

ГИДРОТЕХНИЧЕСКОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО, ГИДРАВЛИКА И ИНЖЕНЕРНАЯ ГИДРОЛОГИЯ

Научная статья

УДК 627.81

doi: 10.31774/2712-9357-2025-15-1-196-215

Мониторинг технического состояния объектов берегоукрепления Волгоградского водохранилища

Сергей Яковлевич Семененко¹, Андрей Евгеньевич Новиков²

^{1, 2}Всероссийский научно-исследовательский институт орошаемого земледелия – филиал
Федерального научного центра гидротехники и мелиорации имени А. Н. Костякова,
Волгоград, Российская Федерация

¹semenenkoy.vniioz@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5992-8127>

²ae_novikov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8051-4786>

Аннотация. Цель: мониторинг экологического состояния прибрежной зоны левобережья водохранилища, исследование технического состояния и работоспособности элементов берегоукрепления. **Материалы и методы.** Исследование проведено с использованием архивных материалов, описывающих динамику береговой абразии, современных публикаций, отражающих результаты научных исследований акватории водохранилища по смежным специальностям, материалов фотофиксации при ежегодных маршрутных обследованиях, включало визуальное изучение геологического строения береговой линии. **Результаты.** Установлена непрерывная и не затухающая во времени абразивная переработка левого берега водохранилища с необратимым изъятием земель населенных пунктов, сельскохозяйственного назначения и лесного фонда. К числу наиболее негативных экологических проявлений относятся: ухудшение качества воды, постоянное увеличение потерь воды на испарение за счет приращения площади водохранилища ввиду неэффективной работы элементов инженерной защиты берега, накопление, глубинное и вдольбереговое перемещение разрушенного материала берегов, что усложняет работу водозаборных сооружений. **Выводы.** Мониторинговыми исследованиями изменения технического состояния различных типов берегоукрепления установлено падение их работоспособности в течение семи лет в зависимости от класса капитальности: железобетонные плиты и блоки – наиболее устойчивое сооружение с оценкой «работоспособное»; габионы с каменным наполнителем – «неработоспособное»; каменная наброска – «условно работоспособное». Установлено, что локальное, прерывистое берегоукрепление, независимо от класса капитальности сооружения, не обеспечивает длительную абразивную устойчивость левобережья, это отрицательно влияет на гидрологический, гидрохимический и гидробиологический режимы водохранилища.

Ключевые слова: мониторинг, берегоукрепление, водохранилище, маршрутное обследование, экологическое состояние, оценка работоспособности

Сведения о научно-исследовательской работе, по результатам которой публикуется статья: работа подготовлена в рамках выполнения государственного задания по научной теме FNFR-2025-0004.

Для цитирования: Семененко С. Я., Новиков А. Е. Мониторинг технического состояния объектов берегоукрепления Волгоградского водохранилища // Мелиорация и гидротехника. 2025. Т. 15, № 1. С. 196–215. <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2025-15-1-196-215>.

HYDRAULIC ENGINEERING,
HYDRAULICS AND ENGINEERING HYDROLOGY

Original article

**Monitoring the technical state of bank protection
facilities of Volgograd Reservoir**

Sergey Ya. Semenenko¹, Andrey E. Novikov²

^{1,2}All-Russian Research Institute of Irrigated Agriculture – branch of the Federal Scientific Center of Hydraulic Engineering and Land Reclamation named after A. N. Kostyakov, Volgograd, Russian Federation

¹semenenkosy.vniioz@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5992-8127>

²ae_novikov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8051-4786>

Abstract. Purpose: monitoring the ecological state of the bank zone of the reservoir left side and studying the technical state and operability of the bank protection elements. **Materials and methods.** The study was conducted using archival material describing the dynamics of bank abrasion, modern publications reflecting the results of scientific research of the reservoir water area in related specialties, photo recording materials during annual route surveys, and included a visual study of the geological structure of the bankline. **Results.** Continuous and unfading over time abrasive transformation of the reservoir left bank with irreversible withdrawal of residential, agricultural and forest lands has been stated. The most negative environmental manifestations include: deterioration of water quality, constant increase in water losses thanks to evaporation after the increase of the reservoir area due to the ineffective operation of the engineering bank protection elements, accumulation, deep and alongshore movement of destroyed bank material, which complicates the work of water intake structures. **Conclusions.** Monitoring studies of changes in the technical condition of various types of bank protection have established a decline in their performance over seven years depending on the category of importance: reinforced concrete slabs and blocks are the most stable structure with a rating of “operative”; gabions with stone filler – “inoperative”; rock fill – “conditionally operative”. It has been established that local, intermittent bank protection, regardless of the structure category of importance, does not ensure long-term abrasive resistance of the left bank, this affects negatively the hydrological, hydrochemical and hydrobiological regimes of the reservoir.

Keywords: monitoring, bank protection, reservoir, route survey, environmental condition, performance assessment

Information on the research work, based on the results of which the article is published: the work has been performed as part of the state assignment on the scientific theme FNFR-2025-0004.

For citation: Semenenko S. Ya., Novikov A. E. Monitoring the technical state of bank protection facilities of Volgograd reservoir. *Land Reclamation and Hydraulic Engineering*. 2025;15(1):196–215. (In Russ.). <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2025-15-1-196-215>.

Введение. Современное водохранилище представляет собой техногенный объект, в котором, независимо от его геометрических размеров, идет активное формирование береговой зоны, протекающее под воздействием гидродинамических факторов, таких как ветровое воздействие, коле-

бание уровней, перенос наносов, течения, ледовое воздействие. Опасные природные процессы, связанные с береговой линией водных объектов (абразивно-оползневая деятельность, размывы береговой линии волновым воздействием и вдольбереговыми течениями, подтопление прилегающих территорий), приводят к огромным материальным (необратимое изъятие земель сельскохозяйственного назначения, населенных пунктов) и в определенной степени социальным и моральным потерям [1–4].

Интенсивность процесса потерь оценивается величинами линейных, площадных или объемных разрушений в единицу времени. Исследованиями установлено, что для почвенно-климатических условий Российской Федерации на крупных водохранилищах в период активной стадии формирования береговой линии интенсивность размыва находится в пределах 5 м/год, а в период стабилизации и замедления процесса составляет около 1,5 м/год [5].

На процесс абразии и интенсивность его протекания, как указывают и иностранные исследователи [6–8], влияет наличие и сочетание следующих факторов:

- низкая устойчивость грунтового основания берега на сдвиг и смещение (при повышенной влажности легкие грунты осыпаются);
- присутствие высокого отвесного склона на водобойном участке берега (при повышенной влажности нижние слои грунта теряют несущую способность и большая масса вышерасположенного почвогрунта сползает в воду);
- высокий и частый уровень стояния воды без наличия пляжа и повышенная влажность (при таянии снега, интенсивных осадках) берегового грунта;
- высокий уровень стояния грунтовых вод в прибрежной зоне, инициирующий процесс суффозии;
- наличие вибраций от вдольбереговых транспортных магистралей и промышленных объектов.

Государственным комитетом земельных отношений (М., Госкомзем РФ, 2000) указано, что «...проблема снижения экономического ущерба, причиняемого абразивной переработкой берегов водных объектов, решается путем организации берегозащитных мероприятий различной степени сложности и капитальности».

Капитальное закрепление абразионно опасных участков является достаточно дорогостоящим мероприятием, а потому устраивается на более ответственных территориях, где располагаются объекты инфраструктуры, представляющие угрозу окружающей среде при их разрушении, населенные пункты, социально значимые сооружения. В других зонах закрепление не выполняется, что приводит к потере ценных сельскохозяйственных земель и лесных угодий, а также к искажению эстетического восприятия рекреационных зон прилегающих ландшафтов.

К числу наиболее негативных экологических проявлений Волгоградского водохранилища относятся: ухудшение качества воды за счет распространения токсичных сине-зеленых водорослей, или цианобактерий, в среде которых имеются мощные канцерогены; снижение скорости водотока в 9–10 раз, что увеличило за последние 15–20 лет бактериальную загрязненность Волги в 10 тыс. раз; потери воды на испарение до 5 км³ воды в год; повышение мутности воды в 70–100 раз от исходной (до строительства ГЭС) за счет обрушения земли берегов [9, 10].

Как указывает С. В. Долгов [11], «...Волгоградская область обладает значительным потенциалом дальнейшего использования ее водных ресурсов, если не учитывать необходимость обводнения волжской и донской водой соседних Астраханской и Ростовской областей. Принимая во внимание невысокое качество речных вод, водный потенциал Волгоградской области можно считать в значительной мере исчерпанным».

Это указывает на необходимость разработки мероприятий по обеспечению качества вод водохранилища и улучшению его социально-

экономической значимости для населения, основанных на мониторинге фактического состояния объектов берегоукрепления.

Цель исследования – мониторинг экологического состояния прибрежной зоны левобережья водохранилища, исследование технического состояния и работоспособности элементов берегоукрепления сооружениями инженерной защиты.

Материалы и методы. Объектом мониторинга являются участки интенсивной переработки левого берега Волгоградского водохранилища, расположенные в прибрежной полосе у с. Кислово Быковского района (рисунок 1) и у г. Николаевки Николаевского района Волгоградской области.



Рисунок 1 – Участки наблюдений: а) с. Кислово; б) г. Николаевск
Figure 1 – Observation sites: a) Kislovo village; b) Nikolaevsk town

Исходными материалами для исследования послужили архивные материалы, отражающие динамику береговой абразии, современные публикации с результатами научных исследований акватории водохранилища по смежным специальностям, материалы фотофиксации при ежегодных

маршрутных обследований, результаты визуального изучения геологического строения береговой линии.

Результаты и обсуждение. Русловое Волгоградское водохранилище сезонного регулирования стока является нижним в каскаде волжских водохранилищ и одним из крупнейших на Волге: объем его составляет $31,5 \text{ км}^3$, площадь зеркала при нормальном подпертом уровне (НПУ) – около $3,2 \text{ тыс. км}^2$ при средней глубине 10 м. После завершения процесса затопления водохранилища и образования водной поверхности при НПУ в 3117 км^2 максимальной шириной около 10 км (местами до 17 км) были созданы крайне благоприятные условия для размыва берегов гравитационным течением и в основном волнением, образующимся в результате ветрового воздействия. Повышенная интенсивность переработки берегов Волгоградского водохранилища определяется в первую очередь его большими размерами, а также характером обширных безлесных пространств, примыкающих к водохранилищу [4, 9].

По данным Л. В. Кокоулиной (1975), «...размыв берегов начался в 1959 г. при уровне выше 7 м и отмечался в основном на участке от плотины ГЭС до г. Камышина по правому берегу и г. Николаевска по левому берегу. Величина смещения берега на отметке 7,0 м составила 6–10 м. К середине мая 1960 г. бровка берега на отдельных участках отступила на величину до 30 м. По левому берегу такие участки, характерные крутыми приглубыми берегами, сложенными легкоразмываемыми породами, располагались южнее с. Рахинка, у сел Новоникольское, Степана Разина, Нижний Балыклей, южнее с. Кислово, у сел Молчановка, Бережновка, Ровное и др.» [12].

В последние годы развитие процессов переработки берегов Волгоградского водохранилища происходит при относительно стабильном уровне, близком к отметке НПУ и выше. Формирование берегов осуществляется за счет подмыва основания склона, выработки ниш и карнизов, обрушения и осыпания выветренных пород, оползневых процессов, а также за

счет накопления и перемещения разрушенного материала (рисунок 2), что существенно влияет на основные показатели работоспособности водохранилища (полезный и мертвый объемы, площадь зеркала, качество воды, социальная привлекательность) [13].

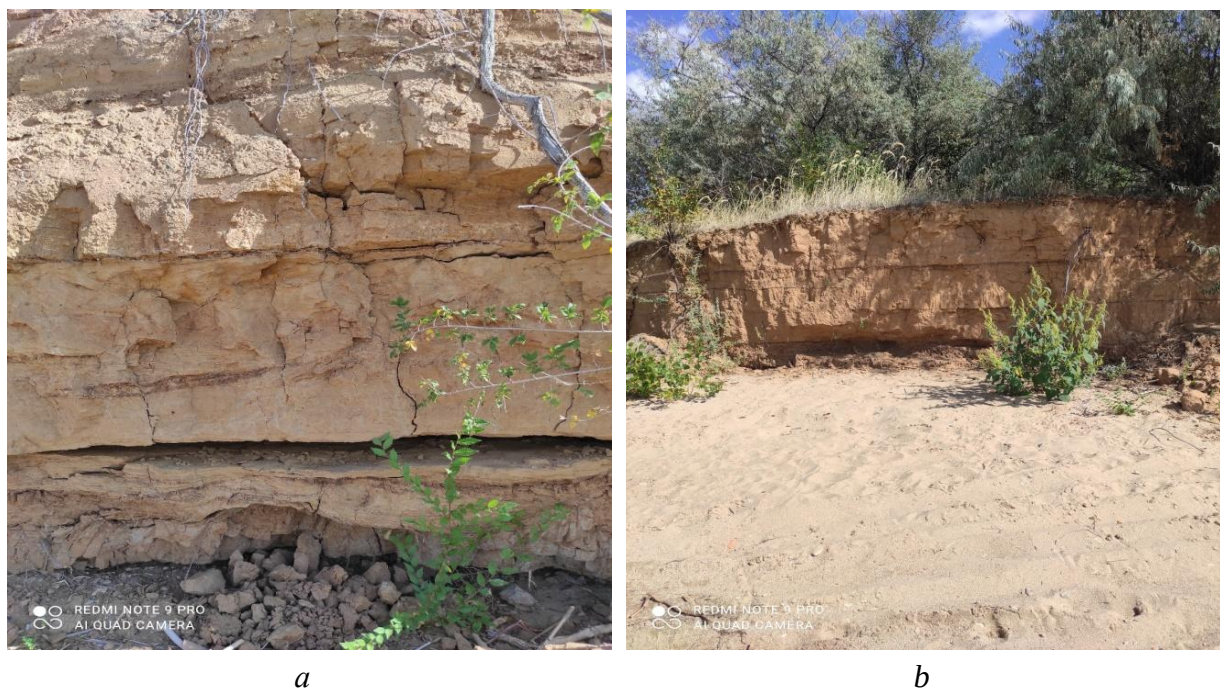


Рисунок 2 – Формирование карниза (a) и ниши (b) обрушения (автор фото С. Я. Семененко)
Figure 2 – Formation of apron (a) and niche (b) of caving (photo by S. Ya. Semenenko)

Отмели формируются преимущественно абразионного и абразионно-аккумулятивного типа.

Современные исследования [14] показали, что «...поступление взвешенных наносов с речным стоком Волги, боковых притоков, с межприточных площадей и сбросом через Волжский гидроузел составляет 13,3 и 10,0 млн т/год соответственно. Темпы осадконакопления в замыкающем каскад водохранилище максимальные – 4,9 мм/год, илонакопление еще выше – 8,0 мм/год. Современная площадь акватории за счет разрушения берегов и размыва островов увеличилась на 122 км². Потеря объема водохранилища к 2016 г. составила 3,93 км³. Суммарный полезный объем водохранилища уменьшился ~ на 4 км³ (12 %)».

Исследователями среди наиболее актуальных проблем выделены «...широкое развитие абразии, водная и ледовая эрозия береговой линии, эвтрофикация, повышение уровня грунтовых вод, ущерб ихтиофауне, а также изменения гидрологического и гидрохимического режима реки и гидробиологической составляющей водоема» [15, 16].

Многолетними маршрутными исследованиями установлено, что аккумуляция абразивного материала осуществляется в основном на участках, сложенных песками и супесями, реже глинистыми отложениями, за счет вдольбереговых перемещений наносов. При понижениях уровня воды в водохранилище на 0,5–1,0 м интенсивность размыва берегов заметно снижается, поскольку обнажение пляжей гасит энергию волнения [13].

Берега Волгоградского водохранилища по генетической типизации относятся к абразионным и оползневым, значительно реже встречаются аккумулятивный и нейтральный типы. Среди первой группы в основном распространены обвальные, осыпные и обвально-осыпные типы переработки берегов, сложенные трудноразмываемыми, крепкими породами: песчаниками, опоками. Берега, сложенные песками и супесями, относятся к абразионному осыпному типу переработки (рисунки 3, 4).



a



b

Рисунок 3 – Осыпной (a) и обвально-осыпной (b) тип переработки (автор фото С. Я. Семененко)

Figure 3 – Slide (a) and landslide-slide (b) type of transformation (photo by S. Ya. Semenenko)



a



b

Рисунок 4 – Формирование участка (a) и призмы (b) обрушения (автор фото С. Я. Семененко)

Figure 4 – Formation of the section (a) and prism (b) of caving (photo by S. Ya. Semenenko)

Исследуемая территория в геоморфологическом отношении расположена на ровной, почти горизонтальной поверхности хвалынской террасы. В геологическом строении северного участка задействованы «шоколадные» глины, местами покрытые желтовато-бурыми суглинками мощностью до 2,0 м.

Абразионный уступ высотой 5,8–7,5 м над НПУ местами обрывается вертикально, при этом пляж практически отсутствует. Такое сочетание факторов даже при небольшом волнении вызывает интенсивное смачивание основания. У подножья уступа отмечаются обвалы, представленные глыбами и крупными обломками глин плитообразной формы. Ведущим по значению фактором переработки берегов является энергия волнения, зависящая от скорости и направления ветра.

Волнообразующие сильные ветры кратковременны и имеют западное, северо-западное и северо-восточное направления. Повторяемость ветра со скоростью до 5 м/с составляет у г. Волжского 59,6 %, Горного Ба-

лыкля – 71,0 %, Камышина – 64,6 %. Ветры со скоростью 6–10 м/с имеют повторяемость 35,7 % на юге водохранилища и 25,2 % – на севере, а со скоростью 11–15 м/с – соответственно 4,3 и 2,4 %. Наибольшая повторяемость ветров со скоростью свыше 15 м/с отмечена у с. Золотого, где она составила 0,8 %.

Максимальная высота волны составляет 3 м, средняя высота волн колеблется в пределах 0,40–0,50 м.

Остальные факторы характеризуются меньшей степенью влияния на переработку берегов, хотя обязательно должны учитываться при оценке дальнейшего развития этого процесса. Переработка берегов Волгоградского водохранилища продолжается в настоящее время и будет происходить еще в течение длительного времени, возможно, с меньшей интенсивностью [4, 9].

Результатом размыва берегов является потеря прибрежных территорий водохранилища, в т. ч. территорий населенных пунктов, улиц, домовладений, при этом на участках левобережья размыв береговой линии идет значительно быстрее и наибольшую опасность представляет собой неизменность скорости размыва во времени (рисунок 5) [9].

На экологическое состояние акватории водохранилища оказывает влияние качество речного стока со стороны верхнего бьефа, сосредоточенного и диффузного геостока, представляющего собой перемещение воды вместе с растворенными и взвешенными минеральными и органическими веществами, живыми организмами, тепловой энергией по поверхности водосборной площади водохранилища, в зоне аэрации и грунтовом потоке, а также качество воды, формирующееся непосредственно в водохранилище.

Увеличению интенсивности антропогенного эвтрофирования водохранилища способствует широкая (400–1000 м), мелководная, хорошо прогреваемая полоса левобережья, ослабленное течение, высокое содержание

в воде органического вещества и поступление биогенных элементов с территории села, они являются прекрасными предвестниками развития сине-зеленых водорослей. При их биомассе $200\text{--}300\text{ г/м}^3$ происходит нарушение процесса фотосинтеза, массовое отмирание и разложение водорослей, повышение потребления кислорода и выделение продуктов распада. В результате происходит вторичное биологическое загрязнение, ухудшается качество воды и санитарное состояние водохранилища [17].



Рисунок 5 – Подмыв жилых строений (а) и неэффективные попытки «стихийного» локального берегоукрепления (b) (автор фото С. Я. Семененко)

Figure 5 – Scouring of residential buildings (a) and ineffective attempts at “spontaneous” local bank protection (b) (photo by S. Ya. Semenenko)

При этом исследованиями «выявлена общая многолетняя тенденция, выраженная в последовательной смене двух фаз зарастания мелководий водохранилища. Первая фаза медленного зарастания акватории водохранилища длилась с 1972 по 1991 г. с показателем 0,9 % от площади водного объекта, вторая фаза быстрого импульсивного зарастания – с 1991 по 2018 г. с показателем 6,7...10,5 %» [18].

В практике защиты от абразии береговой линии Волгоградского во-

дохранилища в зоне проведения исследования использованы нижеследующие способы:

- капитальное берегоукрепление железобетонными блоками и плитами вдоль центральной части г. Николаевки (рисунок 6);
- укрепление габионами – объемными изделиями различной формы из плетеной сетки высокой прочности, заполненными природным камнем (в северной части с. Кислово) (рисунок 7);
- каменная наброска (центральная часть с. Кислово) (рисунок 8).



a



b

Рисунок 6 – Первая очередь строительства берегоукрепления (автор фото С. Я. Семененко)

Figure 6 – First stage of bank protection construction (photo by S. Ya. Semenenko)



a



b

Рисунок 7 – Крепление береговой линии габионами (автор фото С. Я. Семененко)

Figure 7 – Fastening the bank with gabions (photo by S. Ya. Semenenko)



a



b

Рисунок 8 – Берегоукрепление каменной наброской (автор фото С. Я. Семененко)

Figure 8 – Bank protection with rock fill (photo by S. Ya. Semenenko)

Первая очередь строительства в г. Николаевке (рисунок 6), включающая северный участок с вертикальным креплением плитами (*a*) и центральный участок с креплениями блоками (*b*), была сдана в 2016 г. При обследовании в 2024 г. установлена работоспособность по всей длине крепления плитами. Берегоукрепление блоками также оценивается как «работоспособное», однако в центральной части наблюдается начало процесса «сползания» блоков (рисунок *6b*).

В процессе строительства первой очереди (2012–2016 гг.) не была зачищена береговая линия от старого «инициативного» укрепления (рисунок 9*a*), что привело к 2024 г. к интенсивному зарастанию тростником захламленного участка (рисунок 9*b*). Данный участок даст мощный импульс к зарастанию прилегающей акватории водохранилища, которая на данном участке имеет форму залива.

В 2023 г. сдана вторая очередь берегоукрепления с устройством причальной стенки, элементами благоустройства (рисунок 10*a*) и качественным сопряжением типов креплений – блоков и каменной наброски (рисунок 10*b*). Стоимость строительства 1 пог. м первой очереди составила около 223 тыс. руб., а второй – около 266 тыс. руб.



a



b

**Рисунок 9 – Динамика зарастания акватории
(автор фото С. Я. Семененко)**

**Figure 9 – Dynamics of water area overgrowth
(photo by S. Ya. Semenenko)**



a



b

**Рисунок 10 – Вторая очередь строительства берегоукрепления
(автор фото С. Я. Семененко)**

**Figure 10 – The second stage of a bank protection
construction (photo by S. Ya. Semenenko)**

Такой объем затрат возможен при защите особо ценных территорий, например, при укреплении правого берега р. Волги в Центральном районе г. Волгограда, в этом случае стоимость строительства с устройством

контрбанкета с берегоукрепительными конструкциями и системой дренажа, террасированием откосов, организацией отвода поверхностного стока составила около 100 млн руб./пог. м [9].

Значительные средства при борьбе с абразией береговой линии можно экономить, используя защитные конструкции в виде габионов. Стоимость строительно-монтажных работ, включая уполаживание откоса, составляет 60–80 тыс. руб./пог. м. Конструкции такого рода применены для крепления некоторых участков берега в с. Кислово в 2015–2017 гг. (рисунок 7а).

В целом данная конструкция обладает хорошими защитными свойствами (рисунок 7b), особенно если сравнивать ее работу в непосредственной близости с незакрепленным участком.

При проведении маршрутного обследования их технического состояния после девяти лет эксплуатации, в 2024 г., установлено падение оценки работоспособности габионов до уровня «ограниченная работоспособность» и «неработоспособное».

Этому способствовало следующее:

- ошибки в проектировании и монтаже конструкций (укладка габионов на грунт без подготовленного основания и без упорного пояса), что привело к подмыву основания, последующему «заваливанию» и размыву защищаемого грунта за полосой защиты (рисунок 11а);

- недостаточная несущая способность проволоки, используемой для плетения сетки габиона (не учтены условия работы изделия, а именно усилия на разрыв в режиме работы «замораживание-оттаивание»), приведшая к разрыву корпуса и вымыванию материала наполнения (рисунок 11b).

Применение конструкции берегоукрепления в виде каменной наброски (рисунок 11) обусловлено невысоким, 0,4–1,4 м, береговым уступом, обеспечивающим небольшие объемы уполаживания откосов.

Ширина полосы крепления колеблется от 8,0 до 13,5 м, высота

от уреза воды при НПУ до 1,2 м. Обследование показало наличие эффекта «сползания» отдельных камней крепления и в целом конструкции в «приводной» зоне на величину 0,05–0,12 м/год. Техническое состояние «условно работоспособное». Положительная сторона – стоимость в размере 15–25 тыс. руб., отрицательная – требование к высоте берегового уступа.



a



b

Рисунок 11 – Ограниченное (а) и неработоспособное (b) состояние габионов (автор фото С. Я. Семененко)

Figure 11 – Limited (a) and inoperative (b) state of gabions (photo by S. Ya. Semenenko)

Обследование показало одну общую, присущую всем примененным конструкциям берегоукрепления особенность работы – постоянное образование воронки интенсивного размыва в начале участка крепления и в его конце (рисунки 7b, 11), при этом более интенсивно идет размыв верхней (по течению) части, что обусловлено преимущественными ветрами северных румбов и максимальной длиной волны нагона, значение которой для северной точки берегоукрепления составляет 20–26 км.

Выводы. Мониторинг технического состояния различных типов берегоукрепления установил различный уровень их работоспособности по-

сле 7–9 лет эксплуатации в зависимости от класса капитальности: железобетонные плиты и блоки – наиболее устойчивое сооружение с оценкой «работоспособное»; габионы с каменным наполнителем – «неработоспособное»; каменная наброска – «условно работоспособное». Установлено, что локальное, прерывистое берегоукрепление, независимо от класса капитальности сооружения, не обеспечивает длительную абразивную устойчивость левобережья, это отрицательно влияет на гидрологический, гидрохимический и гидробиологический режимы водохранилища.

Список источников

1. Левкевич Е. В. Крепление берегов и верховых откосов подпорных сооружений гидроузлов Беларуси. Минск: БНТУ, 2019. 172 с. EDN: IJOGQO.
2. Левкевич Е. В. Берегозащитные сооружения каскада водохранилищ Вилейско-Минской водной системы // Промышленное и гражданское строительство. 2019. № 1. С. 48–58. EDN: YXNHXV.
3. Разумов В. В., Глушко А. Я. Деградация земель прибрежной территории субъектов юга России под воздействием абразионных процессов // Вестник Московского государственного областного университета. Серия: Естественные науки. 2010. № 3. С. 112–119. EDN: NCINMV.
4. Синяков В. Н., Кузнецова С. В., Беляева Ю. Л. Геоэкологическая безопасность Волгоградской области // Использование и охрана природных ресурсов в России. 2003. № 4–5. С. 18–25.
5. Рогозин А. П. Ранжирование опасных природных и техноприродных процессов по социально-экономическому ущербу от их проявления на территории России // Проблемы безопасности при чрезвычайных ситуациях. 1993. Вып. 2. С. 50–61.
6. Combined additive manufacturing techniques for adaptive coastline protection structures / R. Dörrie, V. Laghi, L. Arrè, G. Kienbaum, N. Babovic, N. Hack, H. Kloft // Buildings. 2022. Vol. 12, iss. 11. 1806. <https://doi.org/10.3390/buildings12111806>. EDN: QRJUEF.
7. Singhvi A., Luijendijk A. P., van Oudenhoven A. P. E. The grey – green spectrum: A review of coastal protection interventions // Journal of Environmental Management. 2022. Vol. 311. 114824. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.114824>. EDN: VHMABB.
8. New maps relative to the special protection area of the «palude di Torre Flavia» (central Tyrrhenian Sea – Italy) prone to severe coastal erosion / L. Davoli, R. Raffi, M. A. Baldassarre, P. Bellotti, L. Di Bella // Italian Journal of Engineering Geology and Environment. 2019. № 2. P. 5–12. <https://doi.org/10.4408/IJEGE.2019-02.O-01>. EDN: AROXUA.
9. Семененко С. Я. Водохранилища равнинных рек. Проблемы и решения // Успехи современного естествознания. 2017. № 2. С. 145–151. EDN: YHTNGP.
10. Филиппов О. В., Золотарев Д. В., Солодовников Д. А. Экологические проблемы заливов и устьев притоков Волгоградского водохранилища в условиях абразии и вдольберегового транспорта наносов // Проблемы комплексного исследования Волгоградского водохранилища: сб. науч. ст. Волгоград, 2009. С. 119–142. EDN: SJPCVT.
11. Долгов С. В. Водный потенциал Волгоградской области и его современные изменения // Известия Российской академии наук. Серия географическая. 2018. № 4. С. 77–88. DOI: 10.1134/S2587556618040040. EDN: XXYWDZ.

12. Кокоулина Л. В. Переформирование берегов Волгоградского водохранилища // Сборник работ Волгоградской ГМО. Л.: Гидрометеиздат, 1975. Вып. 2. С. 4–30.
13. Шубин М. А., Юшин О. В. Мониторинг экологической безопасности прибрежных городских территорий волгоградского водохранилища // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2016. Вып. 44(63), ч. 1. С. 119–129.
14. Пространственно-временная трансформация грунтового комплекса водохранилищ Волги. Сообщение 8. Формирование берегов и ложа Волгоградского водохранилища / В. В. Законнов, О. В. Филиппов, М. С. Баранова, А. И. Кочеткова, А. В. Законнова // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2021. № 6. С. 6–29. DOI: 10.35567/1999-4508-2021-6-1. EDN: BQLAMI.
15. Лобойко В. Ф., Овчарова А. Ю. Причины возникновения экологических проблем прибрежной зоны южной части Волгоградского водохранилища и пути их решения // Водохранилища Российской Федерации: современные экологические проблемы, состояние, управление: материалы Всерос. науч.-практ. конф., г. Сочи, 23–29 сент. 2019 г. Новочеркасск: Лик, 2019. С. 367–373. EDN: AUNKWV.
16. Ретроспективная характеристика Волгоградского водохранилища как источника водоснабжения городского и сельского населения / В. Ф. Спирин, А. А. Орлов, С. А. Мосияш, Е. А. Шашуловская // Фундаментальные исследования. 2015. № 2-25. С. 5605–5609. EDN: UAHNPP.
17. Семенов С. Я. Волгоградское водохранилище: история, проблемы, решения // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2017. № 1(45). С. 53–63. EDN: YSLEBB.
18. Динамика зарастания Волгоградского водохранилища (1972–2018 гг.) / А. И. Кочеткова, Е. С. Брызгалина, О. В. Филиппов, М. С. Баранова // Принципы экологии. 2022. № 1. С. 68–73. DOI: 10.15393/j1.art.2022.10002. EDN: WPJXTI.

References

1. Levkevich E.V., 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. Levkevich E.V., 2019. *Beregozashchitnye sooruzheniya kaskada vodokhranilishch Vileysko-Minskoy vodnoy sistemy* [Bank protection structures of the cascade of water reservoirs of the Vilia-Minsk water system]. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo* [Industrial and Civil Engineering], no. 1, pp. 48-58, EDN: YXHHXV. (In Russian).
3. Razumov V.V., Glushko A.Ya., 2010. *Degradatsiya zemel' pribrezhnoy territorii sub"ektov yuga Rossii pod vozhdeystviem abrazionnykh protsessov* [Degradation of river-side territories in the southern regions of Russia under the influence of abrasion processes]. *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo oblastnogo universiteta. Seriya: Yestestvennye nauki* [Bulletin of Moscow State Regional University. Series: Natural Sciences]. no. 3, pp. 112-119. EDN: NCINMV. (In Russian).
4. Sinyakov V.N., Kuznetsova S.V., Belyaeva Yu.L., 2003. *Geoekologicheskaya bezopasnost' Volgogradskoy oblasti* [Environmental safety of Volgograd region]. *Ispolzovanie i okhrana prirodnnykh resursov v Rossii* [Use and Protection of Natural Resources in Russia], no. 4-5, pp. 18-25. (In Russian).
5. Rogozin A.P., 1993. *Ranzhirovanie opasnykh prirodnnykh i tekhnoprirodnnykh protsessov po sotsial'no-ekonomicheskomu ushcherbu ot ikh proyavleniya na territorii Rossii* [Ranking of hazardous natural and man-made processes by socio-economic damage from their manifestation on the territory of Russia]. *Problemy bezopasnosti pri chrezvychaynykh situatsiyakh* [Problems of Safety in Emergency Situations], iss. 2, pp. 50-61. (In Russian).

6. Dörrie R., Laghi V., Arrè L., Kienbaum G., Babovic N., Hack N., Kloft H., 2022. Combined additive manufacturing techniques for adaptive coastline protection structures. *Buildings*, vol. 12, iss. 11, 1806, <https://doi.org/10.3390/buildings12111806>, EDN: QRJUEF.

7. Singhvi A., Luijendijk A.P., van Oudenhoven A.P.E., 2022. The gray – green spectrum: A review of coastal protection interventions. *Journal of Environmental Management*, vol. 311, 114824, <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.114824>, EDN: VHMABB.

8. Davoli L., Raffi R., Baldassarre M.A., Bellotti P., Di Bella L., 2019. New maps relative to the special protection area of the «palude di Torre Flavia» (central Tyrrhenian Sea – Italy) prone to severe coastal erosion. *Italian Journal of Engineering Geology and Environment*, no. 2, pp. 5-12, <https://doi.org/10.4408/IJEGE.2019-02.O-01>, EDN: AROXUA.

9. Semenenko S.Ya., 2017. *Vodokhranilishcha ravninnykh rek: problemy i resheniya* [Reservoirs lowland rivers. Problems and solutions]. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya* [Successes in Modern Natural Science], no. 2, pp. 145-151, EDN: YHTNGP. (In Russian).

10. Filippov O.V., Zolotarev D.V., Solodovnikov D.A., 2009. *Ekologicheskie problemy zalivov i ust'ev pritokov Volgogradskogo vodokhranilishcha v usloviyakh abrazii i vdol'beregovogo transporta nanosov* [Ecological problems of bays and estuarial tributaries of the Volgograd reservoir in conditions of abrasion and alongshore sediment transport]. *Problemy kompleksnogo issledovaniya Volgogradskogo vodokhranilishcha: sb. nauch. st.* [Problems of Integrated Study of the Volgograd Reservoir: coll. of sci. art.]. Volgograd, pp. 119-142, EDN: SJPCVT. (In Russian).

11. Dolgov S.V., 2018. *Vodnyy potentsial Volgogradskoy oblasti i yego sovremennye izmeneniya* [Water potential of Volgograd region and its modern changes]. *Izvestiya Rossiyskoy akademii nauk. Seriya geograficheskaya* [Bulletin of the Russian Academy of Sciences. Geographical series], no. 4, pp. 77-88, DOI: 10.1134/S2587556618040040, EDN: XXYWDZ. (In Russian).

12. Kokoulina L.V., 1975. *Pereformirovanie beregov Volgogradskogo vodokhranilishcha* [Reformatting of the banks of the Volgograd Reservoir]. *Sbornik rabot Volgogradskoy GMO* [Collection of papers of Volgograd GMO]. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., iss. 2, pp. 4-30. (In Russian).

13. Shubin M.A., Yushin O.V., 2016. *Monitoring ekologicheskoy bezopasnosti pribrezhnykh gorodskikh territoriy volgogradskogo vodokhranilishcha* [Monitoring of ecological safety of coastal urban areas of the Volgograd reservoir]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arkhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Construction and Architecture]. iss. 44(63), part 1, pp. 119-129. (In Russian).

14. Zakonnov V.V., Filippov O.V., Baranova M.S., Kochetkova A.I., Zakonnova A.V., 2021. *Prostranstvenno-vremennaya transformatsiya gruntovogo kompleksa vodokhranilishch Volgi. Soobshchenie 8. Formirovanie beregov i lozha Volgogradskogo vodokhranilishcha* [Spatio-temporal transformation of the sediment complex in the Volga reservoirs. Communication 8. Formation of the Volgograd reservoir banks and bed]. *Vodnoe khozyaystvo Rossii: problemy, tekhnologii, upravlenie* [Water Management of Russia: Problems, Technologies, Management], no. 6, pp. 6-29, DOI: 10.35567/1999-4508-2021-6-1, EDN: BQLAMI. (In Russian).

15. Loboyko V.F., Ovcharova A.Yu., 2019. *Prichiny vozniknoveniya ekologicheskikh problem pribrezhnoy zony yuzhnoy chasti Volgogradskogo vodokhranilishcha i puti ikh resheniya* [Causes of environmental problems in the coastal zone of the southern part of the Volgograd Reservoir and ways to solve them]. *Vodokhranilishcha Rossiyskoy Federatsii: sovremennye ekologicheskie problemy, sostoyanie, upravlenie: materialy Vseros. nauchno-prakt. konferentsii* [Reservoirs of the Russian Federation: Modern Environmental Problems, State, Management: Proc. of the All-Russian Scientific and Practical Conference]. Novocherkassk, Lik Publ., pp. 367-373, EDN: AUNKWV. (In Russian).

16. Spirin V.F., Orlov A.A., Mosiyash S.A., Shashulovskaya E.A., 2015. *Retrospektivnaya kharakteristika Volgogradskogo vodokhranilishcha kak istochnika vodosnabzheniya gorodskogo i sel'skogo naseleniya* [Retrospective characteristic of the Volgograd Reservoir as a source of water supply for urban and rural populations]. *Fundamental'nye issledovaniya* [Fundamental Research], no. 2-25, pp. 5605-5609, EDN: UAHHP. (In Russian).

17. Semenenko S.Ya., 2017. *Volgogradskoe vodokhranilishche: istoriya, problemy, resheniya* [Volgograd Reservoir: history, problems, solutions]. *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vysshee professional'noe obrazovanie* [Bullet. of the Lower Volga Agro-University Complex: Science and Higher Education], no. 1(45), pp. 53-63. EDN: YSLEBB. (In Russian).

18. Kochetkova A.I., Bryzgalina E.S., Filippov O.V., Baranova M.S., 2022. *Dinamika zarastaniya Volgogradskogo vodokhranilishcha (1972–2018 gg.)* [Dynamics of overgrowth of the Volgograd Reservoir (1972–2018)]. *Printsipy ekologii* [Principles of Ecology], no. 1, pp. 68-73, DOI: 10.15393/j1.art.2022.10002, EDN: WPJXTI. (In Russian).

Информация об авторах

С. Я. Семененко – главный научный сотрудник, доктор сельскохозяйственных наук, Всероссийский научно-исследовательский институт орошаемого земледелия – филиал Федерального научного центра гидротехники и мелиорации имени А. Н. Костякова, Волгоград, Российская Федерация, semenenkosy.vniioz@yandex.ru, ORCID: 0000-0001-5992-8127;

А. Е. Новиков – директор, доктор технических наук, член-корреспондент РАН, Всероссийский научно-исследовательский институт орошаемого земледелия – филиал Федерального научного центра гидротехники и мелиорации имени А. Н. Костякова, Волгоград, Российская Федерация, ae_novikov@mail.ru, ORCID: 0000-0002-8051-4786.

Information about the authors

S. Ya. Semenenko – Chief Researcher, Doctor of Agricultural Sciences, All-Russian Research Institute of Irrigated Agriculture – branch of the Federal Scientific Center of Hydraulic Engineering and Land Reclamation named after A. N. Kostyakov, Volgograd, Russian Federation, semenenkosy.vniioz@yandex.ru, ORCID: 0000-0001-5992-8127;

A. E. Novikov – Director, Doctor of Technical Sciences, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, All-Russian Research Institute of Irrigated Agriculture – branch of the Federal Scientific Center of Hydraulic Engineering and Land Reclamation named after A. N. Kostyakov, Volgograd, Russian Federation, ae_novikov@mail.ru, ORCID: 0000-0002-8051-4786.

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 21.11.2024; одобрена после рецензирования 13.02.2025; принята к публикации 06.03.2025.

The article was submitted 21.11.2024; approved after reviewing 13.02.2025; accepted for publication 06.03.2025.