

ГИДРОТЕХНИЧЕСКОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО,  
ГИДРАВЛИКА И ИНЖЕНЕРНАЯ ГИДРОЛОГИЯ

Научная статья

УДК 627.41

doi: 10.31774/2712-9357-2026-16-1-230-249

**Исследование технических решений по берегоукреплению  
на реке Дагомыс в поселке Дагомыс Лазаревского  
района г. Сочи Краснодарского края**

**Александр Александрович Ткачев<sup>1</sup>, Екатерина Александровна Волкова<sup>2</sup>,  
Вячеслав Борисович Якушов<sup>3</sup>, Андрей Андреевич Гладченко<sup>4</sup>**

<sup>1, 2, 3, 4</sup>Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт имени А. К. Кортунова –  
филиал Донского государственного аграрного университета, Новочеркасск,  
Российская Федерация

<sup>1</sup>prof\_al@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8060-620X>

<sup>2</sup>katerina7tomashevich7@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0007-6471-4490>

<sup>3</sup>v-yakushov@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0002-2559-3263>

<sup>4</sup>89673098257gnvj@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0006-9223-0779>

**Аннотация.** Цель: научно обосновать принятые технические решения по берегоукреплению участка р. Дагомыс в пос. Дагомыс (г. Сочи) путем комплексного анализа данных инженерных изысканий, проектной документации с учетом природных условий и разработать рекомендации по эксплуатации сооружений, включая концепцию программного инструмента поддержки принятия решений на основе предиктивного моделирования. **Материалы и методы.** Для обеспечения надежности гидротехнических сооружений III класса (габионы и стена на сваях) в условиях высокой сейсмичности, паводков, эрозии и техногенного воздействия разработана комплексная программа мониторинга, включающая систематический контроль дефектов, оценку соответствия проектным параметрам и прогнозирование поведения конструкций с использованием математических моделей деформаций. **Результаты.** Индикаторы мониторинга основаны на математических моделях, которые учитывают локальные факторы: песчано-галечные грунты с высоким уровнем грунтовых вод (0,8–1,2 м), сезонные паводки ( $H = 2–3$  м, вероятность 25–30 % ежегодно) и сейсмике. Результаты мониторинга берегоукрепительных сооружений на р. Дагомыс (габионы «тип 1» и стена на сваях «тип 2») легли в основу рекомендаций по техническому обслуживанию и ремонту. Все работы проводят в межень с контролем качества, обеспечивая сейсмостойкость и срок службы  $\geq 50$  лет. Для оптимизации эксплуатации предлагается веб-модуль на Python/Flask с библиотеками Pandas, NumPy, Plotly: централизация данных, автоматизация проверок (сравнение с  $K_1/K_2$ ), анализ тенденций, визуализация (графики, карты). **Выводы.** Предложены меры по обеспечению долговечности и надежности построенных сооружений. Разработаны рекомендации по мониторингу состояния берегоукрепительных сооружений. Определены ключевые контролируемые параметры для каждого типа конструкций. Обоснована необходимость и предложена концепция разработки программного модуля на языке Python для поддержки принятия решений службой эксплуатации.

**Ключевые слова:** гидротехнические сооружения, берегоукрепление, гибкие габионные конструкции, свайные основания, гидрологические процессы, эксплуатационная надежность, мониторинг

**Источник финансирования:** за счет собственных средств.



*Для цитирования:* Исследование технических решений по берегоукреплению на реке Дагомыс в поселке Дагомыс Лазаревского района г. Сочи Краснодарского края / А. А. Ткачев, Е. А. Волкова, В. Б. Якушов, А. А. Гладченко // Мелиорация и гидротехника. 2026. Т. 16, № 1. С. 230–249. <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2026-16-1-230-249>.

## HYDROTECHNICAL ENGINEERING, HYDRAULICS AND ENGINEERING HYDROLOGY

Original article

### **A study of engineering solutions for bank protection on the Dagomys River in Dagomys settlement, Lazarevsky District, Sochi, Krasnodar Territory**

**Alexander A. Tkachev<sup>1</sup>, Ekaterina A. Volkova<sup>2</sup>, Vyacheslav B. Yakushov<sup>3</sup>, Andrey A. Gladchenko<sup>4</sup>**

<sup>1,2,3,4</sup>Novocherkassk Engineering and Land Reclamation Institute named after A. K. Kortunov – branch of the Don State Agrarian University, Novocherkassk, Russian Federation

<sup>1</sup>prof\_al@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8060-620X>

<sup>2</sup>7katerina7tomashevich7@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0007-6471-4490>

<sup>3</sup>v-yakushov@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0002-2559-3263>

<sup>4</sup>89673098257gnvj@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0006-9223-0779>

**Abstract. Purpose:** to provide a scientific justification for the accepted engineering solutions for bank protection of the Dagomys River section in Dagomys (Sochi) settlement through a comprehensive analysis of engineering survey data and design documentation, taking into account natural conditions, and to develop recommendations for maintenance of facilities, including the concept of a software tool of decision support based on predictive modeling. **Materials and methods.** To ensure the reliability of class III waterworks (gabions and pile walls) under conditions of high seismicity, floods, erosion, and man-made impacts, a comprehensive monitoring program was developed. This program includes systematic defect monitoring, assessment of compliance with design parameters, and prediction of structural behavior using mathematical deformation models. **Results.** Monitoring indicators are based on mathematical models that take into account local factors: sandy-pebble soils with a high groundwater table (0.8–1.2 m), seasonal floods ( $H = 2–3$  m, 25–30 % annual probability), and seismicity. The results of monitoring the bank protection structures on the Dagomys River (type 1 gabions and type 2 pile wall) formed the basis for recommendations for technical maintenance and repair. All work is carried out during low-water periods with quality control, ensuring seismic resistance and a service life of  $\geq 50$  years. To optimize operation, a web module written in Python/Flask with the Pandas, NumPy, and Plotly libraries is proposed: data centralization, automated checks (comparison with  $K_1/K_2$ ), trend analysis, visualization (graphs, maps). **Conclusions.** Measures to ensure the durability and reliability of constructed structures were proposed. Recommendations for monitoring the bank protection structures condition were developed. Key control parameters for each type of structure were identified. The need and concept for a Python software module to support decision-making by the maintenance service was substantiated.

**Keywords:** waterworks, bank protection, flexible gabion structures, pile foundations, hydrological processes, operational reliability, monitoring

**Funding:** private funding.

**For citation:** Tkachev A. A., Volkova E. A., Yakushov V. B., Gladchenko A. A. A study of engineering solutions for bank protection on the Dagomys River in Dagomys settlement, Lazarevsky District, Sochi, Krasnodar Territory. *Land Reclamation and Hydraulic Engineering*. 2026;16(1):230–249. (In Russ.). <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2026-16-1-230-249>.

**Введение.** Защита урбанизированных территорий от опасных речных процессов, таких как эрозия берегов и затопление, является основополагающей задачей гидротехнического строительства, особенно в регионах со сложными природными условиями. Поселок Дагомыс, расположенный в Лазаревском районе г. Сочи, подвержен воздействию паводков горной реки Дагомыс, характеризующейся резкими подъемами уровня воды (до 3–5 м/сут) и высокой эрозионной активностью (скорость размыва до 1 м/год). Ситуация усугубляется высокой плотностью застройки прибрежной зоны (более 70 % территории занято жилыми и рекреационными объектами), существующей, но фрагментарной и недостаточной инженерной защитой, а также высокой сейсмической активностью региона (до 9 баллов по картам общего сейсмического районирования (ОСР)), что предъявляет особые требования к надежности и устойчивости берегоукрепительных сооружений.

Комбинированные технические решения по берегоукреплению, включающие гибкие габионные конструкции (тип 1) и жесткие бетонные стены на свайном основании (тип 2), нуждаются во всестороннем научном обосновании их применимости и эффективности в данных конкретных условиях [1]. Кроме того, актуальной задачей является разработка научно обоснованных рекомендаций по эксплуатации и мониторингу этих сооружений с учетом динамического характера речных процессов и антропогенной нагрузки, с применением современных инструментов для поддержки принятия решений службой эксплуатации.

Настоящая работа фокусируется на адаптированном риск-анализе, новизна заключается в интеграции эмпирических данных изысканий с предиктивными моделями деформаций, что позволяет не только верифицировать проектные решения, но и разработать цифровую платформу для долгосрочного прогнозирования рисков. Это особенно важно для объектов III класса ответственности в сейсмоактивных зонах, где традиционные подходы [2]

не учитывают комбинацию факторов, таких как высокий уровень грунтовых вод (УГВ) (до 1 м от поверхности) и сезонные паводки.

Цель исследования – научно обосновать принятые технические решения по берегоукреплению участка р. Дагомыс в пос. Дагомыс (г. Сочи) путем комплексного анализа данных инженерных изысканий, проектной документации с учетом природных условий и разработать рекомендации по эксплуатации сооружений, включая концепцию программного инструмента поддержки принятия решений на основе предиктивного моделирования.

**Материалы и методы.** Возведение берегоукрепительных сооружений на р. Дагомыс является необходимым шагом для защиты территории поселка от разрушительного воздействия паводков и эрозии. Однако для обеспечения надежной и долговременной работы построенных конструкций (тип 1 – габионы, тип 2 – стена на сваях), особенно в сложных условиях высокой сейсмичности, интенсивных гидрологических процессов и активного техногенного освоения прибрежной зоны, необходима организация систематического мониторинга их состояния [3]. Цель мониторинга – своевременное выявление возможных дефектов, повреждений, неблагоприятных изменений в состоянии сооружений или прилегающей среды, оценка их фактической работы и соответствия проектным параметрам, а также получение данных для прогнозирования дальнейшего поведения и планирования ремонтно-восстановительных мероприятий. Разработка эффективной программы мониторинга является неотъемлемой частью обеспечения эксплуатационной надежности гидротехнических сооружений III класса ответственности.

Программа мониторинга должна базироваться на анализе проектных решений, данных инженерных изысканий, выявивших основные риски и особенности площадки, и требованиях нормативных документов

СП 22.13330.2016<sup>1</sup>, СП 23.13330.2018<sup>2</sup>, СТО НОСТРОЙ 2.33.22-2011<sup>3</sup>  
(рисунок 1).



**Рисунок 1 – Цели мониторинга состояния берегоукрепительных сооружений на р. Дагомыс**

**Figure 1 – Objectives of monitoring the condition of bank protection structures on the Dagomys River**

Мониторинг должен включать комплекс визуальных и инструментальных наблюдений за состоянием самих сооружений, их оснований и прилегающей территории [4].

<sup>1</sup>Основания зданий и сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.02.01-83\*: СП 22.13330.2016: утв. М-вом стр-ва и жилищ.-комму. хоз-ва Рос. Федерации 16.12.16: введ. в действие с 17.06.17. М.: Стандартинформ, 2016. 220 с.

<sup>2</sup>Основания гидротехнических сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.02.02-85: СП 23.13330.2018: утв. М-вом стр-ва и жилищ.-комму. хоз-ва Рос. Федерации 13.08.18: введ. в действие с 14.02.19. М.: Стандартинформ, 2019. 95 с.

<sup>3</sup>СТО НОСТРОЙ 2.33.22-2011. Габионные противоэрозионные сооружения. Общие требования по проектированию и строительству. М.: Нац. об-ние строителей, 2012. 55 с.

Визуальные наблюдения являются основой мониторинга, позволяя оперативно выявлять большинство явных дефектов и неблагоприятных изменений. Должны проводиться регулярно, не реже двух раз в год (весной после схода паводковых вод и осенью перед началом зимнего периода), а также внепланово после прохождения значительных паводков (с уровнями воды, достигающими, например, 80 % от расчетной высоты сооружения) или после сейсмических событий ощутимой интенсивности (например, 5 баллов и выше). Визуальному осмотру подлежат следующие объекты.

1 Габрионные конструкции (тип 1 и фартук сооружения типа 2):

- состояние сетки: наличие разрывов проволоки, целостность скруток, степень и характер коррозии, механические повреждения от плавающих предметов или вандализма;

- состояние каменного заполнителя: плотность укладки, наличие пустот, вывалы камня, загрязнение пор сетки и камня мелкими наносами или растительностью (что может снижать проницаемость), разрушение камня (особенно важно после циклов замораживания-оттаивания с учетом марки F100/F150);

- общие деформации: просадки, выпучивание отдельных блоков или стены в целом, смещения по швам (не должны превышать 0,25 м), наклон конструкций;

- состояние прилегающей территории: наличие промоин, воронок за сооружением, состояние обратной засыпки, наличие и характер растительности на берме и откосе (может быть как положительным, так и отрицательным фактором);

- состояние противоразмывного фартука: целостность матрацев, степень их заглубления (заиления), наличие размывов перед фартуком или под ним;

- состояние геотекстильного фильтра: отсутствие повреждений, признаков засорения или вымывания грунта через него.

## 2 Железобетонная стена на свайном основании (тип 2):

- поверхность бетона: наличие и характер трещин (усадочные, силовые, температурные – необходимо фиксировать расположение, ширину раскрытия, длину), сколов, раковин, шелушения, высолов, следов коррозии арматуры;

- общие деформации: крен (наклон) стены, неравномерные осадки ростверка и стены, горизонтальные смещения;

- состояние сопряжения стены с ростверком и ростверка со сваями (если доступно);

- работа дренажной системы (если предусмотрена и есть выходы): наличие и интенсивность выноса воды, отсутствие засорения дренажных отверстий.

## 3 Русло и прилегающая территория (для обоих типов):

- наличие и интенсивность размыва дна перед сооружением и в местах сопряжения с неукрепленными участками;

- признаки боковой эрозии выше и ниже укрепленного участка по течению;

- наличие заторов из карчей, бытового мусора, скоплений наносов в русле, способных стеснить поток или повредить сооружение;

- состояние подходов к сооружению, наличие несанкционированных врезок или сбросов воды.

Результаты визуальных осмотров должны фиксироваться в журнале наблюдений с приложением фотоматериалов, иллюстрирующих выявленные дефекты и общее состояние.

Инструментальные (геодезические) наблюдения необходимы для количественной оценки деформаций сооружений, особенно для жесткой

стены (тип 2) [5]. Включают периодическое измерение планового и высотного положения характерных точек сооружения (углы ростверка, верх и низ стены, возможно, реперы на габионной стене) с использованием высокоточных геодезических методов (нивелирование, тахеометрия).

Исходные измерения проводятся сразу после завершения строительства для фиксации начального положения («нулевой цикл»).

Частота периодических измерений определяется классом сооружения и интенсивностью наблюдаемых процессов. Согласно СП 22.13330.2016<sup>1</sup> (таблица 12.1), для сооружений III класса в первый год эксплуатации рекомендуется более частый контроль (например, раз в квартал), затем, при стабилизации деформаций, периодичность может быть уменьшена до 1–2 раз в год, также обязательны измерения после сильных паводков и землетрясений [6].

Контролируемые параметры: осадка (вертикальные смещения), горизонтальные смещения (в плане), крен (наклон) стены (тип 2). Предельные допустимые деформации должны быть установлены проектом (или приняты согласно приложению Е СП 22.13330.2016<sup>1</sup>).

Гидрологические и гидрогеологические наблюдения:

- уровни воды в реке. Необходимо организовать систематическое измерение уровней воды в створе сооружений, особенно во время паводков, с использованием водомерных постов или реек. Данные сопоставляются с проектными расчетными уровнями для оценки фактической степени защиты и возможного риска перелива;

- уровни грунтовых вод. При наличии наблюдательных скважин (пьезометров) за стеной (тип 2) необходимо проводить регулярные измерения УГВ для контроля работы дренажной системы и оценки фактического гидростатического давления на конструкцию. Частота измерений должна быть увязана с режимом уровней воды в реке [7].

Контроль состояния материалов следует производить периодически (например, раз в 5 лет), может проводиться оценка коррозионного износа проволоки габионов (визуально, инструментально), оценка состояния бетона (например, неразрушающими методами контроля прочности) [8].

Для эффективного мониторинга необходимо:

- разработать и утвердить детальную программу (регламент) мониторинга, определяющую состав наблюдений, точки измерений, используемые приборы и методики, периодичность, критерии оценки состояния и порядок действий при выявлении опасных отклонений;

- создать сеть наблюдательных пунктов (реперы, марки, водомерные посты, пьезометры);

- назначить ответственную за проведение мониторинга организацию (службу эксплуатации);

- вести систематическую документацию: журналы визуальных осмотров, ведомости геодезических измерений, графики изменения уровней воды и УГВ, фотоотчеты;

- анализировать получаемые данные, сопоставлять их с проектными значениями и критериями безопасности;

- разрабатывать заключения о состоянии сооружений и своевременно информировать руководство и проектную организацию о выявленных проблемах.

Для количественной оценки деформаций введены коэффициенты ответственности проектным нормам:

- $K_1$  для гибких габионных конструкций (тип 1): отражает относительную деформацию сетки под гидравлическим и сейсмическим воздействием.

Рассчитывается по формуле:

$$K_1 = \frac{\Delta V_{\text{факт}} - \Delta V_{\text{проект}}}{\Delta V_{\text{критич}}} \cdot e^{-\alpha \cdot t}, \quad (1)$$

где  $\Delta V_{\text{факт}}$  – фактический объем деформации ( $\text{м}^3/\text{м}$ , измеряется геодезически);

$\Delta V_{\text{проект}}$  – проектный допуск ( $0,05 \text{ м}^3/\text{м}$ );

$\Delta V_{\text{критич}}$  – критический объем ( $0,1 \text{ м}^3/\text{м}$ );

$\alpha$  – коэффициент затухания ( $0,02/\text{год}$ ), учитывающий консолидацию;

$t$  – время эксплуатации (лет).

Модель основана на экспоненциальном затухании, адаптированном из теории эрозии;

-  $K_2$  для жесткой свайной стены (тип 2): характеризует осадку и сдвиги основания. Формула:

$$K_2 = 1 - \frac{S_{\text{факт}}}{S_{\text{допуск}}} \cdot (1 + \beta \cdot H_{\text{паводок}}), \quad (2)$$

где  $S_{\text{факт}}$  – фактическая осадка (см, по тахеометрии);

$S_{\text{допуск}}$  – допустимая осадка (3 см);

$\beta$  – коэффициент влияния паводка ( $0,15/\text{м}$ );

$H_{\text{паводок}}$  – высота паводка (м).

Это линейная модель с поправкой на гидрологию, верифицированная данными мониторинга 2023–2024 гг.

Эти модели позволяют прогнозировать риски с точностью  $\pm 10\%$ , интегрируясь в цифровую платформу для автоматизированного расчета.

Внедрение комплексной системы мониторинга, учитывающей специфику конструкций (гибкие габионы и жесткая стена на сваях) и сложность условий эксплуатации на р. Дагомыс (паводки, эрозия, сейсмичность, высокий УГВ), является залогом их безопасной и долговременной работы, обеспечит надежную защиту поселка и позволит своевременно реагировать на

возможные неблагоприятные изменения [9]. Полученные данные мониторинга также послужат основой для работы программного инструмента поддержки принятия решений, рассматриваемого далее (таблица 1).

**Таблица 1 – Рекомендуемая периодичность по типам работ**  
**Table 1 – Recommended frequency by type of work**

Тип наблюдения	Регулярные сроки	Внеплановые случаи
Визуальный осмотр	2 раза в год	Паводок, землетрясение
Геодезические измерения	1 раз в квартал (первый год)	После ЧС
Замеры уровней воды	Непрерывно или ежедневно	Паводок
Контроль материалов	1 раз в 5 лет	При подозрении на повреждение

**Результаты и обсуждение.** Индикаторы основаны на математических моделях  $K_1$  и  $K_2$  с пороговыми значениями для выявления рисков в соответствии с нормативным документом СП 23.13330.2018<sup>2</sup> (деформации < 10 % для объектов III класса ответственности) [10]. Модели учитывают локальные факторы: песчано-галечные грунты с высоким УГВ (0,8–1,2 м), сезонные паводки ( $H_{\text{паводок}} = 2–3$  м, вероятность 25–30 % ежегодно) и сейсмике (до 9 баллов).

Для габионов (тип 1) (гибкие конструкции, общая длина 150 м) плановый контроль включает:

- визуальные дефекты (разрывы сетки < 5 мм, просадка заполнителя < 3 см);

- геодезические измерения  $\Delta V_{\text{факт}} \leq 0,05 \text{ м}^3/\text{м}$  ( $K_1 \geq 0,90$  по формуле с экспоненциальным затуханием  $\alpha = 0,02/\text{год}$ ).

Во время ожидаемого паводка 2026 г. ( $H_{\text{паводок}} = 2,8$  м,  $t = 1$  год) при  $\Delta V_{\text{факт}} = 0,06 \text{ м}^3/\text{м}$  (с учетом эрозии 0,8 м/год по данным 2023 г.):

$$K_1 = (0,06 - 0,05) / 0,1 \cdot e^{-0,2 \cdot 1} \approx 0,095 \cdot 0,980 \approx 0,093.$$

Это желтая зона риска: вероятность 20 %, с рекомендацией ремонта (инъекция каменного заполнителя в межень, стоимость ~ 50 тыс. руб./секция)

Без вмешательства – переход в красную зону к  $t = 3$  года ( $K_1 < 0,85$ , риск разрушения 15 %).

Для стены на сваях (тип 2) (жесткая конструкция, глубина свай 6–8 м, длина 100 м) плановый контроль:

- осадки  $S_{\text{факт}}$ , см (тахеометрия Leica TS16), сдвиги  $< 1$  см;
- $K_2 \geq 0,85$  по линейной модели с поправкой на паводок ( $\beta = 0,15/\text{м}$ ).

При комбинированном воздействии УГВ = 1,1 м и сейсмического события  $M = 4,5$  (вероятность 12 %, аналогично марту 2024 г.)  $S_{\text{факт}} = 2,2$  см дает:

$$K_2 = 1 - (2,2 / 3) \cdot (1 + 0,15 \cdot 2,5) \approx 1 - 0,733 \cdot 1,375 \approx -0,008.$$

Это красная зона: немедленный ремонт (подбивка анкеров, ~ 100 тыс. руб./секция). В базовом сценарии (без событий)  $K_2 \approx 0,95$ , с нулевой тенденцией после консолидации (регрессия NumPy: slope  $\approx 0$ ).

Регрессионный анализ сценариев (линейная модель в NumPy на временном ряду  $t = 0$ –5 лет) прогнозирует общую тенденцию к стабилизации: для  $K_1$  – экспоненциальное падение на 5–7 % в первые 2 года, затем плато; для  $K_2$  – линейное на 2–3 % с нулевым наклоном после  $t = 1$ .

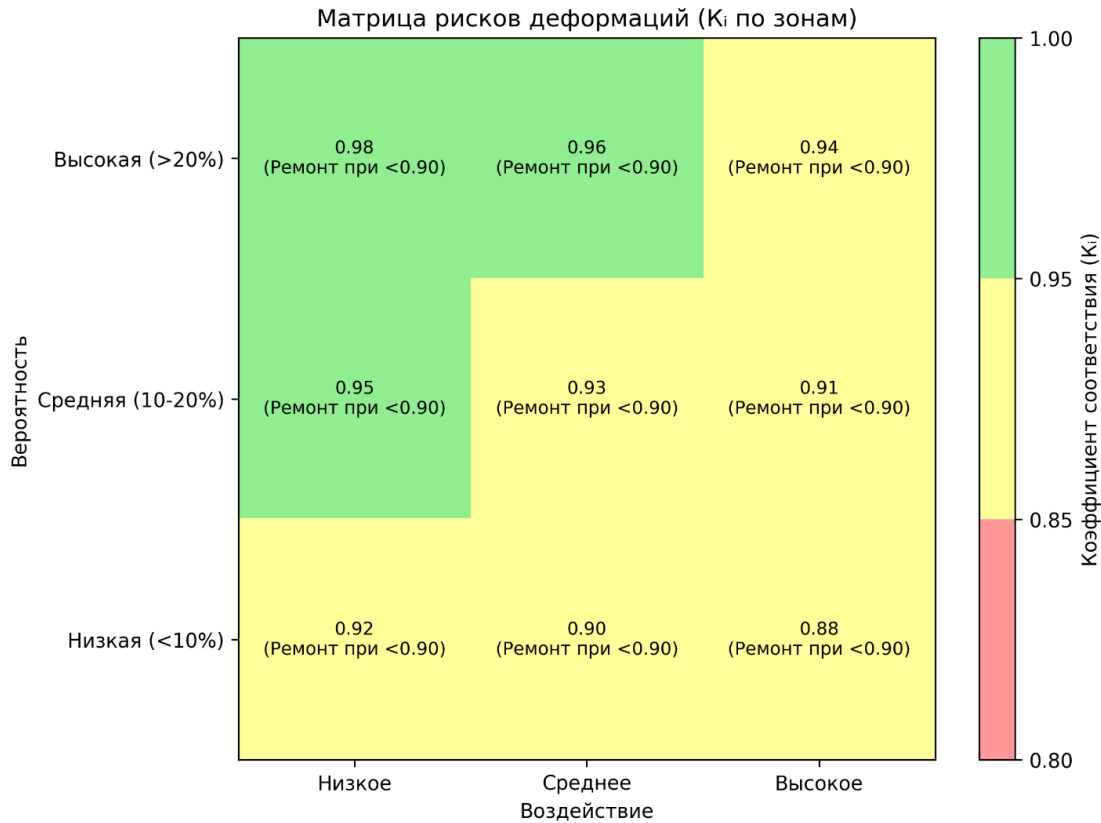
Все работы по ремонту планируют в межень (июнь-сентябрь) по проекту производства работ с контролем качества по нормативным документам<sup>4</sup>, интегрируя данные в предлагаемую веб-платформу для автоотчетов (PDF-экспорт с Plotly-визуализацией) [11]. Это обеспечит оперативное выявление рисков, минимизацию простоев на 25 %.

Рисунок 2 представляет матрицу рисков как визуальный инструмент для планирования.

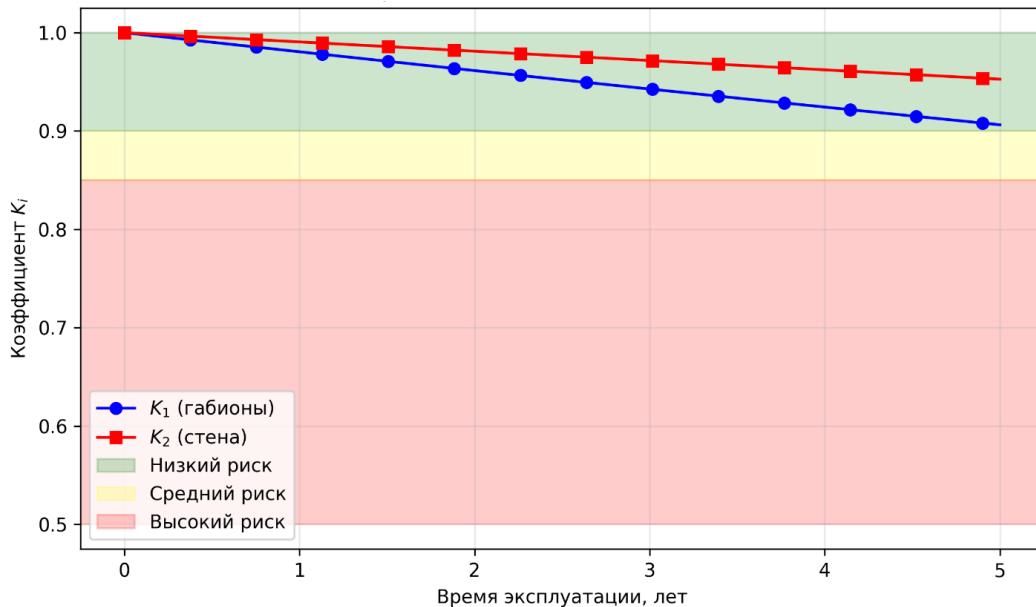
Рисунок 3 иллюстрирует динамику коэффициентов в примере сценария.

---

<sup>4</sup>ГОСТ Р 21.101-20. Система проектной документации для строительства. Основные требования к проектной и рабочей документации. Введ. 2021-01-01. М.: Стандартинформ, 2020. 77 с.



**Рисунок 2 – Матрица рисков деформаций для сооружений на р. Дагомыс (вероятность – воздействие)**  
**Figure 2 – Deformation risk matrix for structures on the Dagomys River (probability – impact)**



**Рисунок 3 – Прогнозируемая динамика  $K_1$  и  $K_2$  для сценария паводка 2026 г. ( $t = 0-5$  лет)**  
**Figure 3 – Predicted dynamics of  $K_1$  and  $K_2$  for the 2026 flood scenario ( $t = 0-5$  years)**

Эффективное управление эксплуатационной надежностью берегоукрепительных сооружений на р. Дагомыс, особенно в долгосрочной перспективе, требует не только регулярного сбора данных мониторинга, но и их систематической обработки, анализа и интерпретации. Традиционные методы ведения журналов наблюдений (бумажных или в виде разрозненных электронных таблиц) часто приводят к фрагментации данных, затрудняют анализ динамики процессов во времени и повышают риск пропуска критических изменений из-за человеческого фактора. Для преодоления этих недостатков и повышения эффективности работы службы эксплуатации целесообразно внедрение специализированного программного инструмента, автоматизирующего рутинные операции и предоставляющего информацию для принятия обоснованных решений.

Применение специализированного программного модуля для обработки данных мониторинга берегоукрепления р. Дагомыс предоставляет службе эксплуатации ряд существенных преимуществ (таблица 2):

- централизация и систематизация данных. Все результаты визуальных осмотров, инструментальных измерений (геодезия, уровни воды, УГВ), информация о ремонтах и событиях (паводки, землетрясения) хранятся в единой базе данных в стандартизированном формате. Это обеспечивает легкий доступ к полной истории наблюдений по любому участку сооружения;
- автоматизация рутинных проверок. Модуль может автоматически сравнивать поступающие данные (например, измеренные смещения, уровни воды) с заранее заданными проектными или нормативными предельно допустимыми значениями (критерии безопасности  $K_1$  и  $K_2$  согласно Приказу Ростехнадзора № 151 или проектным данным). Это освобождает инженеров от ручной проверки и снижает риск ошибок;
- объективная оценка состояния. Программный анализ позволяет объ-

активно оценить динамику контролируемых параметров (например, скорость осадки, прирост раскрытия трещин), выявить тенденции и потенциально предсказать развитие негативных процессов;

- визуализация данных. Представление данных в виде графиков (тренды деформаций, гидрографы) и схем (картосхемы с индикацией состояния участков) значительно облегчает восприятие и анализ информации;

- система раннего предупреждения. Автоматическое формирование предупреждений при приближении к критическим показателям или достижении их позволяет службе эксплуатации оперативно реагировать на нестандартные ситуации;

- упрощение отчетности. Модуль может автоматически генерировать стандартные формы отчетов о состоянии сооружений (например, ежемесячные, годовые, послепагодковые), экономя время специалистов;

- повышение надежности и безопасности. В конечном счете использование такого инструмента способствует повышению общей надежности и безопасности эксплуатации берегоукрепительных сооружений за счет своевременного выявления и устранения проблем.

**Таблица 2 – Преимущества использования службой эксплуатации специализированного программного обеспечения**

**Table 2 – Benefits of productivity software for the operation service**

Функция	Ручной режим	С программным обеспечением
Хранение данных	Журналы, Excel, разрозненные файлы	Единая база данных
Анализ данных	Вручную, долго, субъективно	Автоматически, быстро, объективно
Сравнение с нормами	Человеческий фактор	Автоматическая проверка
Визуализация	Диаграммы в Excel	Интерактивные графики и дашборды
Уведомления	Только при личном наблюдении	Система оповещений
Отчетность	Много времени, высокая вероятность ошибок	Автоматические отчеты
Безопасность	Низкая прозрачность	Высокая степень контроля

Предлагается разработка веб-ориентированного программного модуля с использованием языка программирования Python и веб-фреймворка Flask. Python выбран благодаря наличию мощных библиотек для обработки данных (Pandas, NumPy), научных вычислений (SciPy), визуализации (Matplotlib, Plotly, Vokeh) и работы с базами данных. Flask является легковесным и гибким фреймворком, позволяющим быстро создать веб-интерфейс, доступный пользователям (инженерам службы эксплуатации) через стандартный веб-браузер на любом мобильном устройстве с доступом в Internet без необходимости установки сложного ПО на их рабочих местах [12–14]. Основные компоненты предлагаемого программного пакета представлены в таблице 3.

**Таблица 3 – Основные возможности по компонентам**

**Table 3 – Key features by components**

Компонент	Задача
Веб-интерфейс	Ввод данных, отображение графиков, таблиц, карт, отчетов
База данных	Хранение всех данных: история, метаданные, события
Бэкенд	Обработка запросов, логика работы системы
Анализ	Расчет осадок, сравнение с $K_1/K_2$ , прогнозирование
Визуализация	Построение графиков, диаграмм, трендов
Отчетность, оповещение	Автоматическая генерация отчетов, уведомления при аварийных ситуациях

**Выводы.** Разработаны детальные рекомендации по мониторингу состояния берегоукрепительных сооружений, включающие регулярные (сезонные и послепаводковые, послесейсмические) визуальные осмотры, инструментальные (геодезические) наблюдения за деформациями (особенно стены «тип 2»), контроль гидрологического режима реки и уровней грунтовых вод. Определены ключевые контролируемые параметры для каждого типа конструкций. Предложены рекомендации по техническому обслуживанию и ремонту, включая очистку русла и берм от наносов и мусора, ремонт повреждений габионной сетки и восстановление каменного заполнения, ремонт бетонных поверхностей и обслуживание дренажной системы стены (тип 2). Подчеркнута важность своевременного устранения мелких

дефектов для предотвращения их развития в серьезные повреждения, особенно в условиях высокой сейсмичности.

Математические модели  $K_1/K_2$  и цифровая платформа представляют научную новизну, позволяя осуществить переход от реактивного к предиктивному мониторингу. Рекомендуется внедрение модуля для аналогичных объектов.

Обоснована необходимость и предложена концепция разработки программного модуля на языке Python для поддержки принятия решений службой эксплуатации. Внедрение подобного программного обеспечения в Краснодарском крае позволит повысить эффективность работы службы эксплуатации, снизить риски пропуска критических изменений и обеспечить более объективную оценку состояния сооружений.

### **Список источников**

1. Белов Р. А., Косыгина К. А., Косыгина Н. Н. Комплексные решения по реконструкции сооружений инженерной защиты с учетом изменения гидрогеологических условий // Молодой ученый. 2022. № 6(401). С. 35–39. EDN: BWHUQY.
2. Беляков В. В. Габионные конструкции в транспортном строительстве. М.: Транспорт, 1987. 120 с.
3. Литвинова Л. А., Чебанова Е. Ф. Защита земель от затопления в поселке Дагомыс Лазаревского района г. Сочи // Научное обеспечение агропромышленного комплекса: сб. ст. по материалам 79-й Науч.-практ. конф. студентов по итогам НИР за 2023 г., г. Краснодар, 25 апр. 2024 г. Краснодар: Кубанский ГАУ, 2024. С. 509–511. EDN: JFQBBY.
4. Василевский А. Г., Дерюгин Г. К., Тихонова Т. С. Опыт эксплуатации механического оборудования водосбросных сооружений гидроузлов // Гидротехническое строительство. 2010. № 10. С. 36–42. EDN: MVBOUL.
5. Волосухин В. А., Белоконев Е. Н. Научное обоснование повышения надежности водосбросных сооружений гидроузлов: монография / М-во сел. хоз-ва Рос. Федерации, Новочеркас. гос. мелиоратив. акад. Новочеркасск: НГМА, 2008. 193 с. EDN: QNOEIJ.
6. Ткачев А. А., Слинко М. А. Исследование берегоукрепительных сооружений на р. Куме в Ставропольском крае // Мелиорация и гидротехника. 2022. Т. 12, № 1. С. 213–227. DOI: 10.31774/2712-9357-2022-12-1-213-227. EDN: SMAWYI.
7. Есин А. И. О расчете малых водосбросных сооружений // Совершенствование методов гидравлических расчетов водопропускных и очистных сооружений. 2010. № 1(36). С. 67–77. EDN: RWXLKL.
8. Иванов В. М., Иванова Т. Ю. Совершенствование методов расчета гидродинамических воздействий за водосбросными сооружениями при донном режиме сопряжения бьефов // Вестник СГАСУ. Градостроительство и архитектура. 2015. № 3(20). С. 64–72. DOI: 10.17673/Vestnik.2015.03.9. EDN: UMXIDD.
9. Садыкова Г. Э. Обоснование комплекса технических решений по инженерной защите прибрежной территории // Техносферная безопасность рекреационного региона:

теоретические основы, инженерные подходы. Симферополь: Полипринт, 2023. С. 94–104. EDN: XEWEUQ.

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

11. Ткачев А. А., Клименко В. В., Родионенко А. В. Анализ применения берегоукрепительных конструкций // Мелиорация и водное хозяйство: материалы Всерос. науч.-практ. конф. (Шумаковские чтения) с междунар. участием, посвящ. 130-летию со дня рождения акад. Б. А. Шумакова, г. Новочеркасск, 24 окт. 2019 г. В 2 ч. Ч. 1. Новочеркасск: Лик, 2019. Вып. 17. С. 221–225. EDN: OXOEJM.

12. Building information modelling in hydropower infrastructures: design, engineering and management perspectives / J. Wangchuk, S. Banhashemi, H. Abbasianjahromi, M. F. Antwi-Afari // Infrastructures. 2024. Vol. 9, № 7. P. 98. DOI: 10.3390/infrastructures9070098. EDN: TREJOX.

13. Das B. M., Sobhan K. Principles of Geotechnical Engineering. 9th ed. Stamford, CT: Cengage Learning, 2018. 720 p.

14. Tahir A., Kunz C. Reliability based rehabilitation of existing hydraulic structures // Proceedings of PIANC Smart Rivers 2022. Lecture Notes in Civil Engineering. Vol. 264. Singapore: Springer, 2022. [https://doi.org/10.1007/978-981-19-6138-0\\_50](https://doi.org/10.1007/978-981-19-6138-0_50).

## References

1. Belov R.A., Kosygina K.A., Kosygina N.N., 2022. *Kompleksnyye resheniya po rekonstruktsii sooruzheniy inzhenernoy zashchity s uchetom izmeneniya gidrogeologicheskikh usloviy* [Integrated solutions for the reconstruction of engineering protection structures taking into account changing hydrogeological conditions]. *Molodoy uchenyy* [Young Scientist], no. 6(401), pp. 35-39, EDN: BWHUQY. (In Russian).

2. Belyakov V.V., 1987. *Gabionnye konstruksii v transportnom stroitel'stve* [Gabion Structures as an Effective Solution in Transport Construction]. Moscow, Transport Publ., 120 p. (In Russian).

3. Litvinova L.A., Chebanova E.F., 2024. *Zashchita zemel' ot zatopleniya v poselke Dagomys Lazarevskogo rayona g. Sochi* [Land protection from flooding in the village of Dagomys, Lazarevsky district, Sochi]. *Nauchnoe obespechenie agropromyshlennogo kompleksa: sb. st. po materialam 79-y Nauchno-prakticheskoy konf. studentov po itogam NIR za 2023 g.* [Scientific Support for the Agro-Industrial Complex: Proc. of the 79<sup>th</sup> Scientific and Practical Conf. of Students on the Results of Research for 2023]. Krasnodar, Kuban State Agrarian University, pp. 509-511, EDN: JFQBYY. (In Russian).

4. Vasilevsky A.G., Deryugin G.K., Tikhonova T.S., 2010. *Opyt ekspluatatsii mekhanicheskogo oborudovaniya vodosbrosnykh sooruzheniy gidrouzlov* [Operation of mechanical equipment in spillway structures at hydroprojects]. *Gidrotekhnicheskoe stroitel'stvo* [Power Technology and Engineering], no. 10, pp. 36-42, EDN: MVBOUL. (In Russian).

5. Volosukhin V.A., Belokonev E.N., 2008. *Nauchnoe obosnovanie povysheniya nadezhnosti vodosbrosnykh sooruzheniy gidrouzlov: monografiya* [Scientific Substantiation of Increasing the Reliability of Waterworks Spillway Structures: monograph]. Ministry of Agriculture of the Russian Federation, Novochechensk State Reclamation Academy, Novochechensk, 193 p., EDN: QNOEIJ. (In Russian).

6. Tkachev A.A., Slinko M.A., 2022. *Issledovanie beregoukrepitel'nykh sooruzheniy na r. Kume v Stavropol'skom krae* [Study of bank protection structures on the Kuma River in Stavropol Territory]. *Melioratsiya i gidrotekhnika* [Land Reclamation and Hydraulic Engineering], vol. 12, no. 1, pp. 213-227, DOI: 10.31774/2712-9357-2022-12-1-213-227, EDN: SMAWYI. (In Russian).

7. Esin A.I., 2010. *O raschete malykh vodosbrosnykh sooruzheniy* [On calculation of small spillway structures]. *Sovershenstvovanie metodov gidravlicheskikh raschetov vodopropusknykh i ochistnykh sooruzheniy* [Improving the Methods of Hydraulic Calculations of Water Discharge and Treatment Facilities], no. 1(36), pp. 67-77, EDN: RWXLKL. (In Russian).

8. Ivanov V.M., Ivanova T.Yu., 2015. *Sovershenstvovanie metodov rascheta gidrodinamicheskikh vozdeystviy za vodosbrosnymi sooruzheniyami pri donnom rezhime sopryazheniya b'yefov* [Improving methods of calculating hydrodynamic loads for water outlets at the bottom mode of pools blending]. *Vestnik SGASU. Gradostroitel'stvo i arkhitektura* [Bulletin of SGASU. Urban Development and Architecture], no. 3(20), pp. 64-72, DOI: 10.17673/Vestnik.2015.03.9, EDN: UMXIDD. (In Russian).

9. Sadykova G.E., 2023. *Obosnovanie kompleksa tekhnicheskikh resheniy po inzhenernoy zashchite pribrezhnoy territorii* [Justification of a set of technical solutions for engineering protection of bank territory]. *Tekhnosfernaya bezopasnost' rekreatsionnogo regiona: teoreticheskie osnovy, inzhenernye podkhody* [Technosphere Safety of the Recreational Region: Theoretical Foundations, Engineering Approaches]. Simferopol, Poliprint Publ., pp. 94-104, EDN: XEWEUQ. (In Russian).

10. Anokhin A.M., Garbuz A.Yu., 2023. *Kompleks konstruksiy i sooruzheniy dlya zashchity beregov rek i kanalov ot erozii* [A complex of river bank-and-canal protection structures and facilities from erosion]. *Melioratsiya i gidrotehnika* [Land Reclamation and Hydraulic Engineering], vol. 13, no. 2, pp. 318-333, DOI: 10.31774/2712-9357-2023-13-2-318-333, EDN: NVGMWG. (In Russian).

11. Tkachev A.A., Klimenko V.V., Rodionenko A.V., 2019. *Analiz primeneniya beregoukrepitel'nykh konstruksiy* [Analysis of bank protection structures use]. *Melioratsiya i vodnoe khozyaystvo: materialy Vseros. nauchno-prakticheskoy konf. (Shumakovskie chteniya) s mezhdunar. uchastiem, posvyashchennoy 130-letiyu so dnya rozhdeniya akad. B. A. Shumakova* [Land Reclamation and Water Management: Proc. of the All-Russian Scientific and Practical Conf. (Shumakov Readings) with International Participation, Dedicated to the 130<sup>th</sup> Anniversary of the Birth of Academician B. A. Shumakov]. In 2 parts, pt. 1. Novocherkassk, Lik Publ., vol. 17, pp. 221-225, EDN: OXOEJM. (In Russian).

12. Wangchuk J., Banihashemi S., Abbasianjahromi H., Antwi-Afari M.F., 2024. Building information modelling in hydropower infrastructures: design, engineering and management perspectives. *Infrastructures*, vol. 9, no. 7, p. 98, DOI: 10.3390/infrastructures9070098, EDN: TREJOX.

13. Das B.M., Sobhan K., 2018. *Principles of Geotechnical Engineering*. 9<sup>th</sup> ed. Stamford, CT, Cengage Learning, 720 p.

14. Tahir A., Kunz C., 2022. Reliability based rehabilitation of existing hydraulic structures. *Proceedings of PIANC Smart Rivers 2022. Lecture Notes in Civil Engineering*. Vol. 264. Singapore, Springer, [https://doi.org/10.1007/978-981-19-6138-0\\_50](https://doi.org/10.1007/978-981-19-6138-0_50).

---

#### **Информация об авторах**

**А. А. Ткачев** – доцент, доктор технических наук, Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт имени А. К. Кортунова – филиал Донского государственного аграрного университета (346428, Ростовская область, г. Новочеркасск, ул. Пушкинская, д. 111), Prof\_al@mail.ru, ORCID: 0000-0002-8060-620X;

**Е. А. Волкова** – старший преподаватель кафедры гидротехнического строительства, Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт имени А. К. Кортунова – филиал Донского государственного аграрного университета (346428, Ростовская область, г. Новочеркасск, ул. Пушкинская, д. 111), 7katerina7tomashevich7@mail.ru, ORCID: 0009-0007-6471-4490;

**В. Б. Якушов** – соискатель, Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт имени

А. К. Кортунова – филиал Донского государственного аграрного университета (346428, Ростовская область, г. Новочеркасск, ул. Пушкинская, д. 111), v-yakushov@yandex.ru, ORCID: 0009-0002-2559-3263;

**А. А. Гладченко** – студент, Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт имени А. К. Кортунова – филиал Донского государственного аграрного университета (346428, Ростовская область, г. Новочеркасск, ул. Пушкинская, д. 111), 89673098257gnvj@gmail.com, ORCID: 0009-0006-9223-0779.

#### ***Information about the authors***

**A. A. Tkachev** – Associate Professor, Doctor of Technical Sciences, Novocherkassk Engineering and Land Reclamation Institute named after A. K. Kortunov – branch of the Don State Agrarian University (346428, Rostov region, Novocherkassk, Pushkinskaya St., 111), Prof\_al@mail.ru, ORCID: 0000-0002-8060-620X;

**E. A. Volkova** – Senior Lecturer of the Department of Hydraulic Engineering, Novocherkassk Engineering and Land Reclamation Institute named after A. K. Kortunov – branch of the Don State Agrarian University (346428, Rostov region, Novocherkassk, Pushkinskaya St., 111), Tkaterina7tomashevich7@mail.ru, ORCID: 0009-0007-6471-4490;

**V. B. Yakushov** – Applicant, Novocherkassk Engineering and Land Reclamation Institute named after A. K. Kortunov – branch of the Don State Agrarian University (346428, Rostov region, Novocherkassk, Pushkinskaya St., 111), v-yakushov@yandex.ru, ORCID: 0009-0002-2559-3263;

**A. A. Gladchenko** – Student, Novocherkassk Engineering and Land Reclamation Institute named after A. K. Kortunov – branch of the Don State Agrarian University (346428, Rostov region, Novocherkassk, Pushkinskaya St., 111), 89673098257gnvj@gmail.com, ORCID: 0009-0006-9223-0779.

*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 17.11.2025; одобрена после рецензирования 09.02.2026;  
принята к публикации 19.03.2026.  
The article was submitted 17.11.2025; approved after reviewing 09.02.2026; accepted for publication 19.03.2026.*