Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. 2026. Т. 99, № 2. С. 21–34.
Ways of Increasing the Efficiency of Irrigated Agriculture. 2026. Vol. 99, no. 2. P. 21–34.

АКТУАЛЬНЫЕ НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
В ОБЛАСТИ МЕЛИОРАЦИИ И ГИДРОТЕХНИКИ

Научная статья
УДК 626/627

Оценка работы берегозащитной дамбы Большого Ставропольского канала

Дмитрий Сергеевич Рыбалко[1], Олег Андреевич Баев[2]
[1, 2]Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск, Российская Федерация
[1]ruba4eks@gmail.com
[2]Oleg-Baev1@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0003-0142-4270

Аннотация. **Цель:** на основе материалов визуального обследования и поверочных расчетов оценить работу левобережной берегозащитной дамбы Большого Ставропольского канала, определить степень ее опасности и сформулировать рекомендации по восстановлению эксплуатационной надежности и безопасности. В статье рассматриваются результаты оценки технического состояния и устойчивости берегозащитной дамбы канала на участке с повышенным уровнем опасности. **Материалы и методы.** На основе данных проведенного визуального обследования, анализа инженерно-геологических условий и результатов численного моделирования с использованием программного комплекса «GeoStab 8.1» выполнен расчет коэффициента устойчивости откоса с использованием метода Феллениуса. Физико-механические характеристики противофильтрационного элемента были приняты по результатам лабораторных испытаний грунтов. **Результаты.** Расчет устойчивости откоса методом Феллениуса в программном комплексе «GeoStab 8.1» с учетом сейсмики восемь баллов показал коэффициент запаса в пределах 1,301, что формально превышает допустимый нормативными документами минимум 1,25. Ввиду активного развития фильтрационных процессов и потенциальной суффозии существует высокая вероятность снижения прочностных характеристик противофильтрационного экрана и основания. Фактическое состояние дамбы оценивается как ограниченно работоспособное из-за прогрессирующих в ее теле фильтрационных процессов. **Выводы.** Обоснована необходимость проведения берегозащитных и противофильтрационных мероприятий для приведения сооружения в нормативное техническое состояние. Полный комплекс рекомендуемых работ, включающий усиление дамбы, устройство защитного противофильтрационного экрана и организацию автоматизированного мониторинга, позволит привести гидротехническое сооружение в нормативное состояние и повысить его безопасность.

Ключевые слова: Большой Ставропольский канал, дамба, устойчивость откоса, метод Феллениуса, фильтрация, противофильтрационный экран, техническое состояние

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, 28 мая 2026 г.).

Для цитирования: Рыбалко Д. С., Баев О. А. Оценка работы берегозащитной дамбы Большого Ставропольского канала // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. 2026. Т. 99, № 2. С. 21–34.

© Рыбалко Д. С., Баев О. А., 2026

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

Original article

Evaluation of the bank protection dam performance of the Great Stavropol Canal

Dmitry S. Rybalko[1], Oleg A. Baev[2]
[1, 2]Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk, Russian Federation
[1]ruba4eks@gmail.com
[2]Oleg-Baev1@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0003-0142-4270

Abstract. **Purpose:** to evaluate the performance of the left-bank coastal protection dam of the Great Stavropol Canal based on visual inspection materials and verification calculations, to determine the degree of its hazard, and to formulate recommendations for restoring performance reliability and safety. The results of estimating the technical condition and stability of the canal's bank protection dam in a section with an increased hazard level are discussed. **Materials and Methods.** Based on the visual inspection data, engineering and geological condition analysis, and the results of numerical modeling using the GeoStab 8.1 software package, the stability number of slope was calculated using the Fellenius method. The physicomechanical characteristics of the impermeable element were adopted based on the results of laboratory soil tests. **Results.** Slope stability calculations using the Fellenius method in the GeoStab 8.1 software package, taking into account seismic activity of magnitude 8, yielded a safety factor of 1.301, which formally exceeds the lowest acceptable minimum permitted by regulatory documents of 1.25. Due to the active development of seepage processes and potential suffusion, there is a high probability of a decrease in the strength characteristics of the impervious membrane and foundation. The actual condition of the dam is estimated as limited functioning due to the progressive seepage processes within its body. **Conclusions.** The need for bank protection and impervious measures to bring the structure up to standard technical condition is substantiated. A full range of recommended works, including dam reinforcement, the protective impervious membrane installation, and the automated monitoring organization will bring the hydraulic structure up to standard condition and improve its safety.

Keywords: the Great Stavropol Canal, dam, slope stability, Fellenius method, filtration, impervious membrane, technical condition

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 28, 2026).

For citation: Rybalko D. S., Baev O. A. Evaluation of the bank protection dam performance of the Great Stavropol Canal. *Ways of Increasing the Efficiency of Irrigated Agriculture.* 2026;99(2):21–34. (In Russ.).

Введение. Территория обводнительно-оросительной системы Большого Ставропольского канала (БСК) слагается в основном высокоплодородными черноземами и каштановыми почвами, но из-за повсеместного недостатка влаги относится к зоне рискованного земледелия [1]. БСК явля-

ется ключевым гидротехническим сооружением Северного Кавказа, обеспечивающим обводнение засушливых земель Ставропольского края, а в перспективе и Республики Калмыкии, водоснабжение населенных пунктов, техническое водоснабжение объектов энергетики, а также обеспечение нужд мелиорации [2]. Протяженность линейной части канала составляет порядка 288 км, проектная – 480 км, комплекс гидротехнических сооружений БСК также включает Усть-Джегутинский гидроузел на р. Кубань, межхозяйственные распределители общей протяженностью 666 км, 8 водохранилищ вторичного внутрисистемного регулирования, групповые водопроводы, гидроэлектростанцию и другие сооружения [3, 4].

Основной целью функционирования БСК является своевременная и бесперебойная подача воды для нужд обводнения и орошения сельскохозяйственных угодий, а также для хозяйственно-питьевого водоснабжения городов и населенных пунктов [2]. Кроме того, не менее значимыми является подача на каскады ГЭС, рыбохозяйственные нужды, опреснение рек и лиманов.

Канал проходит как в выемке, полунасыпи, так и насыпи. Надежность всей системы напрямую зависит от состояния земляных дамб, особенно на участках, где русло канала расположено выше прилегающей жилой застройки.

В работе А. А. Кондратенко [5] приводит следующие основные показатели мощности БСК: орошение земель в Карачаево-Черкесской республике и Ставропольском крае; водоснабжение (в т. ч. и для целей животноводства); обеспечение технической водой Невинномысского промышленного комплекса и Невинномысской ГЭС; обводнение маловодных водотоков и территорий засушливых степей Ставрополья.

Одним из таких наиболее ответственных участков БСК является зона в пределах города Усть-Джегута (Карачаево-Черкесская Республика), где левобережная дамба удерживает воду в условиях плотной городской ин-

фраструктуры. Согласно данным Федеральной службы государственной статистики, население города с момента пуска БСК выросло с 12 тыс. до более чем 31 тыс. человек, что повышает класс ответственности сооружения и требования к его надежности в соответствии с СП 39.13330.2012[1]. В 2024 г. после завершения реконструкции головного гидроузла фокус внимания эксплуатационных служб сместился на состояние линейных дамб, по результатам осмотра которых был выявлен ряд отклонений от действующих норм.

Существующие опасения были подтверждены А. А. Ткачевым [6], отмечавшим что, согласно расчетам, грунт дамбы канала в пределах до 20 км от головного водозабора является недоуплотненным и суффозным.

Цель статьи: на основе материалов визуального обследования и поверочных расчетов оценить работу левобережной берегозащитной дамбы БСК, определить степень ее опасности и сформулировать рекомендации по восстановлению эксплуатационной надежности и безопасности.

Материалы и методы. Головное сооружение БСК включает комплекс плотин и водосбросов, образующих Усть-Джегутинское водохранилище. После реконструкции 2024 г. узел находится в нормативном техническом состоянии. Однако уже на ПК4 + 10 начинается участок, вызывающий серьезные опасения: русло канала по левой стороне проходит в насыпи, причем отметка дна значительно превышает уровень застройки основной части города Усть-Джегута. Это означает, что любое разрушение левой дамбы способно вызвать затопление жилых кварталов.

Левобережная дамба на этом отрезке представляет собой грунтовое подпорное сооружение с противофильтрационным экраном из суглинка, уложенным по подготовке из гравийно-галечниковых грунтов. Именно здесь при плановом осмотре были зафиксированы трещины и разрушения

[1]Плотины из грунтовых материалов: СП 39.13330.2012: утв. М-вом регионального развития РФ 29.12. 2011: введ. в действие с 01.01.13. М.: Минрегион России, 2013. 60 с.

бетонной облицовки, а главное – очаги неорганизованной фильтрации в основании низового откоса. При этом ширина дамбы по гребню составляет от 3,0 до 4,4 м, что не соответствует минимальному нормативу (4,5 м для грунтовых плотин по СП 39.13330.2012[1] п. 5.11). Комбинация недостаточной ширины фильтрующего основания и повышенной гидравлической нагрузки потребовала проведения углубленного анализа устойчивости.

По данным инженерно-геологических изысканий, выполненных в рамках проекта реконструкции головного гидроузла, в основании дамбы залегают гравийные и щебеночные грунты, обладающие высокими фильтрационными свойствами и низким коэффициентом устойчивости. Коэффициент фильтрации таких отложений может достигать сотни метров в сутки, что делает их практически беззащитными против внутренней эрозии при отсутствии надежного экрана. Физико-механические характеристики противофильтрационного элемента были приняты по результатам лабораторных испытаний. Суглинок укладывался в качестве экрана, однако его толщина и качество сопряжения с бетонными конструкциями на момент обследования вызывают сомнения из-за наблюдаемой фильтрации.

Исходные нормативные и расчетные параметры грунтов, использованные при моделировании, приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Физико-механические характеристики грунтов основания и дамбы

Table 1 – Physical and mechanical characteristics of foundation and dam soils

№ ИГЭ	Наименование грунта	γ, кН/м^3	c, кПа	φ, град	γ~sat~, кН/м^3
1	Суглинок твердый	16,4	16,0	16,0	17,9
2	Суглинок твердый	19,7	21,1	19,4	17,9
3	Гравий	19,7	10,1	20,2	20,0
Примечание: γ – удельный вес при природной влажности, кН/м^3; c – удельное сцепление, кПа; φ – угол внутреннего трения, град; γ~sat~ – удельный вес в водонасыщенном состоянии, кН/м^3; ИГЭ – инженерно-геологический элемент.					

Такая двухслойная конструкция (суглинистый экран по гравийному основанию) является гидравлически уязвимой: при локальном повреждe-

нии экрана возникают сосредоточенные фильтрационные ходы, способные быстро размыть подстилающий гравий и привести к прогрессирующему разрушению дамбы. Именно эта опасность стала ключевым показателем для отнесения участка к категории «повышенного уровня опасности» и проведения внеочередного расчета устойчивости.

Результаты и обсуждение. Выполненные натурные обследования показали, что головной гидроузел и значительная часть линейных объектов канала находятся в работоспособном или нормативном состоянии. Однако, участок левой дамбы вдоль г. Усть-Джегута ПК4 + 10 – ПК75 + 05 выделялся рядом нарушений:

- разрушение бетонной облицовки; на значительном протяжении облицовка верховых откосов отсутствует или разрушена, что повышает фильтрацию вод и провоцирует эрозию тела дамбы;

- отсутствует укрепление и дренажная система низового откоса тела дамбы, что повышает вероятность оползневых явлений;

- очаги фильтрации на низовом откосе; в основании откоса зафиксированы мокрые пятна и места высачивания воды, свидетельствующие о повреждении или локальном отсутствии суглинистого экрана;

- недостаточная ширина гребня; при норме не менее 4,5 м фактическая ширина составляет от 3,0 до 4,4 м, что не позволяет устроить полноценное дорожное полотно и ухудшает общую устойчивость сооружения к волновым и сейсмическим воздействиям;

- повышенный риск при росте уровня ответственности; в соответствии с СП 39.13330.2012[1] п. 4.9 необходимо выполнять реконструкцию плотин при повышении требований к надежности, связанном с увеличением численности населения в нижнем бьефе.

Перечисленные факты позволили уже на этапе осмотра классифицировать техническое состояние участка как «ограниченно работоспособное»

согласно ГОСТ 31937[2]. Несмотря на допустимый предварительный расчетный коэффициент устойчивости, сочетание фильтрации в основании и несоответствия геометрии нормам создает реальную угрозу аварии, поэтому рекомендовано выполнить комплекс противофильтрационных и берегоукрепительных работ.

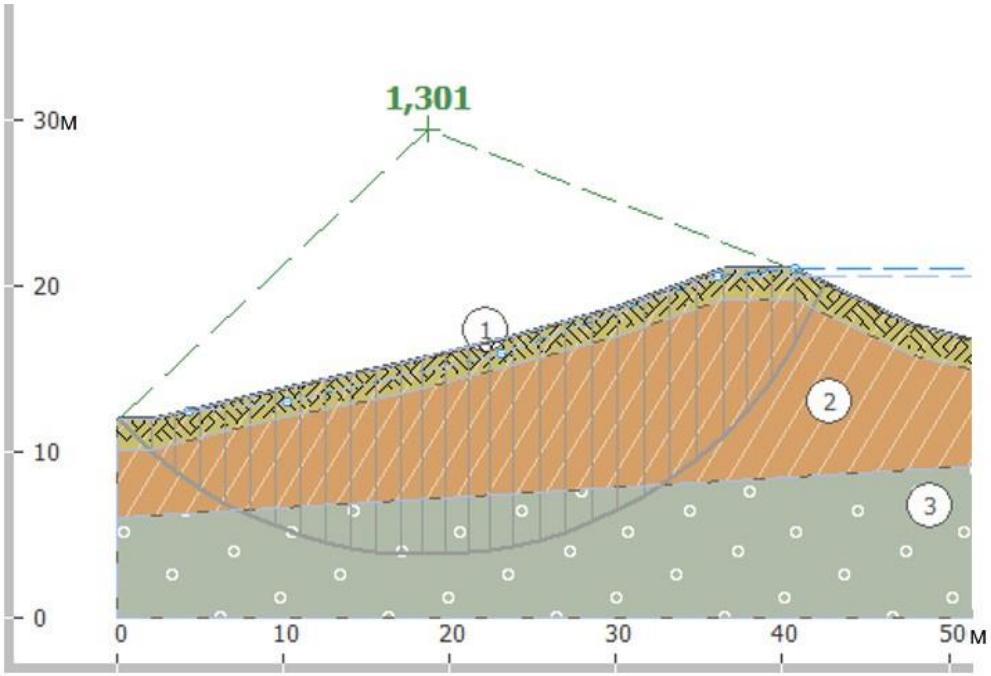
Для количественной оценки был выполнен поверочный расчет устойчивости левого (низового) откоса дамбы [7] с использованием сертифицированного программного комплекса «GeoStab 8.1». Расчет выполнялся методом Феллениуса (метод круглоцилиндрических поверхностей скольжения) [8], который дает консервативные значения коэффициента запаса и широко применяется в отечественной практике для оценки устойчивости грунтовых откосов. Полученные значения сопоставлялись с нормативными, представленными в СП 39.13330.2012[1] «Плотины из грунтовых материалов».

Рассматривался наиболее опасный расчетный случай: максимальный уровень воды в канале, соответствующее насыщение тела дамбы и проявление фильтрационных сил на низовом откосе, а также сейсмическое воздействие интенсивностью 8 баллов (район Северного Кавказа), моделируемое добавлением инерционных сил. Допустимый коэффициент устойчивости был принят равным 1,250 – минимально требуемая величина для основного сочетания нагрузок с учетом особого воздействия (сейсмика) согласно нормам для сооружений столь высокой социальной ответственности.

В соответствии с геометрией поперечного профиля, полученной при инструментальной съемке, была сформирована расчетная область, включающая три инженерно-геологических элемента (ИГЭ): два слоя суглинка (экран и часть тела дамбы) и основание из гравия. Положение кривой депрессии задавалось по результатам пьезометрических наблюдений с учетом установившейся фильтрации через суглинистый экран. Координаты центра

[2]ГОСТ 31937-2024. Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния. Введ. 2024-05-01. М.: Ин-т стандартизации, 2024. 82 с.

и радиус наиболее опасной поверхности скольжения подбирались автоматически путем варьирования положения центра и поиска минимального коэффициента запаса. В итоге была зафиксирована круглоцилиндрическая поверхность с центром X_c = 18,71 м, Y_c = 29,34 м и радиусом R = 25,56 м, показанная на рисунке 1. Поверхность охватывает как суглинистый экран, так и часть гравийного основания, что отражает реальную картину возможного оползня, при котором происходит срез по контакту экрана с последующим захватом подстилающего гравия.



1 – техногенный грунт: суглинок легкий пылеватый, твердый, среднепросадочный, с включениями строительного мусора до 30 %; *2* – техногенный грунт: дресвяный грунт, заполнитель суглинок легкий пылеватый, твердый 49,5 %; *3* – аллювиально-делювиальные отложения: гравийно-галечниковый грунт, водонасыщенный, с супесчаным и песчаным заполнителем до 30 %

1 – man-made soil: light, silty, hard, moderately subsiding loam, with up to 30 % construction debris; *2* – man-made soil: sandy medium fine gravel grussy soil fill, light, silty, hard loam 49.5 %; *3* – alluvial-deluvial deposits: gravel-pebble soil, water-saturated, with sandy loam and sandy fill, up to 30 %

Рисунок 1 – Схема разбивки профиля дамбы

Figure 1 – Dam profile layout

Итогом расчета с разбивкой призмы обрушения на 28 элементарных отсеков стало получение коэффициента устойчивости:

$$K_y = \sum M_{\text{реакт}} / \sum M_{\text{акт}} = 48997{,}1/37654{,}2 = 1{,}301,$$

где $M_{\text{акт}}$ – это сдвигающий момент, создаваемый силами, которые стремятся вызвать обрушение откоса, кН·м на пог. м;

$M_{\text{реакт}}$ – это удерживающий момент, создаваемый силами сопротивления сдвигу, кН·м на пог. м.

Сводные данные о силовых факторах и моментах приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Сводка момента сил к расчету устойчивости (метод Феллениуса)

Table 2 – Summary of the force moment for stability analysis (Fellenius method)

Показатель	Значение
Суммарный момент активных сдвигающих сил $\Sigma M_{\text{акт}}$, кН·м на пог. м	37654,200
Суммарный момент сил трения и сцепления $\Sigma M_{\text{реакт}}$, кН·м на пог. м	48997,100
Момент от армирующих элементов, кН·м на пог. м	0,000
Коэффициент устойчивости	1,301

Анализ поведения отдельных отсеков показывает, что в зоне приложения максимальных касательных напряжений удерживающие силы значительно превышают сдвигающие, что формирует основной запас. Тем не менее, наиболее напряженные отсеки приурочены к контакту «суглинок – гравий» и к зоне выхода кривой депрессии на откос, где помимо статических нагрузок велика доля фильтрационного давления.

Полученное значение K_y = 1,3 формально удовлетворяет нормативному требованию (1,25) даже с учетом сейсмического воздействия в 8 баллов. Это свидетельствует о том, что при текущем состоянии грунтов и отсутствии прогрессирующего разупрочнения откос сохраняет статическую устойчивость. Однако трактовка этого единственного показателя как гарантии безопасности была бы грубой ошибкой по нескольким причинам. Во-первых, устойчивость в методе Феллениуса оценивается для круглоцилиндрической поверхности, определенной по сегодняшнему состоянию свойств. Фильтрационные дефекты, зафиксированные визуально, приводят к

локальному выносу мелких частиц из суглинистого экрана и подстилающего гравия. Во-вторых, в расчетах не были учтены очаги фильтрации, которые отрицательно отразятся на коэффициенте запаса устойчивости. Этот процесс суффозии с течением времени способен существенно снизить как сцепление, так и угол внутреннего трения в зоне контакта [9].

При размыве экрана эффективные прочностные характеристики могут снизиться, и тогда коэффициент запаса быстро окажется ниже критического порога [10]. Во-третьих, недостаточная ширина гребня (3–4,4 м вместо 4,5 м) снижает способность дамбы противостоять волновому воздействию и возможному переливу через гребень при экстремальных паводках. При переливе даже тонкого слоя воды через недоуплотненный грунт размыв гребня развивается стремительно, что чревато быстрым прорывом дамбы. В-четвертых, повышение класса ответственности сооружения влечет необходимость обеспечения не только минимального коэффициента запаса, но и повышение мониторинга противофильтрационных устройств и увеличения ширины гребня. Таким образом, техническое состояние дамбы классифицировано как «ограниченно работоспособное»: сооружение может выполнять свои функции, но риск аварии при неблагоприятном развитии деградационных процессов остается высоким. Не рекомендуется эксплуатировать объект в таком состоянии без реализации компенсирующих мероприятий.

На основании общего анализа материалов обследования, результатов расчетов, а также нормативных источников можно сформулировать следующие первоочередные технические решения.

1 Противофильтрационные мероприятия. Прежде всего, необходимо выполнить ремонт или полную замену суглинистого экрана с устройством надежного замка и примыкания к бетонным конструкциям. Рекомендуется рассмотреть устройство геотекстильного противофильтрационного элемента.

2 Усиление тела дамбы. Ширину гребня по всему участку следует

довести до минимальных нормативных 4,5 м (а с учетом повышенной ответственности – до 6,0 м), что одновременно повысит коэффициент запаса устойчивости и обеспечит возможность механизированного обслуживания русла канала при строительных и эксплуатационных работах. Досыпку низового откоса вести с послойным уплотнением и устройством дренажных призм.

3 Берегоукрепление откосов. Восстановить бетонную облицовку либо применить современные гибкие берегозащитные покрытия (бетонные маты, бетононаполняемые маты, габионы, геоматы с каменным заполнением), предотвращающие поверхностную эрозию.

4 Организация системы мониторинга. Установить постоянные пьезометры, датчики деформаций и расходомеры в дренажных устройствах для раннего выявления суффозионных процессов и оперативного регулирования уровня воды в канале.

5 Инструментальное обследование мостовых переходов. Учитывая аварийное состояние некоторых мостов, расположенных на данном участке, необходимо выполнить расчет их остаточной несущей способности и при необходимости усилить (или заменить элементы конструкций), чтобы исключить риск дополнительного нагружения дамбы при обрушении мостовых элементов.

Выводы

1 Визуальное обследование левобережной дамбы Большого Ставропольского канала на участке ПК4 + 10 – ПК75 + 05 выявило совокупность опасных дефектов: разрушение облицовки, очаги фильтрации в основании низового откоса и несоответствие ширины гребня (3–4,4 м) требованиям СП 39.13330.2012[1] (не менее 4,5 м).

2 Расчет устойчивости откоса методом Феллениуса в программе «GeoStab 8.1» с учетом сейсмики 8 баллов показал коэффициент запаса 1,301, что формально превышает допустимый минимум 1,25, но не учиты-

вает очаги фильтрации. Это указывает на отсутствие в данный момент угрозы обрушения при стабильных свойствах грунтов, но не гарантирует безаварийную работу в долгосрочной перспективе.

3 Ввиду активного развития фильтрационных процессов и потенциальной суффозии существует высокая вероятность снижения прочностных и противофильтрационных характеристик экрана и основания, что в короткие сроки может привести к потере устойчивости и прорыву дамбы. Сочетание этих факторов делает абсолютно обоснованным присвоение сооружению статуса «ограниченно работоспособное».

4 Повышение класса ответственности дамбы, вызванное ростом населения г. Усть-Джегута, дополнительно подтверждает требование проведения противофильтрационных и берегозащитных мероприятий на наиболее опасных участках канала.

5 Полный комплекс рекомендуемых работ, включающий усиление дамбы, устройство современного противофильтрационного экрана и организацию автоматизированного мониторинга, позволит привести сооружение в нормативное состояние и повысить его безопасность.

Список источников

1. Блохина Т. И., Блохин Н. Ф. Водные ресурсы Ставрополья. Ставрополь: Ставропольккрайводхоз, 2002. 286 с.

2. Гостищев В. Д., Кузьмичев А. А. Анализ эксплуатационных характеристик Большого Ставропольского канала // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия, 2017. № 3(67). С. 74–79. EDN: ZSQGSL.

3. Косиченко М. Ю, Талалаева В. Ф. Применение каналов переброски стока на территории России и за рубежом // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. 2023. Т. 91, № 3. С. 169–185. EDN: EEAXRT.

4. Собисевич А. В., Широкова В. А. Большой Ставропольский канал – обводнительно-оросительная система Северного Кавказа // Грозненский естественнонаучный бюллетень. 2018. Т. 3, № 1(9). С. 81–89. DOI: 10.25744/genb.2018.9.14716. EDN: XTCRUL.

5. Блохина Т. И., Блохин Н. Ф., Кондратенко А. А. Большой Ставропольский канал: к 50-летию начала строительства. Черкесск: Управление эксплуатации БСК, 2007. 256 с.

6. Ткачев А. А., Дакаев М. У., Плешаков М. С. Анализ инженерно-геологических условий на головном участке Большого Ставропольского канала // Наука, технологии, общество: Экологический инжиниринг в интересах устойчивого развития территории: сб. науч. ст., г. Красноярск, 9–10 нояб. 2023 г. Красноярск, 2023. С. 50–58. DOI: 10.47813/nto.4.2023.10.50-58. EDN: AYXDZB.

7. Ullaha S., Khanb M. U., Rehman G. A brief review of the slope stability analysis methods // Geological Behavior (GBR). 2020. Vol. 4(2). P. 73–77. DOI: 10.26480/gbr.02. 2020.73.77.

8. Рыбалко Д. С., Баев О. А., Талалаева В. Ф. Исследование эффективности берегозащитных сооружений Пролетарского магистрального канала // Мелиорация и гидротехника. 2026. Т. 16, № 1. С. 205–229. DOI: 10.31774/2712-9357-2026-16-1-205-229. EDN: BXIUPE.

9. Колосов М. А., Моргунов К. П., Чинаков П. П. Разрушение грунтовых сооружений при насыщении их водой // Инновационные технологии в водном, коммунальном хозяйстве и водном транспорте: материалы III Респуб. науч.-техн. конф., г. Минск, 27–28 апр. 2023 г. Минск: Белорусский национальный технический университет, 2023. С. 318–324. EDN: NGKGVG.

10. Орехов Г. В., Кыонг Ч. М. Особенности проявления гидравлического разрыва в грунтовых плотинах // Строительство: наука и образование. 2024. Т. 14, вып. 1. С. 45–60. DOI: 10.22227/2305-5502.2024.1.3. EDN: TZKMPG.

References

1. Blokhina T.I., Blokhin N.F., 2002. *Vodnye resursy Stavropol'y* [Water Resources of the Stavropol Territory]. Stavropol, Stavropolkraivodkhoz Publ., 286 p. (In Russian).

2. Gostishchev V.D., Kuzmichev A.A., 2017. *Analiz ekspluatatsionnykh kharakteristik Bol'shogo Stavropol'skogo kanala* [Performance analysis of the Great Stavropol Canal]. *Puti povysheniya effektivnosti oroshaemogo zemledeliya* [Ways of Increasing the Efficiency of Irrigated Agriculture], no. 3(67), pp. 74-79, EDN: ZSQGSL. (In Russian).

3. Kosichenko M.Yu, Talalaeva V.F., 2023. *Primenenie kanalov perebroski stoka na territorii Rossii i za rubezhom* [Flow transfer channels use in Russia and abroad]. *Puti povysheniya effektivnosti oroshaemogo zemledeliya* [Ways of Increasing the Efficiency of Irrigated Agriculture], vol. 91, no. 3, pp. 169-185, EDN: EEAXRT. (In Russian).

4. Sobisevich A.V., Shirokova V.A., 2018. *Bol'shoy Stavropol'skiy kanal – obvodnitel'no-orositel'naya sistema Severnogo Kavkaza* [The Great Stavropol Canal as water supply and irrigation system of the North Caucasus]. *Groznenskiy yestestvennonauchnyy byulleten* [Grozny Natural Science Bulletin], vol. 3, no. 1(9), pp. 81-89, DOI: 10.25744/genb.2018.9.14716, EDN: XTCRUL. (In Russian).

5. Blokhina T.I., Blokhin N.F., Kondratenko A.A., 2007. *Bol'shoy Stavropol'skiy kanal: K 50-letiyu nachala stroitel'stva. Cherkessk: Upravlenie ekspluatatsii BSK* [The Great Stavropol Canal: On the 50th Anniversary of the Start of Construction]. Cherkessk, BSC Operations Department, 256 p. (In Russian).

6. Tkachev A.A., Dakaev M.U., Pleshakov M.S., 2023. *Analiz inzhenerno-geologicheskikh usloviy na golovnom uchastke Bol'shogo Stavropol'skogo kanala* [Analysis of engineering and geological conditions at the head section of the Great Stavropol Canal]. *Nauka, tekhnologii, obshchestvo: Ekologicheskiy inzhiniring v interesakh ustoychivogo razvitiya territorii: sb. nauch. st.* [Science, Technology, Society: Environmental Engineering for Sustainable Development of the Territory: Coll. sci. articles]. Krasnoyarsk, pp. 50-58, DOI: 10.47813/nto.4.2023.10.50-58, EDN: AYXDZB. (In Russian).

7. Ullaha S., Khanb M.U., Rehman G., 2020. A brief review of the slope stability analysis methods. Geological Behavior (GBR), vol. 4(2), pp. 73-77, DOI: 10.26480/gbr.02.2020.73.77.

8. Rybalko D.S., Baev O.A., Talalaeva V.F., 2026. *Issledovanie effektivnosti beregozashchitnykh sooruzheniy Proletarskogo magistral'nogo kanala* [The study of the bank protection structure efficiency at the Proletarsky Main Canal]. *Melioratsiya i gidrotekhnika* [Land Reclamation and Hydraulic Structures], vol. 16, no. 1, pp. 205-229, DOI: 10.31774/2712-9357-2026-16-1-205-229, EDN: BXIUPE. (In Russian).

9. Kolosov M.A., Morgunov K.P., Chinakov P.P., 2023. *Razrushenie gruntovykh sooruzheniy pri nasyshchenii ikh vodoy* [Destruction of soil structures when saturated with water]. *Innovatsionnye tekhnologii v vodnom, kommunal'nom khozyaystve i vodnom transporte: materialy III Respub. nauch.-tekhn. konferentsii* [Innovative Technologies in Water, Public Utilities and Water Transport: Proceed. of the III Republican Scientific-Technical Conference]. Minsk, Belarusian National Technical University, pp. 318-324, EDN: NGKGVG. (In Russian).

10. Orekhov G.V., Kyong Ch.M., 2024. *Osobennosti proyavleniya gidravlicheskogo razryva v gruntovykh plotinakh* [Stress-strain state of some special places in earth dam from viewpoint of hydraulic fracturing]. *Stroitel'stvo: Nauka i obrazovanie* [Construction: Science and Education], vol. 14, iss. 1, pp. 45-60, DOI: 10.22227/2305-5502.2024.1.3, EDN: TZKMPG (In Russian).

Информация об авторах

Д. С. Рыбалко – аспирант, научный сотрудник, Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск, Российская Федерация, ruba4eks@gmail.com;
О. А. Баев – ведущий научный сотрудник, доктор технических наук, доцент, Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск, Российская Федерация, Oleg-Baev1@yandex.ru, AuthorID: 699695, ORCID: 0000-0003-0142-4270.

Information about the authors

D. S. Rybalko – Postgraduate Student, Researcher, Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk, Russian Federation, ruba4eks@gmail.com;
O. A. Baev – Leading Researcher, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk, Russian Federation, Oleg-Baev1@yandex.ru, AuthorID: 699695, ORCID: 0000-0003-0142-4270.

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 18.05.2026; одобрена после рецензирования 24.06.2026; принята к публикации 19.08.2026.
The article was submitted 18.05.2026; approved after reviewing 24.06.2026; accepted for publication 19.08.2026.