimed at protecting the bed, slopes, berms and other channel elements from the impact of water or influent water flow, sediments and transported objects is defined. These structures have limitations on their use, namely: they are exposed to water flow and wave phenomena (their above-water parts – slopes, berm and canal edge). This fact implies a decrease in the strength characteristics of the materials used in their construction. Based on the performed analysis, a generalized classification of coastal protection hydraulic structures which includes active and passive structures for protecting earth canal slopes from the impact of influent water flow has been developed. **Conclusions.** The analysis of foreign and domestic experience, which indicates that the arrangement of coastal protection measures is possible with diverse assessments of all necessary factors, as well as in various design and technical solutions has been performed. In turn, to ensure their greatest efficiency, it is necessary to take into account both the natural conditions of the territory on which they will be located, and their arrangement taking into account modern technological solutions. When analyzing design solutions, it was revealed that coastal protection works are used to a greater extent at large hydraulic structures, marine and port facilities due to the negative impact of waves and water flow on coastal areas and earth slopes, which leads to their deformations and abrasive processes.

Keywords: bed deformations, hydraulic structures, erosion, coastal protection works, water supply network, canal

Evaluation of the research results: the fundamental principles of the article were reported at the International Scientific and Practical Conference of Young Scientists and Specialists “Current Scientific Research in the Field of Land Reclamation and Hydraulic Engineering” (Novocherkassk, May 30, 2025).

For citation: Garbuz A. Yu., Rybalko D. S. Research review of coastal protection works at reclamation hydraulic structures. *Ways of Increasing the Efficiency of Irrigated Agriculture*. 2025;96(2):15–34. (In Russ.).

Введение. Согласно Государственной программе эффективного вовлечения в оборот земель сельскохозяйственного назначения и развития мелиоративного комплекса Российской Федерации, утвержденной постановлением Правительства РФ от 14 мая 2021 г. № 721 в долгосрочной пер-

спективе на 2022–2031 гг.¹, одной из ключевых задач эффективного управления водными ресурсами и защиты земель от неблагоприятного водного воздействия является применение берегозащитных сооружений. Ввиду того, что значительная часть мелиоративных объектов выполнены в земляном русле, они подвержены деформациям (размыву, обрушению дамб и откосов под воздействием течения). Вследствие этого возникает необходимость в обеспечении экологической безопасности мелиоративных объектов.

В связи с этим существует необходимость повышения уровня безопасности гидротехнических сооружений и устройств мелиоративного назначения, предназначенных для подачи водных ресурсов от водоисточника до водопотребителя. Наибольшему разрушающему воздействию подвержены водопроводящие гидротехнические сооружения, транспортирующие водные ресурсы посредством открытых мелиоративных каналов различного назначения и конструктивного исполнения. С целью исключения негативного воздействия вод на гидротехнические сооружения и устройства, обеспечивающие их функционирование, снижения вероятности возникновения аварийных ситуаций, связанных с грунтовыми деформациями русел и бортов каналов, а также для повышения уровня безопасности мелиоративных объектов требуется разработка и усовершенствование конструктивно-технических решений берегозащитных сооружений и методик их гидравлического расчета.

На основании вышеуказанного целью исследования являлась обработка и анализ данных в области создания берегозащитных сооружений на объектах мелиоративного назначения.

Обсуждение. Под «руслозащитным сооружением» следует понимать гидротехническое сооружение, предназначенное для защиты дна, откосов, берм и других элементов каналов от воздействия вод или протекающего

¹Государственная программа эффективного вовлечения в оборот земель сельскохозяйственного назначения и развития мелиоративного комплекса Российской Федерации [Электронный ресурс]: Постановление Правительства РФ от 14.05.2021 № 731. Доступ из справ. правовой системы «Гарант».

водного потока, наносов и влекомых предметов, а также от грунтовых и других деформаций, возникающих в результате воздействия на элементы гидросооружений. Руслозащитное сооружение имеет некоторые ограничения в применении ввиду предполагаемой защиты самих русел мелиоративных каналов, в то время как грунтовыми деформациям, как правило, подвержены надводные их части (сами откосы, берма и бровка канала), грунтовые дамбы и другие элементы вследствие протекания водного потока и образования волновых явлений.

Повышенные скорости течения на мелиоративных каналах приводят к довольно быстрому снижению прочностных характеристик материалов, используемых при строительстве русел каналов. Происходят процессы, связанные с деформацией грунта (увеличивается поровое давление, вымыв и последующий вынос частиц грунта водным потоком, которые в последующем оседают в виде наносов на дне канала и на его поворотных участках).

Согласно требований СП 277.325800.2016², все берегозащитные сооружения необходимо условно подразделять на два основных типа:

- пассивные, которые воспринимают на себя воздействие волн;
- активные, которые сохраняют сооружения либо снижают энергию (высоту, период) водного потока или волн.

На небольших водотоках (реках, водоемах, водохранилищах, каналах), как правило, применяются пассивные берегозащитные сооружения, поэтому в рамках настоящего исследования будут рассмотрены конструктивно-технические и другие компоновочные решения применительно к пассивным откосным берегозащитным гидротехническим сооружениям.

Выполненный анализ литературных источников позволил разработать обобщенную классификацию берегозащитных гидротехнических сооружений (рисунок 1).

²Сооружения морские берегозащитные. Правила проектирования: СП 277.1325800.2016 [Электронный ресурс]: утв. М-вом стр-ва и жилищ.-коммун. хоз-ва РФ 16.12.16; введ. в действие с 17.06.17. Доступ из ИС «Техэксперт: 6 поколение» Интранет.

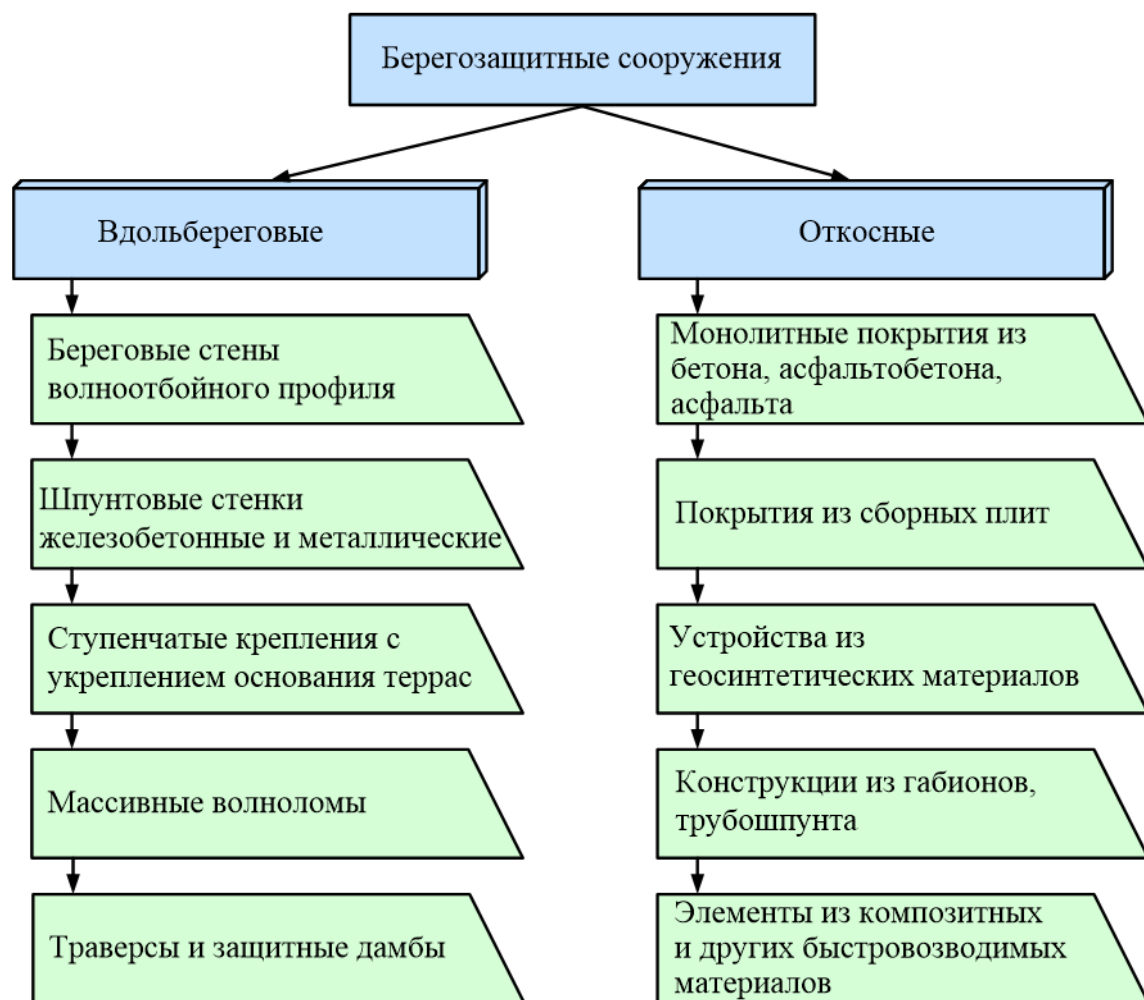


Рисунок 1 – Классификация берегозащитных сооружений по условиям применения
Figure 1 – Classification of coastal protection structures under the terms

К активным берегозащитным сооружениям относят³ [1, 2]:

- струенаправляющие устройства: полузапруды (короткие дамбы, направляющие поток воды и уменьшающие его воздействие на береговые зоны); щиты (конструкции, устраиваемые поперек или под углом к течению для регулирования потока); дамбы (длинные насыпи, ограждающие береговую территорию и предотвращающие размывы);
- ограждающие валы: земляные сооружения, защищающие берега от воздействия волн и течений;
- траверсы: короткие поперечные дамбы, изменяющие направление водного потока и уменьшающие его скорость;
- донные пороги: конструкции, устраиваемые в донной части русла для регулирования скорости и направления течения;
- ледозащитные сооружения, ледозадерживающие (задерживающие лед и препятствующие его перемещению);
- шугосбросы: сооружения для удаления шуги (рыхлого льда) из водоемов, предотвращающие заторы и размывы.

К пассивным сооружениям относятся [1, 2]:

- подпорные стенки: бетонные или каменные, стабилизирующие и удерживающие берега от обрушения;
- гравийные и каменные наброски: слои каменного материала различной фракции, уложенные для укрепления берегов;
- габионные конструкции: металлические сетки, заполненные камнем, обеспечивающие гибкость и устойчивость к неравномерным осадкам грунта;
- асфальтовые и бетонные покрытия: создающие защитный барьер и укрепляющие берега;

³Инженерная защита территории от затопления и подтопления. Актуализированная редакция СНиП 2.06.15-85: СП 104.13330.2016 [Электронный ресурс]: утв. М-вом стр-ва и жилищ.-комму. хоз-ва РФ 16.12.16: введ. в действие с 17.06.17. Доступ из ИС «Техэксперт: 6 поколение» Интранет.

- геосинтетические материалы: георешетки, маты, устраиваемые на откосах сооружений для их укрепления и предотвращения эрозии;

- биологические: высадка растений, посев трав, одерновка, применяемые на надводных откосах, укрепляющие их от размыва атмосферными осадками и ветровой эрозии.

В практике гидромелиоративного строительства наибольшее применение находят откосные берегозащитные сооружения, выполняемые из традиционных материалов, как правило, для защиты грунтовых откосов каналов от воздействия протекающего водного потока. К таковым решениям можно отнести применение каменных материалов (различной фракции); монолитных покрытий из бетона, асфальтобетона; сборных монолитных плит; геосинтетических материалов (георешеток, геосеток, геопалимерных материалов); комбинированных конструкций на основе габионов и других.

Необходимость в комплексной защите русел каналов обусловлена постоянным воздействием различных процессов и явлений, которые могут привести к снижению их эксплуатируемых характеристик и эффективности мелиоративных систем в целом. В связи с этим при разработке проектов берегоукрепления каналов в настоящее время используются документы, предназначенные для других типов водных объектов (рек, водохранилищ, морских побережий):

- ГОСТ Р 59241-2020⁴. Берегозащитные сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния. Распространяется на обследование и мониторинг технического состояния берегозащитных сооружений и устанавливает требования к производству ряда работ;

- СП 116.13330.2012⁵. Инженерная защита территорий, зданий и со-

⁴ГОСТ Р 59241-2020. Берегозащитные сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния. Введ. 2021-01-01. М.: Стандартинформ, 2020. 28 с.

⁵Инженерная защита территорий, зданий и сооружений от опасных геологических процессов. Основные положения: СП 116.13330.2012 [Электронный ресурс]: утв. Минрегион России 30.06.12: введ. в действие с 01.01.13. Доступ из ИС «Техэксперт: 6 поколение» Интранет.

оружений от опасных геологических процессов. Основные положения. Распространяется на сооружения и мероприятия инженерной защиты территорий, зданий и сооружений от опасных геологических процессов (оползней, обвалов, карста, селевых потоков, переработки берегов морей, водохранилищ, озер и рек, от подтопления и затопления территорий, морозного пучения, наледеобразования) и их сочетаний;

- СП 277.1325800.2016⁶. Сооружения морские берегозащитные. Правила проектирования. Распространяется на проектирование морских берегозащитных сооружений на открытых побережьях внутренних бесприливных морей, и может быть применен при проектировании берегозащитных сооружений на берегах водоемов (озер и водохранилищ);

- СП 416.1325800.2018⁷. Инженерная защита берегов приливных морей. Правила проектирования. Распространяется на проектирование сооружений инженерной защиты берегов приливных морей, содержит требования к учету различных факторов при проектировании.

Также выполнен краткий анализ нормативных документов на конкретные элементы берегозащитных сооружений, а именно:

- ГОСТ 33069-2014⁸. Материалы геосинтетические для защиты от эрозии (береговая защита). Общие технические требования;

- ГОСТ 20425-2016⁹. Тетраподы для берегозащитных и ограждающих сооружений;

⁶Сооружения морские берегозащитные. Правила проектирования: СП 277.1325800.2016 [Электронный ресурс]: утв. М-вом стр-ва и жилищ.-комму. хоз-ва РФ 16.12.16; введ. в действие с 17.06.17. Доступ из ИС «Техэксперт: 6 поколение» Интранет.

⁷Инженерная защита берегов приливных морей. Правила проектирования: СП 416.1325800.2018 [Электронный ресурс]: утв. М-вом стр-ва и жилищ.-комму. хоз-ва РФ 30.11.18; введ. в действие с 31.05.19. Доступ из ИС «Техэксперт: 6 поколение» Интранет.

⁸ГОСТ 33069-2014. Материалы геосинтетические для защиты от эрозии (береговая защита). Введ. 2015-07-01. М.: Стандартинформ, 2015. 30 с.

⁹ГОСТ 20425-2016. Тетраподы для берегозащитных и ограждающих сооружений. Введ. 2017-05-01. М.: Стандартинформ, 2019. 6 с.

- ГОСТ Р 58411-2019¹⁰. Плиты бетонные гибкие. Технические условия;
- ГОСТ Р 59657-2021¹¹. Гексабиты для берегозащитных и огражда-
тельных сооружений. Технические условия;
- ГОСТ Р 70021-2022¹². Камень природный для морских берегоза-
щитных и ограждающих сооружений. Технические условия.

В зарубежной практике используются нормативные документы, основанные на адаптации общих норм берегозащиты рек, водохранилищ и преимущественно морских территорий, применении локальных технических регламентов, разработке индивидуальных технических условий, использовании опыта аналогичных проектов. Проанализированы следующие документы:

- ЕМ 1110-2-1204¹³. Environmental engineering for coastal shore protection (Экологическая инженерия для защиты прибрежных зон);
- ЕМ 1110-2-1617¹⁴. Coastal Groins and Nearshore Breakwaters (Прибрежные выступы и прибрежные волноломы);
- ЕМ 1110-2-1614¹⁵. Design of Coastal Revetments, Seawalls, and Bulkheads (Проектирование берегозащитных сооружений, волноломов и переборок);

¹⁰ГОСТ Р 58411-2019. Плиты бетонные гибкие. Технические условия. Введ. 2020-01-01. М.: Стандартинформ, 2019. 7 с.

¹¹ГОСТ Р 59657-2021. Гексабиты для берегозащитных и ограждающих сооружений. Технические условия. Введ. 2021-09-01. М.: Рос. ин-т стандартизации, 2021. 7 с.

¹²ГОСТ Р 70021-2022. Камень природный для морских берегозащитных и ограждающих сооружений. Введ. 2022-09-01. М.: Рос. ин-т стандартизации, 2022. 9 с.

¹³Environmental Engineering for Coastal Protection. Engineer manual: EM 1110-2-1204 / Department of the Army U. S. Army Corps of Engineers, Washington, DC 20314-1000. 10 July 1989. 192 p.

¹⁴Coastal Groins and Nearshore Breakwaters. Engineer manual: EM 1110-2-1617 / Department of the Army U. S. Army Corps of Engineers, Washington, DC 20314-1000. 20 Aug. 1992. 91 p.

¹⁵Design of Coastal Revetments, Seawalls, and Bulkheads. Engineer manual: EM 1110-2-1614 / Department of the Army U. S. Army Corps of Engineers, Washington, DC 20314-1000. 30 June 1995. 110 p.

- EM 1110-2-1100¹⁶. Coastal engineering manual. Part VI: Design of coastal project elements (Руководство по прибрежным инженерным работам. Часть VI: Проектирование прибрежных элементов);

- BS 6349-1:2021¹⁷. Waterfront facilities inspection and assessment. Waterfront facility inspection committee (Инспекция и оценка прибрежных сооружений: Комитет по инспекции прибрежных сооружений).

Анализ нормативно-правовой и методической базы показал, что за рубежом действуют обобщенные нормы создания берегозащитных устройств абсолютно для всех типов гидротехнических сооружений. Существующие Российские нормативно-правовые документы содержат лишь фрагментарные положения, касающиеся отдельных аспектов защиты каналов, не охватывая комплексно все необходимые требования к проектированию, строительству и эксплуатации берегозащитных сооружений данного типа. В связи с этим существует объективная потребность в разработке специализированного документа, который бы учитывал все особенности проектирования, строительства и эксплуатации берегозащитных сооружений на мелиоративных каналах, включая требования к конструкции, материалам, эксплуатации и мониторингу технического состояния.

Для создания эффективных конструкций берегозащитных сооружений используются разнообразные материалы и технологии¹⁸, обладающие индивидуальными характеристиками и условиями применения. Особенности, преимущества и недостатки, а также примеры использования материалов в различных условиях представлены в таблице 1 [1, 2].

¹⁶Coastal engineering manual. Part VI: Design of coastal project elements: EM 1110-2-1100 / Department of the Army U. S. Army Corps of Engineers, Washington, DC. U. S. Government Publishing Office, 2020. 772 p.

¹⁷Maritime works – General code of practice for materials: BS 6349-1:2021 + A1:2025. London: BSI Standards Publication, 2025. 90 p.

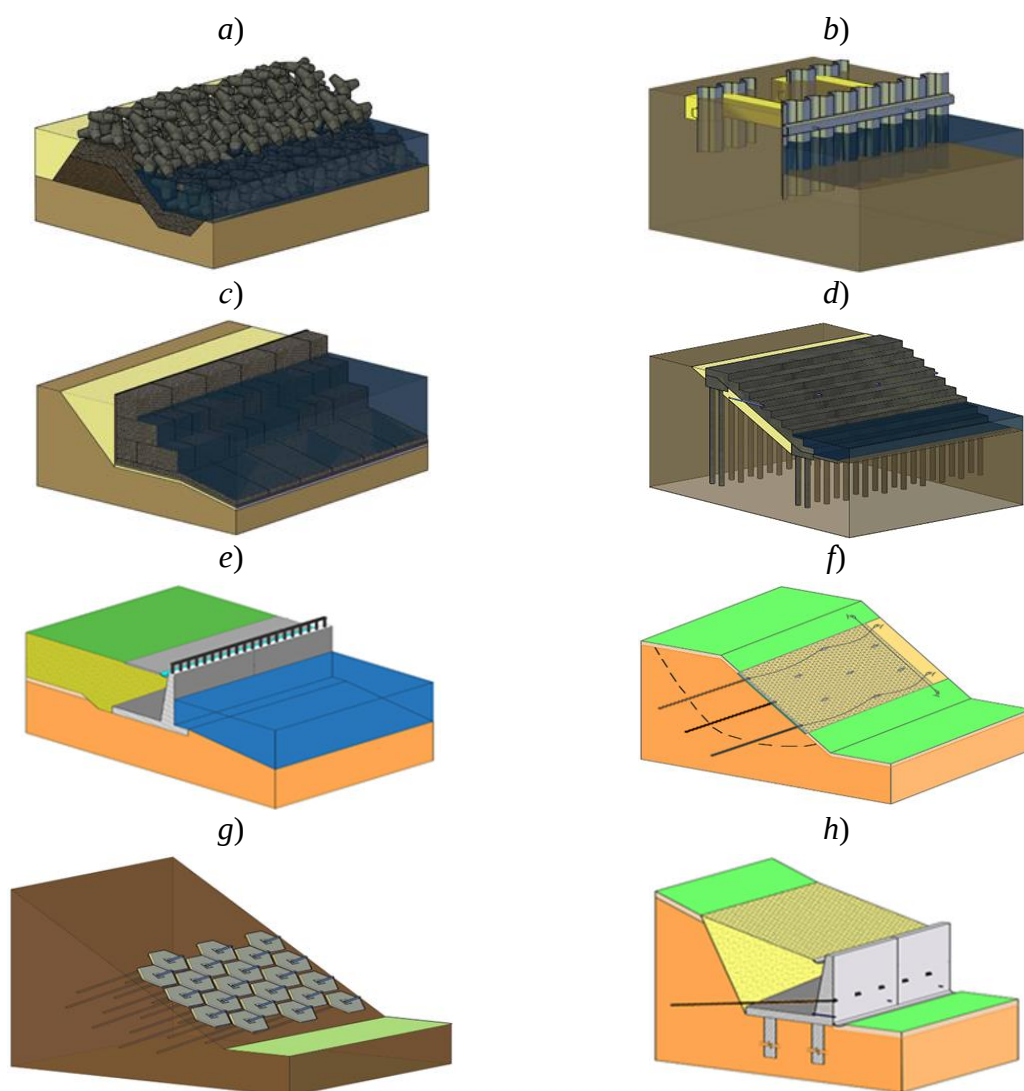
¹⁸Седрисев Д. Н., Рубинская А. В. Основы проектирования гидротехнических сооружений, лесных бирж и рейдов приплава: учеб. пособие // Красноярск: СибГУ им. акад. М. Ф. Решетнева, 2011. 119 с.

Таблица 1 – Особенности применения различных берегозащитных мероприятий [3, 4]

Table 1 – Application features of various coast protection measures [3, 4]

Мероприятие	Материал	Технология	Область применения	Преимущество	Недостаток
Устройство бетонного или железобетонного покрытия	Бетон, арматура	Монолитные конструкции, сборные элементы	Подпорные стенки, набережные, волноломы	Высокая прочность, устойчивость к агрессивным воздействиям воды	Высокая стоимость, необходимость регулярного обслуживания и ремонта деформационных и температурных швов
Устройство каменной наброски	Природный камень (гранит, базальт и др.)	Укладка камня слоями с устройством обратного фильтра	Крепление надводных и подводных откосов, создание защитных покрытий	Экологичность, долговечность, устойчивость к волновым воздействиям	Трудоемкость укладки, при укреплении откосов неоднородным каменным материалом возможны деформации наброски водным потоком
Устройство гравийной или щебенчатой отсыпки	Гравий, щебень	Отсыпка слоев на защищаемый откос	Защита откосов от эрозии, создание искусственных сооружений	Относительно низкая стоимость, простота укладки	Меньшая долговечность в сравнении с бетоном, необходимость регулярной подсыпки
Устройство габионов	Металлическая сетка, заполненная камнем	Укладка габионов с бермы канала	Защита от размыва, гашение избыточной энергии, укрепление откосов	Гибкость, устойчивость конструкции	При подвижных грунтах возможно обрушение, смещение габионной конструкции, большой вес
Устройство геосинтетических покрытий	Георешетки, геосетки, заполненные камнем	Укладка геосинтетиков на защищаемый откос	Укрепление гидротехнических сооружений, создание искусственных насыпей	Простота укладки, долговечность	Высокая стоимость некоторых видов материалов, отсутствие единой нормативной документации
Устройство быстровозводимых защитных покрытий	Бетонное полотно, композитные и тканые материалы	Укладка рулонного материала на поверхность	Защита откосов водотоков от воздействия вод; полное или частичное восстановление существующих защитных устройств из бетона (плит и др.)	Высокая скорость монтажа; возможность укрепления как пологих, так и крутых откосов; прочность, водонепроницаемость; долговечность	Высокая стоимость; сложность ремонта отдельных участков; возможность повреждения при замерзании воды; малый опыт применения на мелиоративных системах

Берегозащитные мероприятия включают различные технические и технологические решения, предназначенные для снижения или полного исключения негативного воздействия протекающего водного потока на гидротехнические сооружения и устройства. На рисунке 2 рассмотрены типовые решения берегоукрепительных устройств и берегозащитных мероприятий [3].



a – гибкое защитное сооружение из гексабитов; *b* – шпунтовое ограждение;
c – габионные конструкции; *d* – жесткое ступенчатое защитное сооружение;
e – монолитная подпорная стена; *f* – нагельное крепление; *g* – анкерное
 крепление с пригрузочными плитами; *h* – свайная подпорная стена
a – flexible protective hexabite structure; *b* – sheet pile; *c* – gabion structures;
d – rigid stepped protective structure; *e* – monolithic retaining wall;
f – dowel fastening; *g* – anchorage with ballast slabs; *h* – pile retaining wall

Рисунок 2 – Типовые конструктивные решения берегоукрепительных гидротехнических сооружений (автор фото Геоизол Проект [3])
Figure 2 – Typical design solutions for bank protection hydraulic structures (photo by Geoizol Project [3])

Проницаемые волногасящие сооружения (рисунок 2а) – конструкции, которые формируются из естественных (каменная наброска) или искусственных материалов (тетраподы, гексабиты). Они укладываются на подготовленную поверхность откоса согласно проекту. Эти сооружения уменьшают воздействие водотока и могут использоваться самостоятельно или в сочетании с другими инженерными защитными средствами [3, 4].

Шпунтовые ограждения (рисунок 2б) – сооружения в виде стенок, образованные сваями, шпунтом Ларсена, двутавровыми балками или трубами. Они устанавливаются по периметру котлована и удерживают грунт от обрушения, а также не позволяют воде его подмыть. Ограждения необходимы для соблюдения требований техники безопасности и предотвращения оползней и осыпания грунта. Также используются стальные балки и сваи, они хорошо выполняют свои функции и легко демонтируются, что позволяет существенно экономить финансовые средства. Шпунтовые стенки создаются разными способами в зависимости от габаритов и условий эксплуатации сооружения, а также характеристик грунта [3, 4].

Габионные конструкции (рисунок 2с) используются для формирования береговой линии искусственных водотоков, а также для защиты берегов и откосов естественных водотоков и водоемов [3, 4].

Жесткие волногасящие сооружения (рисунок 2д) – конструкции, выполненные из монолитного или сборного железобетона, расположены на свайном или естественном основании, выполняют гашение энергии и предотвращают размыв грунта [3, 4].

Волногасящие стены (рисунок 2е) предназначены для снижения высоты волн, а также дополнительной энергии на открытых водоемах. Используют волногасящие камеры, волноотбойные сооружения, волноломы, буны [3, 5].

К типовым решениям, предназначенным для обеспечения устойчивости откосов и противоэрозионной защиты водных объектов, относятся: нагельное крепление склонов (рисунок 2ф); анкерное крепление пригрузочными плитами (рисунок 2г); свайные подпорные стены (рисунок 2h) [3].

Правильный выбор подходящих материалов и технологий является основополагающим фактором для обеспечения долговечности, надежности и устойчивости берегозащитных конструкций мелиоративных каналов [6].

Мировой опыт показывает, что решение проблемы берегозащиты требует комплексного подхода, включающего как инженерные методы защиты, так и природоохранные мероприятия. В зарубежных странах применяются различные технологии: от строительства многорядных сооружений и искусственных островов до защитных дюн и зеленых насаждений непосредственно вдоль естественных и искусственных водотоков. Опыт проведения берегозащитных мероприятий как в России, так и за рубежом показывает, что эффективность таких работ в значительной степени зависит от правильного выбора методов и технологий, а также от учета природных условий. Все более часто применяется комплексный подход, включающий как активные, так и пассивные методы берегозащиты. Это позволяет учитывать все аспекты воздействия водных масс и выбирать наиболее подходящие технологии для каждого конкретного случая [7–19].

Применяемые в настоящее время на грунтовых мелиоративных каналах берегозащитные покрытия представлены, в основном, в виде бетонных и железобетонных плит, монолитного бетона, которые в свою очередь характеризуются комплексом недостатков: ограниченным сроком службы, быстрым разрушением от воздействия перепадов температуры и др., сложностью производства работ при их создании и ремонте, повышенной стоимостью за счет доставки, укладки, большого веса, оползанием в процессе эксплуатации и деформацией подстилающего основания.

Натурные обследования бетонных защитных покрытий, выполненные ранее на мелиоративных каналах, показали, что практически на всех откосных креплениях наблюдается вымыв грунта из подплитного пространства, его деформация, что приводит к провисанию плит и последующему разрушению руслозащитного сооружения. Бетонные плиты по сути выполняют

лишь роль защиты грунтовых откосов от воздействий волн, образуемых течением воды, и предотвращают образование проранов в теле грунтовых дамб магистральных и оросительных каналов.

Отсутствие узкоспециализированной нормативной документации создает существенные трудности при проектировании, строительстве и эксплуатации берегозащитных сооружений на мелиоративных каналах. Это связано также с тем, что нормативами не регламентируется методика расчета наиболее оптимальных фракций каменного материала, используемого для крепления грунтовых откосов сооружений гидромелиоративного назначения, в частности каналов. В части применения новых строительных материалов (геосеток, георешеток, быстровозводимых покрытий на основе бетона и других материалов, трубошпунта) отсутствует положительный накопленный опыт применения таких материалов на мелиоративных каналах, а также варианты защитных конструкций с учетом различных гидравлических и геометрических параметров сечений каналов.

Кроме этого, в настоящее время в нашей стране не проводилось должного научно-технического обоснования и не разрабатывались конструктивно-технические решения берегозащитных и руслозащитных сооружений применительно к условиям периодического функционирования каналов гидромелиоративных систем.

Необходимо также отметить, что в последние годы наблюдается производство и масштабное применение новых, «облегченных» и быстровозводимых строительных материалов, которые по своим физико-механическим показателям превосходят традиционные покрытия из бетона, стали, камня и др.

Не привлекли пока должного внимания и более масштабного применения на мелиоративных каналах берегозащитные конструкции из габионов, ввиду необходимости разработки конструктивно-технических решений, позволяющих их применять на крутых грунтовых откосах каналов и эффективно обслуживать (очищать от водной растительности, наносов). Берегозащитные

устройства на каналах из каменного материала различной фракции требуют проведения экспериментальных исследований, разработки методики расчета гидравлической шероховатости, устойчивости на откосах и выбора оптимального диаметра камня в зависимости от гидравлических и геометрических параметров каналов.

Берегозащитные покрытия из быстровозводимых материалов на основе бетона до настоящего времени не применялись на мелиоративных каналах, ввиду отсутствия как нормативной базы по их применению, так и конструкций, позволяющих эффективно их эксплуатировать и обслуживать.

Все это также приводит к невозможности применения существующих нормативно-методических документов в области берегозащиты, риску принятия неэффективных технических решений, сложностям при проведении реконструкции существующих объектов, затруднениям в обеспечении должной безопасности мелиоративных гидротехнических сооружений.

Выводы.

1 Анализ зарубежного и отечественного опыта показал, что успешная реализация берегозащитных мероприятий возможна при всесторонней оценке всех определяющих факторов и разработке комплексных технических решений. Такой подход на мелиоративных каналах должен включать оценку гидравлических условий их эксплуатации (скорости течения, расхода, глубины), особенности рельефа местности, климатических факторов и эксплуатационных требований к конструкции. При этом важно не только учитывать природные условия территории, но и использовать современные технологические решения, что позволит обеспечить максимальную эффективность берегозащитных сооружений.

2 Анализ известных конструктивных решений показывает, что берегозащитные сооружения применяются в строительной практике, в основном, на крупных гидротехнических объектах, морских и портовых сооружениях ввиду негативного воздействия волн и водного потока на прибрежные терри-

тории и грунтовые откосы, что приводит к их деформациям и абразивным процессам.

3 Перспективы развития берегозащитных мероприятий на гидромелиоративных объектах заключаются в дальнейшем совершенствовании конструктивно-технических и компоновочных решений с учетом применения новых строительных материалов (таких, как георешетка, матрацно-тюфячные габионы, гибкие бетононаполняемые защитные покрытия), учитывающих природно-климатические факторы и способы эффективно функционировать в условиях увеличивающейся антропогенной нагрузки.

Список источников

1. Левкевич В. Е. Крепление берегов и верховых откосов подпорных сооружений гидроузлов Беларуси: монография. Минск: БНТУ, 2019. 172 с. EDN: IJOGQO.
2. Селезнева Н. В., Колосов М. А., Боровков С. В. Инженерная защита берегов и населенных пунктов от негативного воздействия вод // Гидротехника. 2020. № 3(60). С. 63–67. EDN: RBOANV.
3. Укрепление берегов. ГЕОИЗОЛ ПРОЕКТ [Электронный ресурс]. URL: <https://geoizol-project.ru/proektirovanie-i-izyskanija/inzhenernaja-zashhita-territorij/ukreplenie-be-regov/> (дата обращения: 06.03.2025).
4. Шахин В. М. Искусственные проницаемые рифы – новый тип берегозащитных сооружений // Строительство и техногенная безопасность. 2019. № 17(69). С. 155–158. EDN: QXPMPO.
5. Ветрова Н. М., Меннанов Э. Э. Практика применения берегозащитных сооружений в приморских районах // Экономика строительства и природопользования. 2017. № 3(64). С. 16–21. EDN: TSSOOI.
6. Виноградова Л. И., Иванова О. И. Способы применения берегозащитных конструкций в гидротехническом и гидромелиоративном строительстве // International Agricultural Journal. 2020. Т. 63, № 6. С. 10–16. DOI: 10.24411/2588-0209-2020-10227. EDN: DYEJHS.
7. Новиков В. Ю. Берегоукрепление. Набережные. Комфорт жизненной среды. Рыбинск: Изд-во «РДП», 2024. 87 с.
8. Ветрова Н. М., Иваненко Т. А. О подходах к исследованию экологических проблем прибрежных территорий // Строительство и техногенная безопасность. 2016. № 5(57). С. 104–112. EDN: YPBKKT.
9. Прокопов А. Ю., Адоньев Н. А. Обзор зарубежного опыта инженерной защиты морских берегов и склонов // Современные тенденции в строительстве, градостроительстве и планировке территорий. 2024. Т. 3(1). С. 27–47. EDN: ZBEPOK.
10. Шубин М. А., Юшин О. В. Последствия нарушений технологических процессов при строительстве берегоукрепительных сооружений // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2017. № 47(66). С. 102–110. EDN: YLFUQN.
11. Курбанов С. О., Волосухин В. А., Дударова Ф. Т. Основы экологического мониторинга прибрежных урбанизированных зон малых рек // Вестник Донского государственного аграрного университета. 2015. № 2–2(16). С. 103–112. EDN: UYYTAR.
12. Современные способы берегоукрепления / А. Е. Муслимова, О. М. Преснов,

В. В. Достовалов, А. Г. Торгачкина // Перспективы науки. 2023. № 1(160). С. 92–95. EDN: FMSYLH.

13. Капелькина Л., Мязин В. Биологические методы закрепления откосов, подверженных водной эрозии в Западной Сибири // Экология и промышленность России. 2020. Т. 24(8). С. 40–45. DOI: 10.18412/1816-0395-2020-8-40-45. EDN: WOEIEB.

14. Баранов Е. В., Гурьев А. П., Ханов Н. В. Применение объемных полимерных георешеток в укреплении откосов подпорных грунтовых гидротехнических сооружений // Природообустройство. 2015. № 2. С. 45–48. EDN: UFEXGB.

15. Кисляков А. А., Кисляков М. А., Симаков Н. К. Опыт применения геосеток при реконструкции набережной Ижевского водохранилища // Социально-экономическое управление: теория и практика. 2019. № 2(37). С. 131–134. EDN: FEVLRJ.

16. Косиченко Ю. М., Баев О. А. Высоконадежные конструкции противоточных покрытий каналов и водоемов, критерии их эффективности и надежности // Гидротехническое строительство. 2014. № 8. С. 18–25. EDN: SJTWGP.

17. Анохин А. М., Гарбуз А. Ю. Комплекс конструкций и сооружений для защиты берегов рек и каналов от эрозии // Мелиорация и гидротехника. 2023. Т. 13, № 2. С. 318–333. <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2023-13-2-318-333>. EDN: NVGMWG.

18. Маций В. С., Кузнецов Е. В., Маций С. И. Анализ и синтез нормативной документации в отрасли изысканий и проектирования инженерной защиты мелиоративных объектов // Мелиорация. 2024. № 3(109). С. 12–24. EDN: LSIDHS.

19. Соколова С. А., Бакштанин А. М., Беглярова Э. С. Изучение русловых процессов и плановых деформаций русел // Природообустройство. 2022. № 4. С. 118–123. EDN: TORIZW.

References

1. Levkevich V.E., 2019. *Kreplenie beregov i verkhovykh otkosov podpornykh sooruzheniy gidrouzlov Belarusi* [Bank and Upstream Slope Stabilization of Retaining Structures of Waterworks in Belarus]. Minsk, BNTU, 172 p., EDN: IJOGQO. (In Russian).

2. Selezneva N.V., Kolosov M.A., Borovkov S.V., 2020. *Inzhenernaya zashchita beregov i naselennykh punktov ot negativnogo vozdeystviya vod* [Engineering protection of banks and settlements from negative impact of flooding]. *Gidrotehnika* [Hydraulic Engineering], no. 3(60), pp. 63-67, EDN: RBOANV. (In Russian).

3. *Ukreplenie beregov. GEOIZOL PROYEKT* [Bank Strengthening. GEOIZOL PROJECT]. accessed: <https://geoizolproject.ru/proektirovanie-i-izyskaniya/inzhenernaya-zashchita-territoriy/ukreplenie-beregov/> [accessed 06.03.2025]. (In Russian).

4. Shakhin V.M., 2019. *Iskusstvennye pronitsaemye rify – novyy tip beregozashchitnykh sooruzheniy* [Artificial permeable reef – a new type of waterproof structures]. *Stroitel'stvo i tekhnogennaya bezopasnost'* [Construction and Industrial Safety], no. 17(69), pp. 155-158, EDN: QXPMPO. (In Russian).

5. Vetrova N.M., Mennanov E.E., 2017. *Praktika primeneniya beregozashchitnykh sooruzheniy v primorskikh rayonakh* [Practice of application of belt-protective structures in coastal areas]. *Ekonomika stroitel'stva i prirodopol'zovaniya* [Economics of Construction and Environmental Management], no. 3(64), pp. 16-21, EDN: TSSOOI. (In Russian).

6. Vinogradova L.I., Ivanova O.I., 2020. *Sposoby primeneniya beregozashchitnykh konstruktсий v gidrotekhnicheskom i gidromeliorativnom stroitel'stve* [Methods of application of coastal protection structures in hydraulic engineering and hydro-reclamation construction]. *International Agricultural Journal*, vol. 63, no. 6, pp. 10-16, DOI: 10.24411/2588-0209-2020-10227, EDN: DYEJHS. (In Russian).

7. Novikov V.Yu., 2024. *Beregoukreplenie. Naberezhnye. Komfort zhiznennoy sredy* [Coastal Protection. Embankments. Comfort of the Living Environment]. Rybinsk, RDP Publ., 87 p. (In Russian).

8. Vetrova N.M., Ivanenko T.A., 2016. *O podkhodakh k issledovaniyu ekologicheskikh problem pribrezhnykh territoriy* [On approaches to the study of environmental problems of coastal territories]. *Stroitel'stvo i tekhnogennaya bezopasnost'* [Construction and Industrial Safety], no. 5(57), pp. 104-112, EDN: YPBKKT. (In Russian).
9. Prokopov A.Yu., Adonyev N.A., 2024. *Obzor zarubezhnogo opyta inzhenernoy zashchity morskikh beregov i sklonov* [Foreign Experience Review on Engineering Protection of Seashores and Hillslopes]. *Sovremennye tendentsii v stroitel'stve, gradostroitel'stve i planirovke territoriy* [Modern Trends in Construction, Urban and Territorial Planning], vol. 3(1), pp. 27-47, EDN: ZBEPOK. (In Russian).
10. Shubin M.A., Yushin O.V., 2017. *Posledstviya narusheniy tekhnologicheskikh protsessov pri stroitel'stve beregoukrepitel'nykh sooruzheniy* [The consequences of disruption of technological processes when building coast protection structures]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arkhitektura* [Bullet. of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Construction and Architecture], no. 47(66), pp. 102-110, EDN: YLFUQN. (In Russian).
11. Kurbanov S.O., Volosukhin V.A., Dudarova F.T., 2015. *Osnovy ekologicheskogo monitoringa pribrezhnykh urbanizirovannykh zon malyykh rek* [Basis of environmental monitoring urban coastal areas of small rivers]. *Vestnik Donskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Bullet. of Don State Agrarian University], no. 2-2(16), pp. 103-112, EDN: UYYTAR. (In Russian).
12. Muslimova A.E., Presnov O.M., Dostovalov V.V., Torgachkina A.G., 2023. *Sovremennye sposoby beregoukrepleniya* [Modern methods of shore protection]. *Perspektivy nauki* [Science Prospects], no. 1(160), pp. 92-95, EDN: FMSYLH. (In Russian).
13. Kapelkina L., Myazin V., 2020. *Biologicheskie metody zakrepleniya otkosov, podverzhennykh vodnoy erozii v Zapadnoy Sibiri* [Biological methods of fixing of slopes susceptible to water erosion in Western Siberia]. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii* [Ecology and Industry of Russia], vol. 24(8), pp. 40-45, DOI: 10.18412/1816-0395-2020-8-40-45, EDN: WOEIEB. (In Russian).
14. Baranov E.V., Guryev A.P., Khanov N.V., 2015. *Primenenie ob'emnykh polimernykh georeshetok v uкреплении otkosov podpornykh gruntovykh gidrotekhnicheskikh sooruzheniy* [Application of volumetric polymer geogrids in strengthening slopes of retaining earth hydraulic structures]. *Prirodoobustroystvo* [Environmental Engineering], no. 2, pp. 45-48, EDN: UFEXGB. (In Russian).
15. Kislyakov A.A., Kislyakov M.A., Simakov N.K., 2019. *Opyt primeneniya geosetok pri rekonstruktsii naberezhnoy Izhevskogo vodokhranilishcha* [Experience of using geogrids in the reconstruction of the Izhevsk Reservoir embankment]. *Sotsial'no-ekonomicheskoe upravlenie: teoriya i praktika* [Socio-Economic Management: Theory and Practice], no. 2(37), pp. 131-134, EDN: FEVLRJ. (In Russian).
16. Kosichenko Yu.M., Baev O.A., 2014. *Vysokonadezhnye konstruksii protivofil'tratsionnykh pokrytiy kanalov i vodoemov, kriterii ikh effektivnosti i nadezhnosti* [Highly reliable designs of waterproofing lining of canals and reservoirs, criteria for their efficiency and reliability]. *Gidrotekhnicheskoe stroitel'stvo* [Hydrotechnical Construction], no. 8, pp. 18-25, EDN: SJTWGP. (In Russian).
17. Anokhin A.M., Garbuz A.Yu., 2023. *Kompleks konstruksiy i sooruzheniy dlya zashchity beregov rek i kanalov ot erozii* [A complex of river bank-and-canal protection structures and facilities from erosion]. *Melioratsiya i gidrotekhnika* [Land Reclamation and Hydraulic Engineering], vol. 13, no. 2, pp. 318-333, <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2023-13-2-318-333>, EDN: NVGMWG. (In Russian).
18. Matsiy V.S., Kuznetsov E.V., Matsiy S.I., 2024. *Analiz i sintez normativnoy dokumentatsii v otrasli izyskaniy i proektirovaniya inzhenernoy zashchity meliorativnykh ob'ektov* [Analysis and synthesis of regulatory documentation in the research industry and design of engineering protection of reclamation objects]. *Melioratsiya* [Land Reclamation], no. 3(109), pp. 12-24, EDN: LSIDHS. (In Russian).

19. Sokolova S.A., Bakshtanin A.M., Beglyarova E.S., 2022. *Izuchenie ruslovykh protsessov i planovykh deformatsiy rusel* [Study of channel processes and planned deformations of channels]. *Prirodoobustroystvo* [Environment Engineering], no. 4, pp. 118-123, EDN: TORIZW. (In Russian).

Информация об авторах

А. Ю. Гарбуз – старший научный сотрудник, кандидат технических наук, Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск, Российская Федерация, A.Y.Garbuz@yandex.ru, AuthorID: 740740, ORCID ID: 0000-0003-1503-7300;

Д. С. Рыбалко – научный сотрудник, Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск, Российская Федерация, ruba4eks@gmail.com.

Information about the authors

A. Yu. Garbuz – Senior Researcher, Candidate of Technical Sciences, Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk, Russian Federation, A.Y.Garbuz@yandex.ru, AuthorID: 740740, ORCID ID: 0000-0003-1503-7300;

D. S. Rybalko – Researcher, Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk, Russian Federation, ruba4eks@gmail.com.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Все авторы в равной степени несут ответственность за нарушения в сфере этики научных публикаций.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

All authors are equally responsible for ethical violations in scientific publications.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 14.04.2025; одобрена после рецензирования 21.04.2025; принята к публикации 02.07.2025.

The article was submitted 14.04.2025; approved after reviewing 21.04.2025; accepted for publication 02.07.2025.