

ГИДРОТЕХНИЧЕСКОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО, ГИДРАВЛИКА И ИНЖЕНЕРНАЯ ГИДРОЛОГИЯ

Научная статья

УДК 627.41

doi: 10.31774/2712-9357-2025-15-2-353-365

Комплекс защитных сооружений на реке Шахе Краснодарского края

Александр Михайлович Анохин¹, Александр Юрьевич Гарбуз²

¹Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт имени А. К. Кортунова – филиал Донского государственного аграрного университета, Новочеркасск, Российская Федерация, anochin2023@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0009-0256-2246>

²Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск, Российская Федерация, A.Y.Garbuz@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1503-7300>

Аннотация. Цель: обоснование комплекса мероприятий по обеспечению надежной защиты берега реки и сооружений от воздействия водного потока и плавающих предметов. **Материалы и методы.** Рассмотрен комплекс мероприятий по обеспечению защиты берега реки и сооружений от воздействия водного потока и карчехода. На основе гидрологических материалов участка реки принята габионная стенка из условия не перелива. На основании выполненного математического моделирования получена структура перераспределения потока по ширине русла реки в сторону углубления левого рукава реки в виде прорези. **Результаты и обсуждение.** Разработаны мероприятия по защите габионной стенки от карчехода защитными конструкциями, которые позволяют осуществлять перехват плывущих крупных включений деревьев и, при заполнении карчами, как направляющие сооружения будут отводить их к середине реки. Запроектированный состав сооружений позволит обеспечить безопасную эксплуатацию прилегающей территории и защитных сооружений. **Выводы.** На основании проведенных исследований по защите берега реки и сооружений от воздействия водного потока были предложены следующие меры: для предотвращения размыва правого берега запроектирована ступенчатая габионная стенка и струенаправляющая дамба с прорезью у левого рукава реки. Математическое моделирование показало, что даже при паводке вода не выходит на пойму в районе рекреационного объекта, а поток перераспределяется в сторону углубления левого рукава. Гребень габионной стенки был спроектирован на отметке 81,3 м для защиты поймы от затопления. Также предложено использовать защитные устройства от карчехода в виде габионной стенки, которые могут быть выполнены в виде крестообразной балки или Т-образным элементом, устраиваемыми на продольной балке. Размещение таких сооружений на затопляемой территории должно обеспечивать улавливание всех крупных включений плывущих деревьев и их фрагментов, а также поддерживать свободное движение водного потока и целостность габионных берегозащитных конструкций.

Ключевые слова: размыв дна, габионная стенка, струенаправляющая дамба, прорезь, карчеход, защитные сооружения, пойма, скорость течения

Для цитирования: Анохин А. М., Гарбуз А. Ю. Комплекс защитных сооружений на реке Шахе Краснодарского края // Мелиорация и гидротехника. 2025. Т. 15, № 2. С. 353–365. <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2025-15-2-353-365>.

HYDRAULIC ENGINEERING,
HYDRAULICS AND ENGINEERING HYDROLOGY

Original article

**Complex of protection structures
on the Shakh River in the Krasnodar Territory**

Alexander M. Anokhin¹, Alexander Yu. Garbuz²

¹Novocherkassk Engineering and Land Reclamation Institute – branch of the Don State Agrarian University, Novocherkassk, Russian Federation, Novocherkassk, Russian Federation, anochin2023@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0009-0256-2246>

²Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk, Russian Federation, A.Y.Garbuz@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1503-7300>

Abstract. Purpose: to substantiate a set of measures to ensure reliable protection of the river bank and structures from the impact of water flow and floating objects. **Materials and methods.** A set of measures to ensure protection of the river bank and structures from the impact of water flow and floating debris is considered. Based on hydrological materials of the river section, a gabion wall is adopted in condition of no overflow. Based on the performed mathematical simulation, a structure of flow redistribution along the width of the river bed towards the deepening of the left river branch in the form of a slot is obtained. **Results and discussion.** Measures to protect the gabion wall from floating objects using protective structures that allow intercepting large floating tree inclusions and, when filled with floating objects, will divert them to the middle of the river as guide structures, have been developed. The designed composition of structures will ensure safe operation of the adjacent territory and protective structures. **Conclusions.** Based on the conducted research on the river bank and structures protection from the impact of the water flow, the following measures were proposed: a stepped gabion wall and a wing dam with a slot at the left branch of the river were designed to prevent erosion of the right bank. Mathematical simulation showed that even during a flood, water does not enter the floodplain in the area of the recreational facility, and the flow is redistributed towards the deepening of the left branch. The crest of the gabion wall was designed at an elevation of 81.3 m to protect the floodplain from flooding. It was also proposed to use protective devices from wing dam in the form of a gabion wall, which can be made in the form of a cross-shaped beam or a T-shaped element arranged on a longitudinal beam. The placement of such structures in a flooded area should ensure the capture of all large inclusions of floating trees and their fragments, as well as maintain the free movement of the water flow and the integrity of the gabion bank protection structures.

Keywords: underwater erosion, gabion wall, wing dam, slot, floating debris, protective structures, floodplain, flow velocity

For citation: Anokhin A. M., Garbuz A. Yu. Complex of protection structures on the Shakh River in the Krasnodar Territory. *Land Reclamation and Hydraulic Engineering*. 2025;15(2):353–365. (In Russ.). <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2025-15-2-353-365>.

Введение. Русловой аллювий (отложения постоянных водных потоков, состоящие из обломков различной степени окатанности и размеров) давно привлекал внимание строителей своей доступностью в руслах горных рек. Изъятие из русел рек аллювия изменяет отмостку дна реки, нару-

шает сложившийся баланс руслового потока и наносов. В свою очередь поток изменяет параметры русла реки, образуя размывы и острова [1–5]. Часто для защиты берегов от размыва используются габионы как наиболее экологичный способ защиты от деформаций прибрежной полосы. Многочисленные исследования габионных конструкций и наблюдения за их состоянием после паводков выявили одну из проблем надежности сооружений – повреждение конструкций от карчехода. В результате контакта деревьев с габионом происходит разрыв и разгибание габионной сетки с последующим размывом конструкции габиона и нарушением его целостности, что существенно снижает его функциональность (рисунок 1).



Рисунок 1 – Завал и разрушение габионной конструкции частями стволов деревьев (карчами) (автор фото А. М. Анохин)

Figure 1 – The blockage and destruction of the gabion structure by parts of tree trunks (floating debris) (photo by A. M. Anokhin)

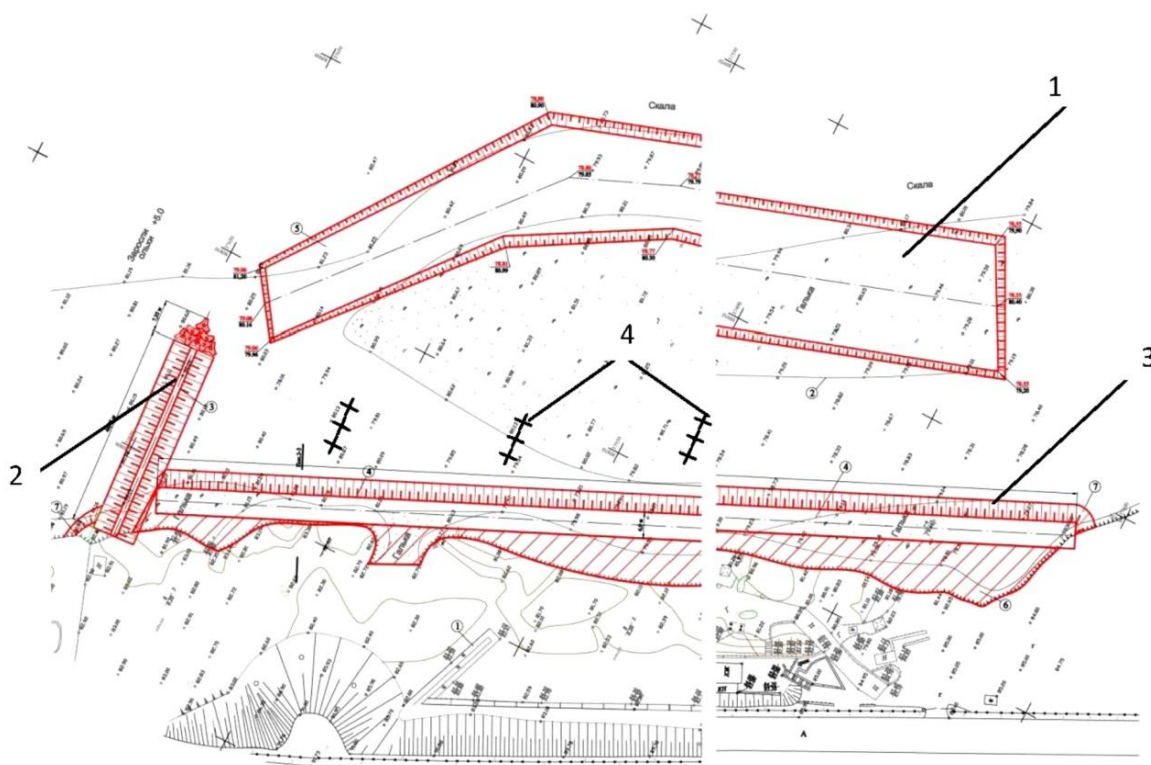
Для защиты берегоукрепительных сооружений из габионов необходимо предусматривать струенаправляющие и защитные сооружения. В этой связи целью научного исследования являлось обоснование проектирования комплекса мероприятий по обеспечению надежной защиты берега реки и сооружений от воздействия водного потока и плавающих предметов.

Материалы и методы. Рассмотрен один из характерных участков горной р. Шахе, где обозначилась тенденция размывов русла и образова-

ния галечных островов. Средняя ширина русла реки на выбранном и рассматриваемом участке составляет от 80 до 140 м.

Вследствие того, что большая часть водного потока реки из-за образовавшихся островов, разделяющих русло на два рукава, перенаправлена к правому берегу, участок берега интенсивно размывается в диапазоне от 3 до 5 м/год [6].

Для обеспечения защиты правого берега реки от размывов и последующего разрушения, а также придания устойчивости берегу в пределах участка проектирования устраивается ступенчатая габионная стена, протяженность которой составляет 364 м. Для обеспечения перенаправления потока реки к левому берегу на участке устраивается струенаправляющая дамба, а также выполняется углубление левого рукава реки в виде прорези (рисунок 2).



1 – прорезь; 2 – струенаправляющая дамба; 3 – габионная стенка;
4 – защитные конструкции от карчехода

1 – slot; 2 – wing dam; 3 – gabion wall; 4 – protective structures from timber drifting

Рисунок 2 – План участка реки с мероприятиями по берегозащите
Figure 2 – River section plan with bank protection measures

Источником водного стока на территории рассматриваемого района являются атмосферные осадки, выпадающие в виде дождя и снега. Из-за большой крутизны горных склонов и низкой водопроницаемости глинистых почв фильтрация ливневых осадков непосредственно в грунт сравнительно невелика. Самым значительным явлением водного режима можно считать кратковременные бурные паводки. Большую часть года они вызываются выпадением ливневых осадков. За год отмечается порядка 8–10 паводков. Средняя их продолжительность составляется на основании длительности выпадения дождей – 8–9 дней, из которых 1–2 дня приходится на подъем уровня и 6–8 – на спад; минимальная – 4 дня, максимальная – 16 сут [7].

В холодное время года, когда циклоны следуют один за другим, пики паводков образуют продолжительную «гребенку», которая может длиться неделями. Фронтальная часть паводочной волны обычно проходит за 4–6 ч. Однако при смерчевых паводках уровень воды поднимается за считанные минуты или даже мгновенно, что представляет серьезную угрозу для людей, оказавшихся в русле реки или на ее берегу. Экстремальные подъемы уровня воды достигают 3,0–3,5 м, а в некоторых случаях смерчевые паводки могут вызывать всплески до 6–10 м [7].

Максимальные расходы воды расчетной обеспеченности 1 % – 813 м³/с, 5 % – 619 м³/с, 10 % – 538 м³/с были получены по многолетним наблюдениям поста и приведены на рисунке 3.

На основании анализа данных графика зависимости расхода от уровня воды в створе существует необходимость определить высотное положение гребня стенки габионов для обеспечения неперелива при расходах 3 % обеспеченности¹ [7]. Конструктивное берегоукрепительное сооружение состоит из двух ярусов коробчатых габионов и матраца «Рено» в основании (рисунок 4).

¹Определение основных расчетных гидрологических характеристик: СП 33-101-2003: утв. постановлением Госстроя России № 218 от 26.12.2003. М. Госстрой России, 2004. 75 с.

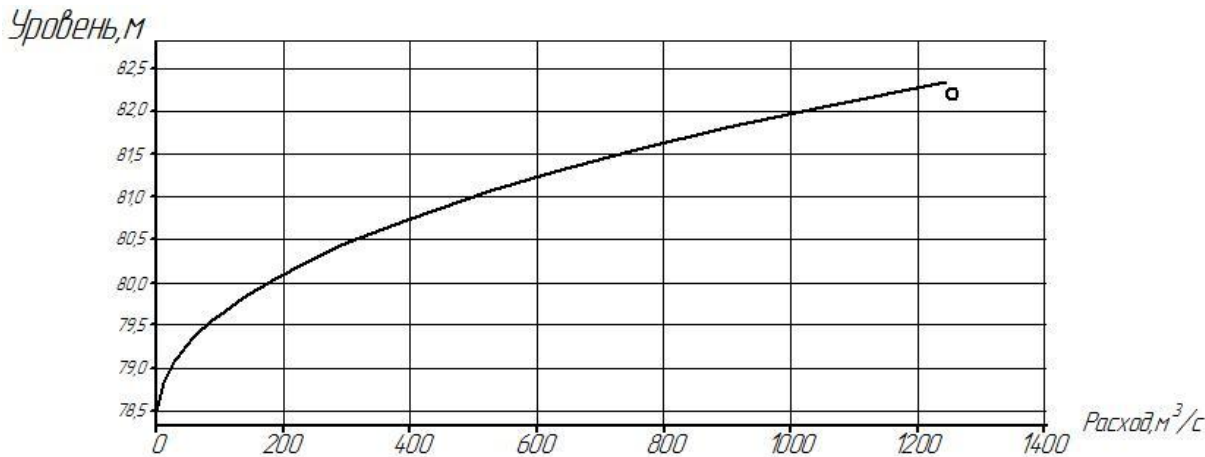
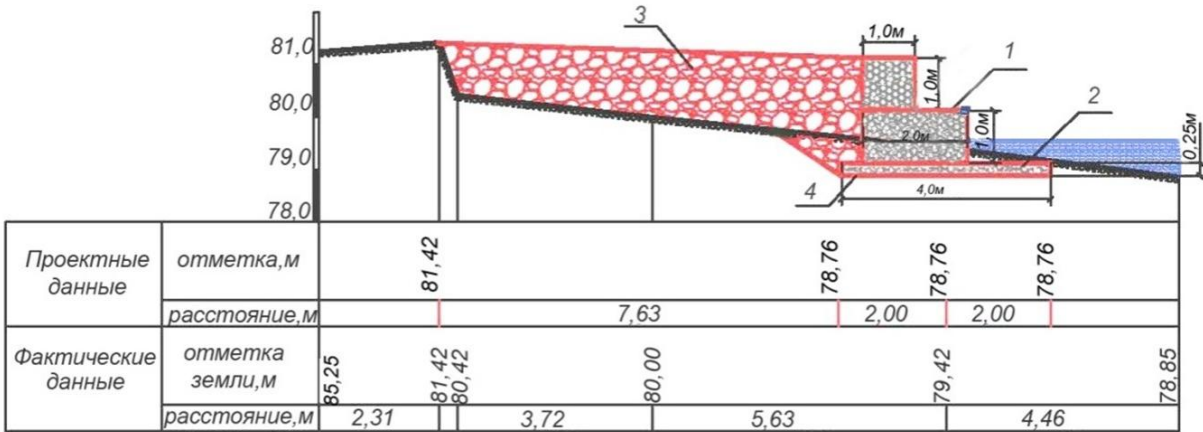


Рисунок 3 – График зависимости расхода Q от уровня H в створе объекта на реке Шахе
Figure 3 –Dependency graph of the flow rate Q on the level H in the facility section on the Shakhe River



1 – материал из габионов; 2 – матрац из металлической сетки «Рено»;
3 – укладка грунта; 4 – геотекстильный материал
1 – gabion material; 2 – Renault metal mesh mattress;
3 – ground laying; 4 – geotextile material

Рисунок 4 – Поперечный профиль габионной стенки
Figure 4 – Transverse profile of the gabion wall

С целью анализа негативного воздействия берегозащитных мероприятий на расходные (гидравлические) параметры реки, а также определения оптимальной высоты стенки были выполнены расчеты методом математического моделирования. Расчеты течений на рассматриваемом участке реки выполнены для паводков 95 % обеспеченности и паводка 3 % обеспеченности. Значения расходов воды в реке при указанных паводках приняты следующими:

- паводок 95 % обеспеченности – $Q_{95\%} = 205 \text{ м}^3/\text{с}$;

- паводок 3 % обеспеченности – $Q_{3\%} = 668 \text{ м}^3/\text{с}$.

Эти данные получены в результате обработки материалов наблюдений за период 1940–2000 гг.

Результаты и обсуждение. При выполнении компьютерного моделирования рядового паводка получены данные, которые свидетельствуют о том, что после возведения берегоукрепительных сооружений водный поток не выходит на пойму в районе рекреационного объекта (рисунок 5).

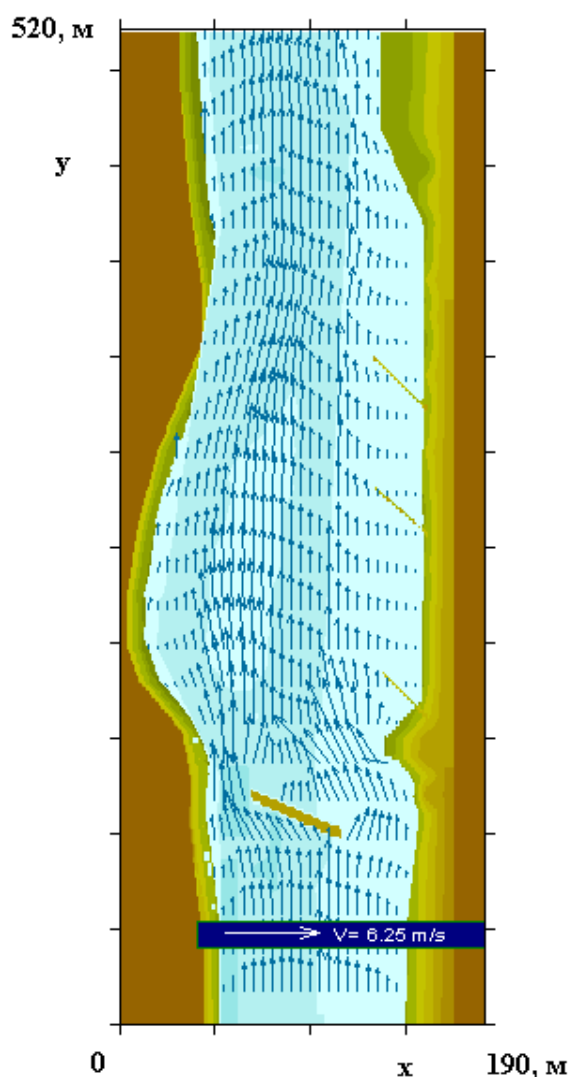
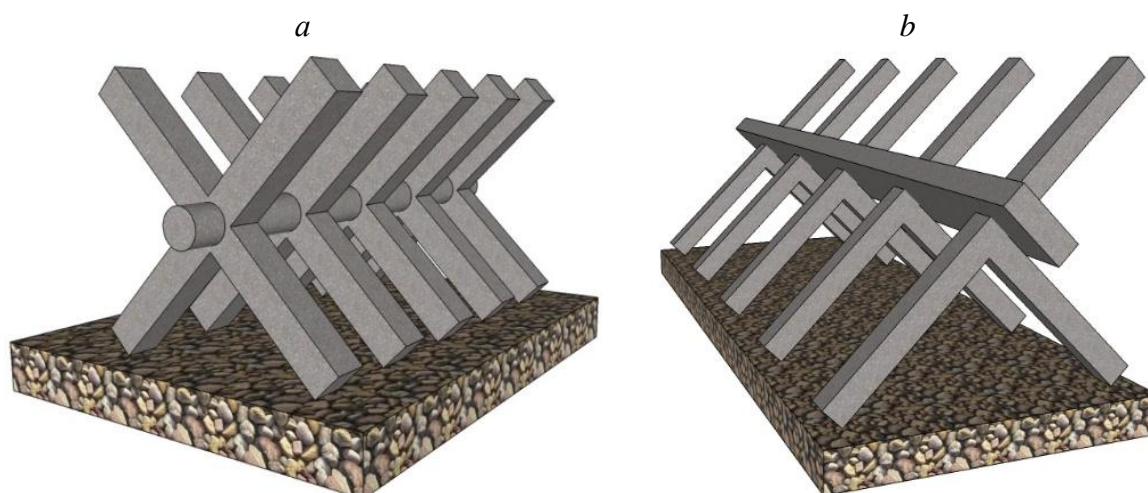


Рисунок 5 – Моделирование поля водного потока на участке при паводке 3 % обеспеченности после устройства берегозащитных сооружений

Figure 5 – Water flow field simulation on the site during a flood of 3 % probability after the bank protection structure installation

Значительная часть поймы остается незатопленной, потому что для 3 % расхода $Q_{3\%} = 668 \text{ м}^3/\text{с}$ отметка поднятия уровня воды в реке составляет 81,3 м (рисунок 3). Для защиты поймы от затопления гребень габионной стенки запроектирован на этой отметке. Полученные данные свидетельствуют о том, что скорости течения в границах русла составят: при обычном паводке значения от 1,6 до 2,1 м/с, а при паводке 3 % обеспеченности – в диапазоне от 2,2 до 2,7 м/с.

Характер течения в пределах существующего русла не претерпит значительных изменений, однако произойдет некоторое смещение потока в сторону левого берега, как показано на рисунке 6. В связи с этим существенных изменений в русловых процессах, включая деформации, также не ожидается, кроме размыва дна в створе головы струенаправляющей дамбы.



a – крестообразные элементы; *b* – Т-образные элементы
a – cross-shaped elements; *b* – T-shaped elements

Рисунок 6 – Конструкции берегозащитных сооружений
Figure 6 –Bank-protection facility structures

На основании вышеизложенного и по данным натурных наблюдений на горных реках часто наблюдается карчеход, который разрушает габионные конструкции. Для защиты габионной стенки необходимо установить в русле предлагаемые защитные конструктивно-технические сооружения от карчехода (рисунок 6).

Приведенные на рисунке 6 конструкции будут улавливать плывущие деревья и, выполняя роль направляющих сооружений, направлять их к центру реки. Конструкции состоят из элементов, установленных на общей оси, длина которой определяется количеством элементов и расстоянием между ними^{2, 3}.

Конструктивно-техническое решение выполняется в форме крестообразных балок или Т-образных элементов, закрепленных на продольной балке. Размещение сооружений на территории, которая подвержена затоплению, должно в значительной степени гарантировать улавливание всех крупных дрейфующих объектов, таких, как деревья и их фрагменты, а также обеспечивать свободное прохождение водного потока.

Количество сооружений будет зависеть от количества карчехода, его размеров, морфологических элементов русла и расположения мест естественной задержки деревьев и их частей^{4, 5}.

Таким образом, комплекс сооружений в своем составе включает:

- габионную стенку;
- струенаправляющую дамбу и прорезь;
- устройства, защищающие гидротехнические и природоохранные сооружения [8–16].

²Пат. 2533912 Рос. Федерация, МПК⁶ E02B 3/02. Способ очистки русел рек вблизи мостов / Анохин А. М.; патентообладатель ФГБОУ ВПО НГМА. № 2013118901/13; заявл. 23.04.13; опубл. 27.11.14, Бюл. № 33. 5 с.

³Устройство для защиты гидротехнических и мостовых сооружений от плавающих деревьев: пат. 2664835 Рос. Федерация: МПК⁶ E02B 3/02; E02B 3/04 / Анохин А. М., Бандурин М. А., Чугаева О. В.; зпатентообладатель ФГБОУ ВО «Донской государственный аграрный университет». № 2016144589; заявл. 14.11.16; опубл. 23.08.18, Бюл. № 24. 9 с.

⁴Гидротехнические сооружения. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 33-01-2003: СП 58.13330.2012: утв. приказом Минрегиона России № 623 от 29.12.11: введ. в действие 01.01.13. М.: Стандартинформ, 2020. 39 с.

⁵Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85*: СП 20.13330.2011: утв. приказом Минрегиона России № 787 от 27.12.10: введ. в действие 20.05.11. М.: Стандартинформ, 2011. 96 с.

Выводы. Таким образом, на основании проведенных исследований комплекса мероприятий по обеспечению защиты берега реки и защитных сооружений от воздействия водного потока необходимо отметить:

- для обеспечения защиты правого берега реки от размывов и последующего разрушения запроектирована ступенчатая габионная стенка и струенаправляющая дамба с выполнением прорези у левого рукава реки;

- по результатам выполненного компьютерного моделирования рядового паводка получены данные, которые свидетельствуют о том, что после возведения берегоукрепительных сооружений водный поток не выходит на пойму в районе рекреационного объекта, получено плановое перераспределение потока по ширине русла реки в сторону углубления левого рукава в виде прорези. Для защиты поймы от затопления гребень габионной стенки был запроектирован на отметке 81,3 м;

- защитные устройства от карчехода в виде габионной стенки могут быть выполнены как крестообразные балки или Т-образные элементы, устраиваемые на продольной балке. Размещение таких сооружений на затопляемой территории должно обеспечивать улавливание всех крупных включений плывущих деревьев и их фрагментов, а также поддерживать свободное движение водного потока и целостность габионных конструкций.

Список источников

1. Беркович К. М., Злотина Л. В. К оценке опасности горизонтальных деформаций русла // Закономерности проявления эрозионных и русловых процессов в различных природных условиях: материалы V Всерос. науч. конф. с междунар. участием, объедин. с XXXIV пленар. совещ. Межвуз. науч.-координац. совета по проблеме эроз., русловых и устьевых процессов (г. Москва, 3–6 сент. 2019 г.). М.: Ленанд, 2019. С. 111–112. EDN: IQFWQW.

2. Диагностика мостовых переходов на малых реках и мелиоративных системах с учетом угрозы внезапного паводка на Юге России / М. А. Бандурин, В. А. Волосухин, И. А. Приходько, А. А. Руденко // Мелиорация и гидротехника. 2023. Т. 13, № 1. С. 200–218. URL: <https://rosniipm-sm.ru/article?n=1349> (дата обращения: 03.03.2025). DOI: 10.31774/2712-9357-2023-13-1-200-218. EDN: EURSRG.

3. Беркович К. М., Злотина Л. В., Турыкин Л. А. Разработка русловых карьеров в подвижных руслах рек: реакция, последствия и перспективы // Известия русского географического общества. 2023. Т. 155, № 1. С. 13–20. DOI: 10.31857/S0869607123010032. EDN: HCVANJ.

4. Волосухин В. А., Шурский О. М. Наводнение на Кубани. Проблемы и задачи // Гидротехника. 2012. № 4(29). С. 6–9. EDN: UJKIAH.
5. Беркович К. М., Злотина Л. В., Турыкин Л. А. Размыв речных берегов: факторы, механизм, деятельность человека // Геоморфология. 2019. № 2. С. 3–17. DOI: 10.31857/S0435-4281201923-17. EDN: LKKEKQ.
6. Ромашин В. В. Морфодинамика речных русел Сочинского района Черноморского побережья Кавказа. М., 2002. 167 с.
7. Приходько И. А., Владимиров С. А., Романенко Н. С. Математическое моделирование поля течений в русле реки Мзымта при расчетных паводках // Экология речных ландшафтов: сб. ст. по материалам IV Междунар. науч. эколог. конф., 3 дек. 2019 г. Краснодар: КубГАУ, 2020. С. 133–140.
8. Анохин А. М., Залавский Н. И., Залавский В. Н. Комплекс для защиты мостов и водопропускных сооружений от крупного дрейфующего мусора // Транспорт: наука, образование, производство: труды междунар. науч.-практ. конф. (Ростов-на-Дону, 12–15 апр. 2016 г.). Т. 4. Технические и естественные науки. Ростов н/Д.: Ростов. гос. ун-т путей сообщения, 2016. С. 18–20. EDN: XWFTMD.
9. Обеспечение безопасности и надежности низконапорных гидротехнических сооружений: монография / В. Н. Щедрин, Ю. М. Косиченко, Д. В. Бакланова, О. А. Бавев, Е. Д. Михайлов. Новочеркасск: РосНИИПМ, 2016. 283 с. EDN: WUYTAT.
10. Лапшенков В. С. Руслловая гидротехника: практ. пособие. Новочеркасск: НГМА, 2000. 407 с. EDN: SHYSWP.
11. Effect of an extreme flood event on solute transport and resilience of a mine water treatment system in a mineralised catchment / W. M. Mayes, M. T. Perks, A. R. G. Large, C. J. Gandy, P. A. H. Orme, A. P. Jarvis // Science of the Total Environment. 2021. Vol. 750. Article number: 141693. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.141693. EDN: KVJFGU.
12. The land-river interface: a conceptual framework of environmental process interactions to support sustainable development / R. C. Grabowski, K. Vercruysse, I. Holman, A. Azhoni, B. Bala, V. Shankar, J. Beale, S. Mukate, A. Poddar, J. Peng, J. Meersmans // Sustainability Science. 2022. Vol. 17. P. 1677–1693. <https://doi.org/10.1007/s11625-022-01150-x>.
13. Vercruysse K., Grabowski R. C. Human impact on river planform within the context of multi-timescale river channel dynamics in a Himalayan river system // Geomorphology. 2021. Vol. 381. Article number: 107659. DOI: 10.1016/j.geomorph.2021.107659. EDN: WSJPGV.
14. Large variations in global irrigation withdrawals caused by uncertain irrigation efficiencies / A. Puy, A. Saltelli, B. Lankford, J. Meier, S. Van Der Kooij // Environmental Research Letters. 2022. Vol. 17. no. 4. Article number: 044014. DOI: 10.1088/1748-9326/ac5768. EDN: DRJSDU.
15. Okubo S., Ikeya H., Ishikawa, Y., Yamada T. Development of New Methods for Countermeasures against Debris Flow // In book: Recent Developments on Debris Flows. 2008. P. 166–185. DOI: 10.1007/BFb0117768.
16. Parola A. C., Apelt C. J., Jempson M. A. Debris forces on highway bridges. Washington D. C.: National Academy Press, 2000. No. 445. 78 p.

References

1. Berkovich K.M., Zlotina L.V., 2019. *K otsenke opasnosti gorizontal'nykh deformatsiy rusla* [Assessing the danger of horizontal channel deformations]. *Zakonomernosti proyavleniya erozionnykh i ruslovykh protsessov v razlichnykh prirodnnykh usloviyakh: materialy V Vseros. nauchnoy konferentsii s mezhdunar. uchastiem, ob"edin. s XXXIV plenar. soveshch. Mezhdvuz. nauchnogo-koordinatsionnogo soveta po probleme eroz., ruslovykh i ust'evykh protsessov* [Patterns of manifestation of erosion and channel processes in various

natural conditions: Proceed. of the V All-Russian Scientific Conference with International Participation, Combined with the XXXIV Plenary Meeting of the Interuniversity Scientific Coordination Council on the Problem of Erosion, Channel and Estuary Processes]. Moscow, Lenand Publ., pp. 111-112, EDN: IQFWQW. (In Russian).

2. Bandurin M.A., Volosukhin V.A., Prikhodko I.A., Rudenko A.A., 2023. *Diagnostika mostovykh pereezdov na mal'kikh rekakh i meliorativnykh sistemakh s uchetom ugrozy vnezapnogo pavodka na Yuge Rossii* [Diagnostics of bridge crossings on small rivers and reclamation systems with regard to the threat of flash flood in the south of Russia]. *Melioratsiya i gidrotekhnika* [Land Reclamation and Hydraulic Engineering], vol. 13, no. 1, pp. 200-218, available: <https://rosniipm-sm.ru/article?n=1349> [accessed 03.03.2025], DOI: 10.31774/2712-9357-2023-13-1-200-218, EDN: EURSRG. (In Russian).

3. Berkovich K.M., Zlotina L.V., Turykin L.A., 2023. *Razrabotka uslovykh kar'yerov v podvizhnykh ruslakh rek: reaktsiya, posledstviya i perspektivy* [In-stream mining in alluvial river channels: response, consequences and perspectives]. *Izvestiya russkogo geograficheskogo obshchestva* [Proceed. of the Russian Geographical Society], vol. 155, no. 1, pp. 13-20, DOI: 10.31857/S0869607123010032, EDN: HCVANJ. (In Russian).

4. Volosukhin V.A., Shursky O.M., 2012. *Navodnenie na Kubani. Problemy i zadachi* [Flooding in the Kuban region. Problems and tasks]. *Gidrotekhnika* [Hydraulic Engineering], no. 4(29), pp. 6-9, EDN: UJKIAH. (In Russian).

5. Berkovich K.M., Zlotina L.V., Turykin L.A., 2019. *Razmyv rechnykh beregov: faktory, mekhanizm, deyatel'nost' cheloveka* [Riverbank erosion: factors, mechanism, human activity]. *Geomorfologiya* [Geomorphology], no. 2, pp. 3-17, DOI: 10.31857/S0435-4281201923-17, EDN: LKKEKQ. (In Russian).

6. Romashin V.V., 2002. *Morfodinamika rechnykh rusel Sochinskogo rayona Chernomorskogo poberezh'ya Kavkaza* [Morphodynamics of River Channels in the Sochi Region of the Black Sea Coast of the Caucasus]. Moscow, 167 p. (In Russian).

7. Prikhodko I.A., Vladimirov S.A., Romanenko N.S., 2020. *Matematicheskoe modelirovaniye polya techeniy v rusle reki Mzymta pri raschetnykh pavodkakh* [Mathematical simulation of the flow field in the Mzymta River channel during calculated floods]. *Ekologiya rechnykh landshaftov: sb. st. po materialam IV Mezhdunar. nauchnoy ekologicheskoy konferentsii* [Ecology of River Landscapes: Coll. of Articles Based on the Proceed. of the IV International Scientific Ecological Conference]. Krasnodar, KubSAU, pp. 133-140. (In Russian).

8. Anokhin A.M., Zalavskiy N.I., Zalavskiy V.N., 2016. *Kompleks dlya zashchity mostov i vodopropusknykh sooruzheniy ot krupnogo dreyfuyushchego musora* [Complex for protecting bridges and culverts from large drift garbage]. *Transport: nauka, obrazovanie, proizvodstvo: trudy mezhdunar. nauchno-prakticheskoy konferentsii. T. 4. Tekhnicheskie i estestvennye nauki* [Transport: Science, Education, Production: Proceed. of the International Scientific and Practical Conference. Vol. 4. Technical and Natural Sciences]. Rostov n/D., Rostov State University of Railway Engineering, pp. 18-20, EDN: XWFTMD. (In Russian).

9. Shchedrin V.N., Kosichenko Yu.M., Baklanova D.V., Baev O.A., Mikhailov E.D., 2016. *Obespechenie bezopasnosti i nadezhnosti nizkonapornykh gidrotekhnicheskikh sooruzheniy: monografiya* [Ensuring Safety and Reliability of Low-Head Hydraulic Structures: Monograph]. Novocherkassk, RosNIIPM, 283 p., EDN: WUYTAT. (In Russian).

10. Lapshenkov V.S., 2000. *Ruslovaya gidrotekhnika: prakt. posobie* [Channel Hydraulic Engineering: Practical Manual]. Novocherkassk, NGMA, 407 p., EDN: SHYSWP. (In Russian).

11. Mayes W.M., Perks M.T., Large A.R.G., Gandy C.J., Orme P.A.H., Jarvis A.P., 2021. Effect of an extreme flood event on solute transport and resilience of a mine water treatment system in a mineralised catchment. *Science of the Total Environment*, vol. 750, Article number: 141693, DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.141693, EDN: KVJFGU.

12. Grabowski R.C., Vercruysse K., Holman I., Azhoni A., Bala B., Shankar V., Beale J., Mukate S., Poddar A., Peng J., Meersmans J., 2022. The land-river interface: a conceptual framework of environmental process interactions to support sustainable development. Sustainability Science, vol. 17, pp. 1677–1693, <https://doi.org/10.1007/s11625-022-01150-x>.

13. Vercruysse K., Grabowski R.C., 2021. Human impact on river planform within the context of multi-timescale river channel dynamics in a Himalayan river system. Geomorphology, vol. 381, Article number: 107659, DOI: 10.1016/j.geomorph.2021.107659, EDN: WSJPGV.

14. Puy A., Saltelli A., Lankford B., Meier J., Van Der Kooij S., 2022. Large variations in global irrigation withdrawals caused by uncertain irrigation efficiencies. Environmental Research Letters, vol. 17, no. 4, Article number: 044014, DOI: 10.1088/1748-9326/ac5768, EDN: DRJSDU.

15. Okubo S., Ikeya H., Ishikawa, Y., Yamada T., 2008. Development of New Methods for Countermeasures against Debris Flow. In book: Recent Developments on Debris Flows, pp. 166–185, DOI: 10.1007/BFb0117768.

16. Parola A.C., Apelt C.J., Jempson M.A., 2000. Debris forces on highway bridges. Washington D. C., National Academy Press, no. 445, 78 p.

Информация об авторах

А. М. Анохин – профессор кафедры гидротехнических сооружений, кандидат технических наук, Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт имени А. К. Кортунова – филиал Донского государственного аграрного университета, Новочеркасск, Российская Федерация, anochin2023@yandex.ru, ORCID: 0009-0009-0256-2246;

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

Information about the authors

A. M. Anokhin – Professor of the Department of Hydraulic Engineering Structures, Candidate of Technical Sciences, Novocherkassk Engineering and Land Reclamation Institute – branch of the Don State Agrarian University, Novocherkassk, Russian Federation, anochin2023@yandex.ru, ORCID: 0009-0009-0256-2246;

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, ORCID: 0000-0003-1503-7300.

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 13.03.2025; одобрена после рецензирования 22.04.2025; принята к публикации 17.06.2025.

The article was submitted 13.03.2025; approved after reviewing 22.04.2025; accepted for publication 17.06.2025.