

РОЛЬ МЕЛИОРАЦИИ И ВОДНОГО ХОЗЯЙСТВА В ОБЕСПЕЧЕНИИ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ ЗЕМЛЕДЕЛИЯ

Научная статья

УДК 626/627

Исследование технического состояния сооружений мелиоративной системы для определения объема реконструкции

Анна Евгеньевна Хаджиди¹, Наида Гелаевна Джалагония²,
Владимир Георгиевич Дегтярев³

^{1, 2, 3}Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина, Краснодар, Российская Федерация

¹dtm-khanna@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1375-9548>

²naida817215@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0007-6830-3576>

³cst2007@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1993-6736>

Аннотация. Цель: оценка прочности, устойчивости и эксплуатационной надежности сооружений мелиоративной системы для дальнейшего определения объема работ по реконструкции на основе исследования технического состояния гидротехнических сооружений, включающих магистральные трубопроводы, каналы, водоотводы и сбросные сооружения. **Материалы и методы.** Мелиоративная система была введена в эксплуатацию 40 лет назад, и за время работы ни разу не проводился ее ремонт, в результате значительного износа сооружений, каналов и магистрального трубопровода увеличились непроизводительные затраты оросительной воды. Для выявления состояния систем было выполнено визуальное и инструментальное обследование. Визуальное обследование включает выявление состояния откосов и гребня, а инструментальное определяет прочностные и деформационные характеристики грунтов. **Результаты.** На момент исследования отсутствует недопустимый риск, связанный с причинением вреда жизни или здоровью граждан, имуществу физических или юридических лиц, государственному или муниципальному имуществу, окружающей среде, вследствие разрушения или потери устойчивости сооружений или их части. При этом зафиксированные дефекты существенно снижают коэффициент полезного действия каналов мелиоративной системы. **Выводы.** Комплексная оценка технических параметров выявила участки, нуждающиеся в срочном восстановлении, модернизации, а также определила ключевые аспекты эксплуатационного процесса. Выполненные исследования обосновали необходимость внедрения комплекса мер по реконструкции мелиоративной системы, а именно: расчистка и заделка цементными растворами, полимерными компонентами, клеями стыков, трещин в железобетонных и бетонных конструкциях; устранение нарушения герметичности магистрального и стального трубопровода; очистка каналов от растительности; восстановление проектного профиля и уклона водоводов. Эти меры направлены на рациональное использование водных запасов и поддержание благоприятной экологической обстановки в регионе.

Ключевые слова: грунтовые воды, георадиолокационное исследование, оросительная система, мелиоративная система

Апробация результатов исследования: основные положения статьи доложены на Всероссийской научно-практической конференции «Роль мелиорации и водного хозяйства в обеспечении устойчивого развития земледелия» (г. Новочеркасск, 19 февраля 2025 г.).

Для цитирования: Хаджиди А. Е., Джалагония Н. Г., Дегтярев В. Г. Исследование технического состояния сооружений мелиоративной системы для определения объема реконструкции // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. 2025. Т. 95, № 1. С. 248–264.



THE ROLE OF LAND RECLAMATION AND WATER MANAGEMENT IN ENSURING THE SUSTAINABLE DEVELOPMENT OF AGRICULTURE

Original article

The study of technical state of the reclamation system structures for determining reconstruction volume

Anna E. Khadzhidi¹, Naida G. Jalagonia², Vladimir G. Degtyarev³

^{1, 2, 3}Kuban State Agrarian University named after I. T. Trubilin, Krasnodar, Russian Federation

¹ dtn-khanna@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1375-9548>

² naida817215@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0007-6830-3576>

³ cst2007@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1993-6736>

Abstract. Purpose: to assess the strength, stability and operational reliability of the reclamation system structures for further determination of the reconstruction volume based on the study of the technical condition of hydraulic structures, including main pipelines, canals, spillways and outlet structures. **Materials and methods.** The reclamation system was put into operation 40 years ago, and during its operation it has never been repaired. As a result of significant wear of the structures, canals and main pipeline, the unproductive expenses of irrigation water have increased. To determine the condition of the systems, a visual and instrumental inspection was performed. Visual inspection includes identification of the condition of slopes and ridge, and instrumental inspection determines strength and deformation characteristics of soils. **Results.** At the time of the study, there is no unacceptable risk associated with harm to life or health of citizens, property of individuals or legal entities, state or municipal property, the environment, due to the damage or loss of stability of structures or their parts. At the same time, the recorded defects significantly reduce the efficiency of the reclamation system canals. **Conclusions.** A comprehensive assessment of technical data identified the areas in need of urgent restoration, modernization, and determined the key aspects of the operational process. The conducted studies substantiated the need to implement a set of measures to reconstruct the reclamation system, namely: clearing and sealing joints and cracks in reinforced concrete and concrete structures with cement mortars, polymer components and adhesives; eliminating leaks in the main and steel pipelines; cleaning canals from vegetation; restoring the design profile and slope of water pipelines. These measures are aimed at the rational use of water reserves and maintaining a favorable environmental situation in the region.

Keywords: groundwater, ground penetrating radar survey, irrigation system, reclamation system

Evaluation of the research results: the main provisions of the article were reported at the All-Russian scientific and practical conference “The role of land reclamation and water management in ensuring the sustainable development of agriculture” (Novocherkassk, February 19, 2025).

For citation: Khadzhidi A. E., Jalagonia N. G., Degtyarev V. G. The study of technical state of the reclamation system structures for determining reconstruction volume. *Ways of Increasing the Efficiency of Irrigated Agriculture*. 2025;95(1):248–264. (In Russ.).

Введение. В настоящее время на территории Российской Федерации действует государственная программа, направленная на восстановление и развитие мелиоративного комплекса для обеспечения продовольственной безопасности страны [1]. При управлении водными ресурсами играет ключ-

ческую роль состояние гидротехнических сооружений, которые обеспечивают орошение сельскохозяйственных территорий, защиту от наводнений, а также поддерживают экологический баланс водных объектов [2, 3]. Многие объекты подвергаются негативному воздействию внешних факторов, что отображается в износе гидротехнических сооружений и снижении их работоспособности [4, 5]. Непрерывная и качественная работа мелиоративных систем является приоритетным фактором в обеспечении эффективности водопользования и водораспределения [6, 7].

Материалы и методы. Объектом исследования выступает мелиоративная система с открытыми каналами с железобетонным покрытием для орошения, расположенная в Краснодарском крае, Динском районе. Длина каналов достигает 1,9 км, на концах водовыпусков предусмотрены трубчатые переезды. Трубопровод для транспортировки воды выполнен из железобетона. Вид мелиоративной системы: открытая, состоящая из каналов в земляном русле. Нормативный срок эксплуатации открытых каналов в земляном русле – 40 лет [8].

Строительство мелиоративных систем в Краснодарском крае в южной части Динского района было начато в 1977 г. и завершено в 1985 г.

Динский район расположен в центральной зоне Краснодарского края в пограничной полосе двух климатов: континентального и средиземноморского, которым присущи короткие теплые зимы и жаркое продолжительное лето с достаточным количеством дождей.

Участок мелиоративной системы располагается на пойменных террасах р. Понуры и Кочеты. Вода на орошение сельскохозяйственных культур поступает по магистральному каналу при помощи существующей насосной станции мелиоративной системы в федеральной собственности. Рассматриваемый участок имеет инженерно-геологический подрайон распространения аллювиальных и аллювиально-делювиальных отложений, представленных суглинками и глинами иловатыми с линзами и прослоями песка.

Геологическое строение участка расположения гидротехнического сооружения и прилегающей территории довольно простое: с поверхности и до глубины 25 м залегают современные аллювиальные отложения.

По действующему в настоящее время нормативному документу СП 14.13330.2018 «Строительство в сейсмических районах» и картам общего сейсмического районирования территории Российской Федерации интенсивность сейсмических воздействий для средних грунтовых условий составляет 8 баллов.

Назначение открытого внутрихозяйственного оросительного канала в земляном русле – транспортировка воды для орошения сельскохозяйственных полей в Динском районе. Тип конструкции канала – открытый в земляном русле с железобетонной облицовкой, способ подачи воды на орошение механический, способ полива – дождевание, протяженность каналов – 26,58 км, глубина канала – 2,50 м.

Основное назначение открытого осушительного канала – перехват излишков воды после орошения сельскохозяйственных полей и залповых ливней в Динском районе. Тип конструкции канала – открытый, в земляном русле. Протяженность каналов – 30,22 км.

Целью исследования являлась оценка прочности, устойчивости и эксплуатационной надежности сооружений мелиоративной системы, находящейся в эксплуатации около 40 лет.

Результаты. В результате обследования оросительной системы была установлена неудовлетворительная работа магистрального трубопровода из-за разрушения стыков, истощения ресурса эксплуатации гидромеханического оборудования. Основные дефекты каналов, выявленные в ходе визуального обследования: зарастание дна каналов растительностью (рисунок 1), локальное разрушение бетонной облицовки канала (рисунок 2), трещины различной направленности в бетонной облицовке канала, нарушение герметичности деформационных швов бетонной облицовки канала

(рисунок 3). При визуальном обследовании также было выявлено частичное разрушение откосов каналов.



**Рисунок 1 – Заращение канала растительностью
(автор фото В. Г. Дегтярев)**

Figure 1 – Canal overgrown with vegetation (photo by V. G. Degtyarev)



**Рисунок 2 – Локальное разрушение бетонной облицовки
канала (автор фото В. Г. Дегтярев)**

**Figure 2 – Localized damage of the channel concrete lining
(photo by V. G. Degtyarev)**



**Рисунок 3 – Нарушение герметичности деформационных
швов (автор фото В. Г. Дегтярев)**

Figure 3 – Control joints leakage (photo by V. G. Degtyarev)

Оценка физико-механических свойств грунтов основания мелиоративной системы в Динском районе проводилась посредством неразрушающего контроля – пенетрометром статического действия ПСГ-МГ4, на основе корреляционной зависимости между удельным сопротивлением пенетрации и механическими свойствами грунта [9]. Определялись характеристики грунтов: угол внутреннего трения, удельное сцепление, модуль упругости, а также плотностные характеристики грунтов.

Выполнена оценка технического состояния конструкций по внешним признакам, которая производилась на основе определения следующих факторов: геометрических размеров конструкций; наличия трещин, отколов и разрушений; состояния защитных покрытий; прогибов и деформаций конструкций; нарушения сцепления арматуры с бетоном; наличия разрыва арматуры; состояния анкеровки продольной и поперечной арматуры; степени коррозии бетона и арматуры.

Для контроля прочности бетона при поверхностном прозвучивании использовалась градуировочная зависимость, установленная на основании результатов параллельных испытаний одних и тех же участков конструкций ультразвуковым методом и методом отрыва со скалыванием по ГОСТ 22690. Градуировочные зависимости были установлены отдельно по каждому виду нормируемой прочности, указанному для бетонов одного номинального состава.

На каждом участке определялось положение арматуры, а затем ультразвуковым прибором проводились пять измерений косвенного показателя. Прозвучивание осуществлялось в двух взаимно перпендикулярных направлениях под углом примерно 45° к направлению арматуры, параллельно или перпендикулярно ей. При прозвучивании в направлении, параллельном арматуре, линия прозвучивания располагалась между арматурными стержнями.

Инструментально подтверждено отсутствие зон с пониженной прочностью бетона; скрытых дефектов в железобетонных конструкциях не ус-

тановлено. Определение фактической прочности бетона методом отрыва со скалыванием представлено на рисунке 4.



Рисунок 4 – Определение фактической прочности бетона (автор фото В. Г. Дегтярев)

Figure 4 – Determination of the actual concrete strength (photo by V. G. Degtyarev)

Контрольные измерения защитного слоя арматуры строительных конструкций выполнены магнитным методом, толщина защитного слоя составляет 40–80 мм.

Определены динамические параметры земляных каналов в бетонной облицовке. Выполнено измерение частот собственных колебаний посредством диагностического комплекса «Стрела», чувствительным датчиком которого являются цифровые короткопериодные сейсмометры ZET 7156. В результате установлены средние значения:

- периода основного тона собственных колебаний вдоль большой оси 0,92 с;
- периода основного тона собственных колебаний вдоль малой оси 0,82 с;
- периода основного тона собственных колебаний вдоль вертикальной оси 0,77 с;
- логарифмического декремента основного тона собственных колебаний вдоль большой оси 0,05;
- логарифмического декремента основного тона собственных колебаний вдоль малой оси 0,22;
- логарифмического декремента основного тона собственных колебаний.

Установленные данные подтверждают деградацию свойств материалов во времени, т. е. постепенное понижение уровня эксплуатационных характеристик материалов, процесс их изменения в сторону ухудшения относительно проектных значений.

Выполнена оценка устойчивости бетона к проникновению воды, которая зависит от его пористости. Марка бетона по водонепроницаемости определялась согласно ГОСТ 12730.5 по величине сопротивления проникновению воздуха. При производстве работ фиксировались следующие параметры: создание разряжения в камерах, процессы изменения давления в вакуумных камерах, сопротивление материала проникновению воздуха, глубина образования вакуума. Определение водонепроницаемости бетона производилось посредством вакуумного измерения прибором ВИП-1. В результате лабораторных исследований установлено, что марка бетонной облицовки оросительных каналов на данный момент согласно ГОСТ 12730.5-2018 соответствует значению от W2 до W4. Конструкции из такого бетона требуют обязательной дополнительной гидроизоляции.

Выполнено георадиолокационное исследование по контрольным створам методом сверхширокополосного зондирования с определением фактического геологического строения в зоне сооружения. При исследовании использовался георадар, радарный процессор которого имеет оптимальную глубину изучения и разрешающую способность для решения поставленных задач. Принцип действия георадара основан на свойстве отражения электромагнитных импульсов от границ раздела сред с различными электрофизическими свойствами. Излученный передающей антенной в исследуемую среду электромагнитный импульс отражается от находящихся в толще геолого-литологических границ, железобетонных конструкций, трещин и разных объектов, имеющих разные скорости распространения зондирующего импульса, диэлектрическую проницаемость и удельную проводимость.

Наиболее важными параметрами, характеризующими возможности применения метода георадиолокации в различных средах, являются удельное затухание, скорость распространения электромагнитных волн в среде и диэлектрическая проницаемость, которые определяются их электрофизическими свойствами [10].

При георадиолокационном исследовании важную роль играет настройка параметров регистрации электромагнитного сигнала, излученного генератором станции.

Принципиальная схема георадиолокационного зондирования представлена на рисунке 5.

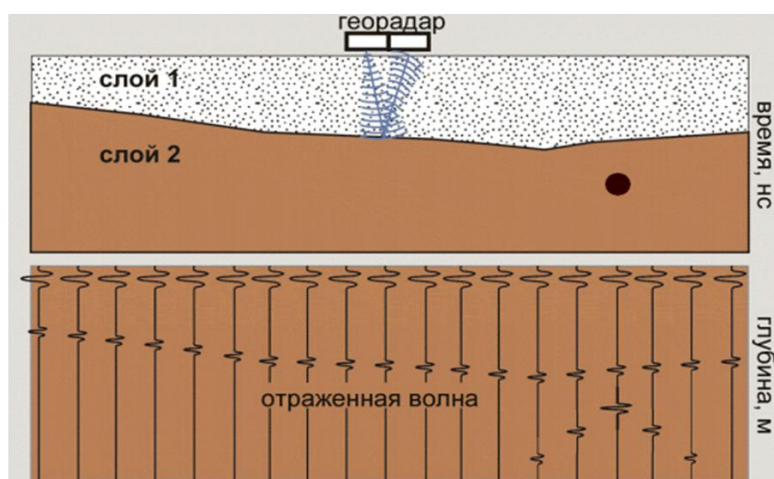


Рисунок 5 – Георадиолокационное зондирование
Figure 5 – Georadar sensing

При перемещении георадара по поверхности исследуемой среды на экран монитора выводилась совокупность сигналов, по которым определялись глубина исследуемых элементов, наличие пустот и т. д.

Обработка полевых материалов георадиолокационного исследования проводилась с помощью специализированной программы.

Сущность обработки георадиолокационных данных состоит прежде всего в выделении полезного сигнала (осей синфазностей полезных волн) на фоне помех и шума с помощью таких процедур, как усиление, вычитание среднего, выравнивание амплитуд, горизонтальная и вертикальная по-

лосовая фильтрация. Полезные волны, их оси синфазности, амплитуды, частотный состав, общий вид записи и т. д. используются для получения параметров среды [11]. Для выделения полезных сигналов использовано отличие их характеристик от соответствующих характеристик шума и волн-помех.

Выделение фаций внутри георадарного комплекса основывается на детальном анализе волновой картины, который может проводиться как на качественной (визуальной) основе, так и с использованием способов, базирующихся на количественной оценке параметров с применением ЭВМ.

В ходе обработки георадарограмм, полученных в результате полевых георадиолокационных исследований, выявлено наличие зон грунта перемешанной структуры в ряде мест с локальными смещениями.

В последние годы для решения прикладных задач в механике грунтов используются преимущественно численные методы расчета НДС оснований и фундаментов, в т. ч. метод конечных элементов (МКЭ), метод конечных разностей (МКР) и метод граничных элементов (МГЭ) [12].

В данной работе был принят МКЭ, так как он позволяет учитывать неоднородность основания, нелинейную деформацию грунтов при их взаимодействии с конструкциями сооружения.

Известно, что при решении задач МКЭ сплошная область рассматривается как совокупность конечного числа элементов. В данной работе были использованы элементы плоской деформации, 1D-элементы и др., представленные в ПК MIDAS GTS NX и позволяющие моделировать любые задачи с достаточной степенью точности.

Для математического (численного) моделирования НДС грунтов оснований необходимы: геомеханическая модель массива грунта, вмещающего рассматриваемое сооружение; механическая модель грунтов, составляющих рассматриваемый массив; расчетные параметры грунтов ИГЭ; начальные и граничные условия; конструктивные особенности фундаментов и подземной части сооружения; нагрузки, приходящиеся на сооружение.

В данной работе для построения геомеханической конечно-элементной модели рассматриваемого массива грунта был использован программный комплекс MIDAS GTS NX, апробированный в процессе расчетного обоснования и строительства большого числа объектов, в т. ч. уникальных сооружений.

Программа MIDAS GTS NX использует мультифронтальный решатель Гаусса для систем с разреженными матрицами – один из самых быстрых решателей, используемых в итерационных нелинейных расчетах моделей большого размера.

Программа MIDAS GTS NX также поддерживает два итерационных решателя: PCG (метод сопряженных градиентов) и GMRES (метод минимизации невязки).

Результатами расчета являются: перемещения, деформации, напряжения в произвольной точке грунтового массива и элемента конструкции.

Все модели материалов, используемые в MIDAS GTS NX, основаны на зависимости между скоростью изменения эффективных напряжений σ и скоростью прохождения деформаций ε .

Такая зависимость может быть рассчитана по формуле:

$$\sigma = M \cdot \varepsilon, \quad (1)$$

где M – матрица жесткости материала.

В этом уравнении тензоры скоростей изменения напряжений и деформаций представлены в векторной форме и включают (для пространственных задач) шесть декартовых составляющих:

$$\sigma = (\sigma_{xx}, \sigma_{yy}, \sigma_{zz}, \sigma_{xy}, \sigma_{yz}, \sigma_{zx}), \quad (2)$$

$$\varepsilon = (\varepsilon_{xx}, \varepsilon_{yy}, \varepsilon_{zz}, \gamma_{xy}, \gamma_{yz}, \gamma_{zx}). \quad (3)$$

В MIDAS главные напряжения располагаются в алгебраической последовательности – наибольшее сжимающее напряжение.

Самая простая модель материала в MIDAS GTS NX описывается за-

коном Гука для изотропного линейного упругого поведения (линейно-упругая модель) из выражения:

$$\begin{pmatrix} \sigma_{xx} \\ \sigma_{yy} \\ \sigma_{zz} \\ \sigma_{xy} \end{pmatrix} = \frac{E}{(1-2\nu)(1+\nu)} \begin{pmatrix} 1-\nu & \nu & \nu & 0 \\ \nu & 1-\nu & \nu & 0 \\ \nu & \nu & 1-\nu & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{1}{2}-\nu \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \varepsilon_{xx} \\ \varepsilon_{yy} \\ \varepsilon_{zz} \\ \varepsilon_{xy} \end{pmatrix}. \quad (4)$$

В данной модели используются только два параметра: E и ν .

Зависимость между E и другими модулями жесткости, такими как G (модуль сдвига), K (объемный модуль) и одометрический модуль E_{oed} , представлена следующими выражениями:

$$G = \frac{E}{2(1+\nu)}, \quad (5)$$

$$K = \frac{E}{3(1-2\nu)}, \quad (6)$$

$$E_{oed} = \frac{E(1-\nu)}{(1-2\nu)(1+\nu)}, \quad (7)$$

где G – модуль сдвига, кПа;

E – модуль деформации, кПа;

ν – коэффициент Пуассона;

K – объемный модуль, кПа;

E_{oed} – одометрический модуль, кПа.

Линейно-упругая модель обычно не используется для моделирования нелинейного поведения грунта, однако она позволяет с высокой степенью точности моделировать работу конструкций, например, бетонных стенок или фундаментных плит. В настоящей работе линейно-упругий материал использован для описания работы фундаментов сооружений и железобетонных плит облицовки оросительных каналов.

Выводы. На основании проведенного всестороннего анализа результатов инструментального исследования мелиоративной системы необхо-

можно констатировать, что сооружения имеют ряд дефектов, свойственных сооружениям, находящимся в длительной эксплуатации. На момент исследования отсутствует недопустимый риск, связанный с причинением вреда жизни или здоровью граждан, имуществу физических или юридических лиц, государственному или муниципальному имуществу, окружающей среде, жизни и здоровью животных и растений вследствие разрушения или потери устойчивости сооружений или их части.

При этом зафиксированные дефекты существенно снижают коэффициент полезного действия каналов мелиоративной системы, что в свою очередь сказывается на эффективности работы всей мелиоративной системы.

Выявленные в ходе визуального обследования дефекты и повреждения зафиксированы посредством фотофиксации. Основные дефектные участки представлены: зарастанием каналов растительностью, зонами смещения грунта, наличием включений в грунте, локальными зонами грунта перемешанной структуры, трещинами и кавернами в конструкциях облицовки каналов, а также локальными разрушениями.

Ультразвуковое обследование не выявило в бетоне скрытых трещин и пустот.

В результате определения устойчивости бетона к проникновению воды, которая зависит от его пористости, определены марки бетона облицовки каналов мелиоративной системы по водонепроницаемости, которые находятся в пределах W2–W4.

По результатам измерений фактических физико-механических свойств бетона каналов мелиоративной системы необходимо констатировать, что значения фактического класса бетона облицовки находятся в диапазоне B20–B25.

Дефекты, выявленные в ходе выполнения полевых работ, не обусловлены превышением расчетных критериев предельных состояний. Подтверждена деградация свойств материалов во времени, т. е. постепенное

понижение уровня эксплуатационных характеристик материалов, процесс их изменения в сторону ухудшения относительно проектных значений.

Имеющиеся дефекты и повреждения не критичны, однако существенно снижают коэффициент полезного действия каналов мелиоративной системы.

С целью дальнейшей способности строительного объекта выполнять требуемые функции в течение расчетного срока эксплуатации необходимо выполнить ремонтно-восстановительные работы, обеспечивающие устранение выявленных в ходе обследования дефектов. Перед выполнением ремонтно-восстановительных работ необходимо разработать конструктивно-технологическое обоснование (проект капитального ремонта).

При разработке конструктивно-технологического обоснования необходимо учесть: расчистку и заделку цементными растворами, полимерными компонентами, клеями стыков, трещин, каверн и выбоин в железобетонных и бетонных конструкциях; устранение нарушения герметичности магистрального трубопровода и нарушения герметичности стального трубопровода; очистку каналов от растительности; восстановление проектного профиля и уклона водоводов; очистку от наносов каналов при величине наносов более 10 % рабочего поперечного сечения канала.

Водоприемные оголовки дренажной сети заросли кустарниковой растительностью. Дренажные каналы требуют комплексного подхода к восстановлению проектного профиля: утилизация растительности в канале, спил деревьев вдоль и в канале, разделка древесины на метровки с погрузкой в тележку, складирование в кучу веток деревьев с последующим дроблением на щепу, корчевка пней; вывоз отходов после мероприятий, связанных с удалением древесной растительности; углубление и очистка дренажного канала (на глубину от 0,5 до 1,0 м) от иловых отложений с последующим восстановлением проектного поперечного сечения.

Список источников

1. Ольгаренко Г. В., Васильев С. М., Балакай Г. Т. Концепция государственной программы «Восстановление и развитие мелиоративного комплекса Российской Федерации на период 2020–2030 годов». Новочеркасск: РосНИИПМ, 2019. 128 с. EDN: FDQXKA.
2. Кузнецов Е. В., Хаджиди А. Е., Орленко С. Ю. Гидравлический расчет открытых русел и гидротехнических сооружений / М-во сел. хоз-ва Рос. Федерации, Куб. гос. аграр. ун-т. Краснодар: КубГАУ, 2009. 74 с. EDN: QNOITJ.
3. Волкова Н. Е., Захаров Р. Ю. Методологические основы оценки уровня экологической безопасности функционирования водохозяйственных экосистем в Республике Крым // Экология и промышленность России. 2020. Т. 24, № 4. С. 46–52. DOI: 10.18412/1816-0395-2020-4-46-52. EDN: НМСРВГ.
4. Зверьков М. С., Брыль С. В. Аналитический обзор подходов к оценке технического уровня гидромелиоративных систем // Экология и строительство. 2020. № 3. С. 33–44. DOI: 10.35688/2413-8452-2020-03-005. EDN: JLRHZN.
5. Методические подходы к определению состояния дренажных мелиоративных систем на основе дистанционного зондирования / А. Ф. Петрушин, Ю. Г. Янко, О. А. Митрофанова, Е. П. Митрофанов // Агрофизический институт: 90 лет на службе земледелия и растениеводства: материалы Междунар. науч. конф., г. Санкт-Петербург, 14–15 апр. 2022 г. СПб.: АФИ, 2022. С. 874–879. EDN: DSHAEX.
6. Масный Р. С., Сенчуков Г. А., Абраменко И. П. Актуальные вопросы эффективности водопользования в мелиоративном комплексе современной России // Экология и водное хозяйство. 2023. Т. 5, № 2. С. 1–13. DOI: 10.31774/2658-7890-2023-5-2-1-13. EDN: ZPPDFK.
7. Дубенок Н. Н., Петрушин А. Ф., Митрофанова О. А. Оценка состояния осушительных мелиоративных систем с помощью данных дистанционного зондирования // Информационные и телекоммуникационные технологии. 2021. № 51. С. 46–51. EDN: LUVDGJ.
8. Дегтярев В. Г., Хаджиди А. Е., Дегтярев Г. В. Мелиоративные плотины на внутрихозяйственном оросительном звене. Краснодар: Куб. гос. аграрн. ун-т им. И. Т. Трубилина, 2023. 130 с. EDN: WPCQHE.
9. Пат. 2763752 Рос. Федерация, МПК Е 02 В 7/06. Способ восстановления геофизической устойчивости аварийной грунтовой дамбы на слабом основании / Анахаев К. Н., Кузнецов Е. В., Беликов В. В., Хаджиди А. Е., Анахаев К. К.; заявитель Федер. науч. центр «Кабард.-Балк. науч. центр Рос. акад. наук». № 2020135891; заявл. 30.10.20; опубл. 10.01.22, Бюл. № 1. 8 с. EDN: IMXUJU.
10. Зарубин В. С., Кувыркин Г. Н., Савельева И. Ю. Оценки диэлектрической проницаемости композита с дисперсными включениями // Вестник Московского государственного технического университета им. Н. Э. Баумана. Серия «Приборостроение». 2015. № 3. С. 50–64. EDN: UBIZHX.
11. Тюпин В. Н., Анисимов В. Н. Влияние геолого-геофизических особенностей сложноструктурных массивов железистых кварцитов на показатели горнотехнологических и взрывных работ // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 2018. № 1. С. 55–60. DOI: 10.15372/FTPRPI20180107. EDN: YTIKUW.
12. Вергазова О. В., Королев Е. А. Применение метода конечных элементов для решения технических задач // Modern European Researches. 2021. № 2, т. 1. С. 76–81. EDN: DGRQGI.

References

1. Olgarenko G.V., Vasiliev S.M., Balakai G.T., 2019. *Kontseptsiya gosudarstvennoy programmy «Vosstanovlenie i razvitie meliorativnogo kompleksa Rossiyskoy Federatsii na pe-*

riod 2020–2030 godov» [The concept of the state program “Restoration and Development of the Reclamation Complex of the Russian Federation for the Period 2020–2030”]. Novocherkassk, RosNIIPM, 128 p., EDN: FDQXKA. (In Russian).

2. Kuznetsov E.V., Khadzhidi A.E., Orlenko S.Yu., 2009. *Gidravlicheskiy raschet ot-krytykh rusel i gidrotekhnicheskikh sooruzheniy* [Hydraulic Calculation of Open Channels and Hydraulic Structures]. Ministry of Agriculture of the Russian Federation, Kuban State Agrarian University, Krasnodar, Kuban State Agrarian University, 74 p., EDN: QNOITJ. (In Russian).

3. Volkova N.E., Zakharov R.Yu., 2020. *Metodologicheskie osnovy otsenki urovnya ekologicheskoy bezopasnosti funktsionirovaniya vodokhozyaystvennykh ekosistem v Respublike Krym* [Methodological basis for assessing the level of environmental safety of water ecosystems in the Republic of Crimea]. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii* [Ecology and Industry of Russia], vol. 24, no. 4, pp. 46-52, DOI: 10.18412/1816-0395-2020-4-46-52, EDN: HMC PBG. (In Russian).

4. Zverkov M.S., Bryl S.V., 2020. *Analiticheskiy obzor podkhodov k otsenke tekhnicheskogo urovnya gidromeliorativnykh sistem* [Analytical review of methods to assess the technical level of irrigation and drainage systems]. *Ekologiya i stroitel'stvo* [Ecology and Construction], no. 3, pp. 33-44, DOI: 10.35688/2413-8452-2020-03-005, EDN: JLRHZZ. (In Russian).

5. Petrushin A.F., Yanko Yu.G., Mitrofanova O.A., Mitrofanov E.P., 2022. *Metodicheskie podkhody k opredeleniyu sostoyaniya drenaznykh meliorativnykh sistem na osnove distantsionnogo zondirovaniya* [Methodological approaches to determining the state of drainage and melioration systems based on remote sensing]. *Agrofizicheskiy institut: 90 let na sluzhbe zemledeliya i rastenievodstva: materialy Mezhdunarodnoy nauch. konferentsii* [Agrophysical Institute: 90 Years in the Service of Agriculture and Crop Production: Proceed. of the International Scientific Conference]. St. Petersburg, AFI Publ., pp. 874-879, EDN: DSHAEX. (In Russian).

6. Masny R.S., Senchukov G.A., Abramenko I.P., 2023. *Aktual'nye voprosy effektivnosti vodopol'zovaniya v meliorativnom komplekse sovremennoy Rossii* [Current issues of water use efficiency in the reclamation complex of contemporary Russia]. *Ekologiya i vodnoe khozyaystvo* [Ecology and Water Management], vol. 5, no. 2, pp. 1-13, DOI: 10.31774/2658-7890-2023-5-2-1-13, EDN: ZPPDFK. (In Russian).

7. Dubenok N.N., Petrushin A.F., Mitrofanova O.A., 2021. *Otsenka sostoyaniya osushitel'nykh meliorativnykh sistem s pomoshch'yu dannykh distantsionnogo zondirovaniya* [Assessment of the state of drainage reclamation systems using remote sensing data]. *Informatsionnye i telekommunikatsionnye tekhnologii* [Information and Telecommunication Technologies], no. 51, pp. 46-51, EDN: LUV DGJ. (In Russian).

8. Degtyarev V.G., Khadzhidi A.E., Degtyarev G.V., 2023. *Meliorativnye plotiny na vnutrikhozyaystvennom orositel'nom zvene* [Reclamation Dams at the On-Farm Irrigation Link]. Krasnodar, Kuban State Agrarian University Named after I. T. Trubilin, 130 p., EDN: WPCQHE. (In Russian).

9. Anakhaev K.N., Kuznetsov E.V., Belikov V.V., Khadzhidi A.E., Anakhaev K.K., 2022. *Sposob vosstanovleniya geo-fizicheskoy ustoychivosti avariynoy gruntovoy damby na slabom osnovanii* [Method for Restoring the Geophysical Stability of an Emergency Ground Dam on a Weak Foundation]. Patent of the RF, no. 2763752, EDN: IMXUJU. (In Russian).

10. Zarubin V.S., Kuvyrkin G.N., Savelyeva I.Yu., 2015. *Otsenki dielektricheskoy pronitsaemosti kompozita s dispersnymi vklucheniymi* [Evaluation of dielectric permittivity of composite with dispersed inclusions]. *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. N. E. Bauman. Seriya «Priborostroenie»* [Bullet. of Bauman Moscow State Technical University. Instrument-Making Series], no. 3, pp. 50-64, EDN: UBIZHX. (In Russian).

11. Tyupin V.N., Anisimov V.N., 2018. *Vliyanie geologo-geofizicheskikh osobennostey slozhnostrukturnykh massivov zhelezistykh kvartsitov na pokazateli gornotekhnologicheskikh i vzryvnykh rabot* [Influence of geological and geophysical features of complex-structured ferrugi-

nous quartzite ore bodies on blasting and processing performance]. *Fiziko-tekhnicheskie problemy razrabotki poleznykh iskopayemykh* [Physical and Technical Problems of Mineral Resource Development], no. 1, pp. 55-60, DOI: 10.15372/FTPPI20180107, EDN: YTIKUW. (In Russian).

12. Vergazova O.V., Korolev E.A., 2021. *Primenenie metoda konechnykh elementov dlya resheniya tekhnicheskikh zadach* [Application of the finite element method for solving engineering problems]. *Modern European Researches*, no. 2, vol. 1, pp. 76-81, EDN: DGRQGI. (In Russian).

Информация об авторах

А. Е. Хаджиди – заведующий кафедрой гидравлики и сельскохозяйственного водоснабжения, Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина, Краснодар, Российская Федерация, dtn-khanna@yandex.ru, AuthorID: 509767, ORCID ID: 0000-0002-1375-9548;

Н. Г. Джалагония – магистр 1-го курса факультета гидромелиорации, Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина, Краснодар, Российская Федерация, naida817215@yandex.ru, AuthorID: 1182144, ORCID ID: 0009-0007-6830-3576;

В. Г. Дегтярев – доцент кафедры гидравлики и сельскохозяйственного водоснабжения, Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина, Краснодар, Российская Федерация, cst2007@mail.ru, AuthorID: 805591, ORCID ID: 0000-0002-1993-6736.

Information about the authors

A. E. Khadzhidi – Head of the Hydraulics and Agricultural Water Supply Department, Kuban State Agrarian University named after I. T. Trubilin, Krasnodar, Russian Federation, dtn-khanna@yandex.ru, AuthorID: 509767, ORCID ID: 0000-0002-1375-9548;

N. G. Jalagonia – 1st Year Master's Student of the Faculty of Hydromelioration, Kuban State Agrarian University named after I. T. Trubilin, Krasnodar, Russian Federation, dtn-khanna@yandex.ru, AuthorID: 1182144, ORCID ID: 0009-0007-6830-3576;

V. G. Degtyarev – Associate Professor of the Hydraulics and Agricultural Water Supply Department, Kuban State Agrarian University named after I. T. Trubilin, Krasnodar, Russian Federation, cst2007@mail.ru, AuthorID: 805591, ORCID ID: 0000-0002-1993-6736.

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 31.01.2025; одобрена после рецензирования 28.02.2025; принята к публикации 10.04.2025.

The article was submitted 31.01.2025; approved after reviewing 28.02.2025; accepted for publication 10.04.2025.