

Оригинальная статья

УДК 626/627:504.06

<https://doi.org/10.26897/1997-6011-2026-4-15-22>

ТЕХНИКО-ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ РЕШЕНИЙ ПО МОДЕРНИЗАЦИИ БЕТОННЫХ ПОКРЫТИЙ ОРОСИТЕЛЬНЫХ КАНАЛОВ В АРИДНЫХ РЕГИОНАХ

Ю.П. Фоменко^{1✉}, И.А. Коваленко²

^{1,2}Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук; г. Волгоград, Российская Федерация

¹fomenko-y@vfanc.ru; ORCID:0009-0008-6050-6325

²kovalenko-i@vfanc.ru; ORCID: 0009-0001-3147-6613

Аннотация. Цель исследований – разработка экологически ориентированных технических решений для продления срока службы бетонных покрытий гидротехнических сооружений оросительных систем ЮФО на основе комплексной оценки их текущего состояния и модификации применяемых материалов. В условиях дефицита водных ресурсов и повышенной экологической уязвимости южных регионов России все большую актуальность приобретает снижение потерь воды из оросительных каналов. В статье представлены результаты исследований технического состояния бетонных конструкций гидротехнических сооружений, входящих в состав оросительных систем Южного федерального округа, на примере Генераловской оросительной системы Волгоградской области и оросительной сети «0-71» Камызякского района Астраханской области. Установлено, что объекты находятся в состоянии повышенного предельного физического износа, вызванного длительной эксплуатацией и агрессивными воздействиями, что приводит к критическим потерям оросительной воды на фильтрацию и способствует процессам вторичного засоления почвы. В работе предложено технико-экологическое решение, основанное на комплексной модернизации бетонных покрытий с применением современных гидроизоляционных полимерно-минеральных добавок для бетона, обеспечивающих повышенную гидроизоляцию и стойкость к эрозии. Основной акцент сделан на экологической эффективности: сокращение непродуктивных потерь оросительной воды, предотвращение вторичного засоления и заболачивания прилегающих земель, что позволяет минимизировать негативное воздействие на окружающую среду в условиях аридного климата. Полученные результаты могут быть использованы при разработке программ технического перевооружения и продления срока эксплуатации гидротехнических сооружений для повышения экологической устойчивости и климатической адаптивности мелиоративного комплекса в регионах с дефицитом воды.

Исследования выполнены в рамках государственного задания FNFE-2025-0006 «Разработка теоретических и практических основ эксплуатации мелиоративных систем с применением ресурсосберегающих технологий, моделей их функционирования и управления».

Ключевые слова: оросительные системы, засоление почв, диагностика, потери воды, экологическая эффективность, эрозия, гидротехнические сооружения

Формат цитирования: Фоменко Ю.П., Коваленко И.А. Техничко-экологическое обоснование решений по модернизации бетонных покрытий оросительных каналов в аридных регионах. Природообустройство. 2026;Т.19(4):15-22. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2026-4-15-22>

Scientific article

TECHNICAL AND ENVIRONMENTAL JUSTIFICATION OF SOLUTIONS FOR THE MODERNIZATION OF CONCRETE COATINGS OF IRRIGATION CHANNELS IN ARID REGIONS

Yu.P. Fomenko^{1✉}, I.A. Kovalenko²,

^{1,2}Federal Scientific Center of Agroecology, Complex Land Reclamation and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences

¹fomenko-y@vfanc.ru; ORCID:0009-0008-6050-6325

²kovalenko-i@vfanc.ru; ORCID: 0009-0001-3147-6613

Abstract. The purpose of the research is to develop environmentally oriented technical solutions for extending the service life of concrete coverings of hydraulic structures of irrigation systems in the Southern Federal

District based on a comprehensive assessment of their current condition and modification of the materials used. In the conditions of water resource scarcity and increased environmental vulnerability in the southern regions of Russia, reducing water losses from irrigation channels is becoming increasingly important. This article presents the results of a study of the technical condition of concrete structures of hydraulic structures that are part of the irrigation systems of the Southern Federal District, using the example of the Generalov Irrigation System in the Volgograd Region and the 0-71 Irrigation Network in the Kamzyzysky District of the Astrakhan Region. It has been established that the facilities are in a state of increased or extreme physical wear and tear caused by prolonged use and aggressive environmental factors, which leads to critical losses of irrigation water due to filtration and contributes to the processes of secondary soil salinization. The paper proposes a technical and environmental solution based on the comprehensive modernization of concrete pavements using modern waterproofing polymer-mineral additives for concrete, which provide enhanced waterproofing and resistance to erosion. The main focus is on environmental efficiency, including reducing unproductive losses of irrigation water, preventing secondary salinization and waterlogging of adjacent lands, and minimizing the negative impact on the environment in arid climates. The results obtained can be used in the development of technical re-equipment programs and the extension of the service life of hydraulic structures to improve the environmental sustainability and climate adaptability of the reclamation complex in regions with water shortages.

The research was carried out within the framework of the state assignment FNFE-2025-0006 “Development of theoretical and practical foundations for the operation of reclamation systems using resource-saving technologies, models of their functioning and management”.

Keywords: irrigation systems, soil salinization, diagnostics, water losses, environmental efficiency, erosion, hydraulic structures

Citation format: Fomenko Yu.P., Kovalenko I.A. Technical and ecological justification of solutions for modernizing concrete coatings of irrigation channels in arid regions. *Prirodooobustroystvo*. 2026;19(4):15-22. (In Russ.) <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2026-4-15-22>

Введение. Дефицит оросительной воды – ключевой фактор экологического и социально-экономического стресса в аридных регионах. В условиях нарастающего антропогенного давления и климатических изменений эффективность водопользования становится приоритетной задачей экологической политики. От технического состояния оросительных систем зависит рациональное использование водных ресурсов региона: они обеспечивают устойчивое водоснабжение и стабильность развития агропромышленного комплекса [1-3].

Основу водораспределительной сети составляют оросительные системы юга России, в состав которых входят каналы, дюкеры, шлюзы, насосные станции и другие сооружения, большинство из которых было построено в середине прошлого века. Физический износ этой инфраструктуры трансформирует техническую проблему в острую экологическую, приводя к значительным потерям водных ресурсов, деградации прилегающих земель и снижению устойчивости агроэкосистем [3-5]. Большую обеспокоенность в этой связи вызывают состояние бетонных и железобетонных конструкций, которые являются основой значительной части элементов оросительных систем, и интенсивная деградация бетона, проявляющаяся в виде трещин, сколов, коррозии арматуры,

разрушения защитного слоя, выделения высолов и др. (рис. 1, 2).

Таким образом, низкая техническая надежность гидротехнических сооружений не только приводит к потерям поливной воды, но и значительно повышает экологические риски ввиду опасности затопления прилегающих территорий, засоления почв, деградации земель и т.д. Следовательно, работы, связанные с объективной оценкой текущего состояния бетонных конструкций



Рис. 1. Фрагмент бетонных конструкций оросительного канала Генераловской оросительной сети
Fig. 1. Fragment of concrete structures of the irrigation canal of the Generalov irrigation network



Рис. 2. Фрагмент бетонных конструкций оросительного канала «О-71»
Камызякской оросительной сети

Fig. 2. Fragment of concrete structures of the O-71 irrigation canal of the Kamizyak irrigation network

гидротехнических сооружений и разработкой эффективных мер, направленных на повышение их эксплуатационной надежности и долговечности с учетом экологических ограничений, являются особенно актуальными [2, 8-10].

Цель исследований: разработка экологически ориентированных технических решений для продления срока службы бетонных покрытий гидротехнических сооружений оросительных систем ЮФО на основе комплексной оценки их текущего состояния и модификации применяемых материалов.

Исходя из поставленной цели задачами исследования являлись: проведение эколого-технической диагностики состояния бетонных конструкций на типовых участках назначенных оросительных систем; определение основных видов, причин и степени повреждения бетона; разработка и апробирование состава модифицированных бетонных смесей, направленных на максимальное снижение фильтрации и повышение стойкости к агрессивным воздействиям.

Объектом исследований явились бетонные конструкции Генераловской оросительной системы Волгоградской области и оросительной сети «О-71» Камызякского района Астраханской области.

Проблема износа бетонных конструкций перестала быть сугубо инженерной – она стала проблемой экологической безопасности, рационального природопользования и адаптации к климатическим особенностям всего региона.

Материалы и методы исследований. Проведены исследования состояния бетона канальной сети Генераловской оросительной системы Волгоградской области и канальной сети оросительной системы «О-71» Камызякского района Астраханской области (рис. 3, 4). В первую очередь был выполнен визуальный осмотр объектов исследований на основании приказа Федеральной службы по экологическому, технологическому

и атомному надзору от 27 июня 2016 г. № 240. В соответствии с ГОСТ 17624-2012 и методическими рекомендациями МДС 62-2,01 ГУП «НИИЖБ» был проведен ультразвуковой анализ прибором «Пульсар-1.2». Для контроля прочности бетона на основании ГОСТ 22690-2015 применялся прибор ИПС-МГ4.03 и производился расчет показателей. Георадарную съемку для выявления внутренних дефектов бетонных конструкций канальной сети проводили георадаром «ОКО-3» с антеннами 150/400 МГц и 1200 МГц.

Результаты полученных измерений были обработаны при помощи встроенного алгоритма прибора и преобразованы в количественные показатели прочности бетона. Значения представлены в единицах сопротивления R , выраженных в мегапаскалях (МПа). Это соответствует нормативным требованиям и отраслевым стандартам строительной отрасли и обеспечивает возможность прямого сопоставления экспериментально полученных данных с проектными классами бетона, установленными при проектировании гидротехнических сооружений, что позволяет объективно оценить текущее состояние конструкций и их соответствие нормативным требованиям. В таблице 2 представлены результаты расчетов значений прочности в контрольных точках R_i и рассчитано среднеарифметическое значение этого показателя, а также определена степень разброса значений (дисперсия D) и найден коэффициент вариации V .

Исследования и замеры проводились согласно экспериментальной схеме (рис. 5).

Для улучшения технических параметров бетонных покрытий в результате применения различных добавок были проведены лабораторные исследования на базе ФНЦ агроэкологии РАН. Подготовка образцов с модифицирующими добавками была выполнена в соответствии с ГОСТ 28570-2019. Каждый образец представлял

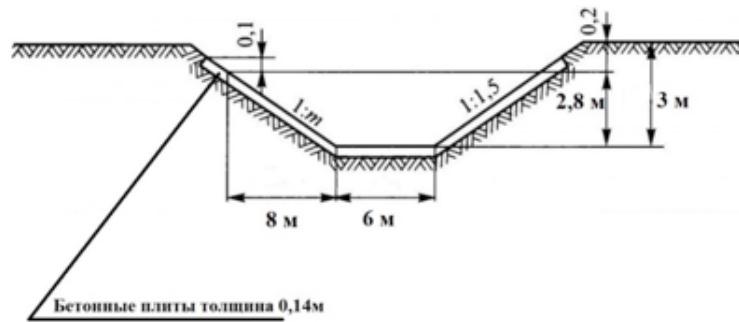


**Рис. 3. Поперечное сечение и геометрические параметры оросительного канала
Генераловской оросительной системы**

Fig. 3. Cross-section and geometric parameters of the irrigation canal of the Generalov irrigation system

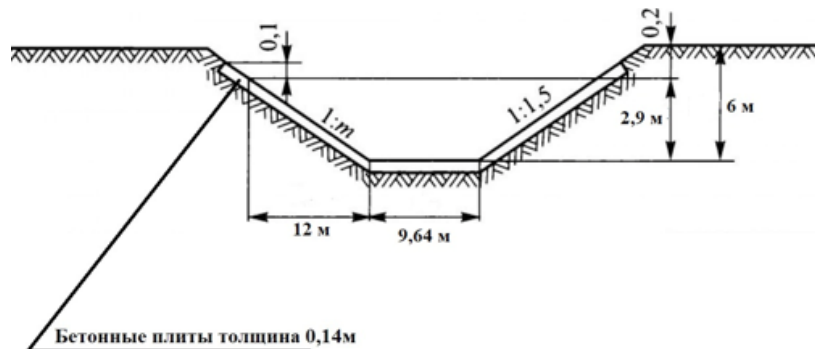


**Рис. 4. Поперечное сечение и геометрические параметры оросительного канала «0-71»
Камызякского района**

Fig. 4. Cross-section and geometric parameters of the irrigation canal "0-71" in the Kamzyaksky District

собой куб со стороной 10 см. Для каждой серии, в том числе контрольной без добавок, было изготовлено по 6 опытных образцов (табл. 1).

В качестве основы для добавок служили компоненты российского производства: цемент класса 42,5Н (М500), который характеризовался водопроницаемостью W4 (пониженная) и морозостойкостью F150 (высокая), соответствующий ГОСТ 31108-2022; песок I класса фракцией 2-2,5 Мк, соответствующий ГОСТ 8736-2014; щебень строительный фракцией 5-20 мм.

Смесь перемешивали в течение 2-3 мин ручным миксером до получения необходимой концентрации бетонной смеси. Затем бетонная смесь была залита в специально подготовленных металлическую форму. Высыхание бетонных образцов осуществлялось в течение 24 ч в лабораторных условиях при температуре $(23 \pm 4)^\circ\text{C}$.

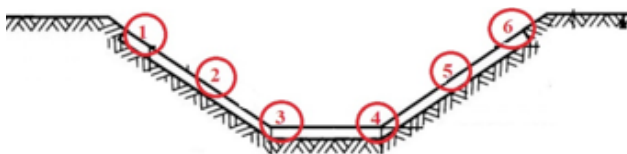


Рис. 5. Схема размещения контрольных точек измерения прочности бетона

Fig. 5. Layout of concrete strength measurement control points

Таблица 1. Виды модифицирующих добавок в опытных образцах

Table 1. Types of modifying additives in the test samples

Номер образца	Модифицирующая добавка
1	Пластиковая стружка
2	Полипропиленовое волокно
3	Стекло
4	Металлическая стружка
5	Контроль
6	Базальтовая фибра
7	Базальтовая фибра и стекло
8	Пластиковая стружка
9	Полипропиленовое волокно и эпоксидная смола
10	Эпоксидная смола
11	Пластиковая и металлическая стружка
12	Пластиковая стружка, эпоксидная смола
13	Металлическая стружка, эпоксидная смола
14	Пластиковая стружка, фибра
15	Металлическая стружка и фибра
16	Стекло и полипропиленовые волокна
17	Стекло и металлическая стружка
18	Пластиковая стружка и базальтовая фибра
19	Металлическая стружка и базальтовая фибра

После высыхания образцов бетонных кубов производилась распалубка. После этого все образцы обильно увлажняли в течение 3-х суток при помощи ручного распылителя. Далее образцы были выдержаны в течение 27 суток в лабораторных условиях при температуре $(23 \pm 4)^\circ\text{C}$ и относительной влажности воздуха до $(29 \pm 5)\%$. После полного высыхания и схватывания опытных образцов они направлялись для контрольного определения марки, плотности и класса бетона с использованием метода ударного импульса при помощи СКБ прибора «ИПС-МГ4.03».

Определение и расчет показателей прочности исследуемых образцов производили в строгом соответствии с требованиями действующих нормативных документов: ГОСТ 10180, 10060-2012, регламентирующих методы испытаний строительных материалов, включая государственные отраслевые стандарты и своды правил.

В ходе исследований были получены результаты минимальных ($R_{\min}$) и максимальных значений прочности ($R_{\max}$) исследуемых образцов, определены показатель единичного размаха прочности W_m и стандартное отклонение δp (табл. 3).

Результаты и их обсуждение. Данные, представленные в таблице 2, позволяют провести

сравнительный анализ экологических рисков, ассоциированных с различной степенью деградации бетонных покрытий. Генераловская оросительная сеть характеризуется широким разбросом значений прочности: от 13,9 до 60,2 МПа, что свидетельствует о высокой степени неоднородности состояния бетонной облицовки оросительного канала, о чем говорит и высокий показатель коэффициента вариации – 59,6%. Анализ бетонного покрытия Камызякского оросительного канала демонстрирует не такой значительный разброс значений прочности бетонного покрытия (от 21,2–41,9 МПа), что говорит о его меньшем физическом износе и более однородном состоянии конструкции, что подтверждает и более низкий (в 2,3 раза) коэффициент вариации – 25,9%.

Распределение показателей прочности бетонного покрытия оросительного канала Генераловской оросительной сети в представленных на рисунке 6 интервалах прочности происходит преимущественно в диапазонах с низким (10–20 МПа) и средним (30–40 МПа) запасом прочности; фиксируется и локальный участок со значением 60,2 МПа, но этот показатель является фрагментарным и может свидетельствовать только о неоднородности прочности конструкции в целом, а не о ее стабильном состоянии.

Таблица 2. Результаты измерения прочности бетонной облицовки оросительных каналов
Table 2. Results of measuring the strength of concrete lining of irrigation channels

Оросительный канал	Показатели прочности бетона								
	R1, МПа	R2, МПа	R3, МПа	R4, МПа	R5, МПа	R6, МПа	Rcp, МПа	D, МПа	V, %
Генераловская сеть	31,8	60,2	46,7	13,9	14,1	21,6	31,4	348,2	59,6
Камызякская сеть	39,0	37,7	38,2	41,9	24,1	21,2	33,7	76	25,9

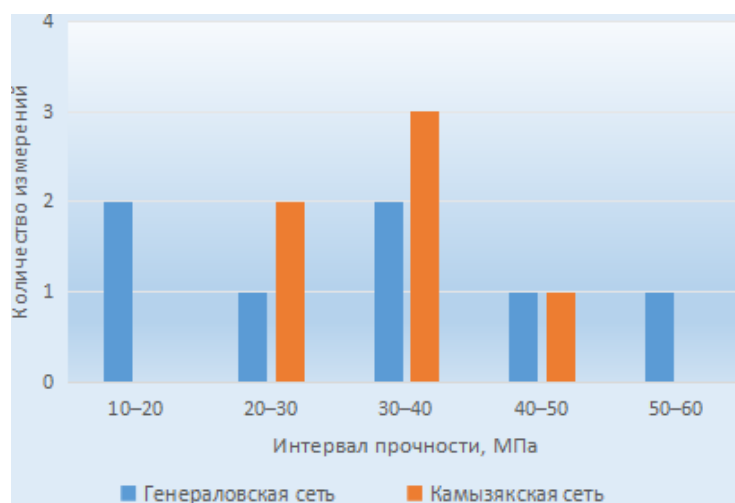


Рис. 6. Распределение значений прочности бетона оросительных каналов, исследуемых ГТС по интервалам

Fig. 6. Distribution of concrete strength values of irrigation channels of the studied hydraulic structures by intervals

Таблица 3. Данные анализа прочности образцов бетона с различными модифицирующими добавками

Table 3. Analysis of the strength of concrete samples with various modifying additives

Номер образца	Rmax, МПа	Rmin, МПа	Wm, МПа	δn
1	31,5	30,2	1,3	0,52
2	32,1	30,3	1,8	0,72
3	30,5	25,0	5,5	2,2
4	31,5	29,5	2	0,8
5	32,1	30,3	1,8	0,72
6	31,5	30,3	1,2	0,48
7	30,5	25,5	1	0,4
8	30,5	25,5	0,5	0,2
9	32,5	30,5	2	0,8
10	25,5	20,5	5	2
11	30,5	30,0	0,5	0,2
12	35,5	32,0	3,5	1,4
13	35,0	25,5	9,5	3,8
14	25,5	21,0	4,5	1,8
15	35,5	35,0	0,5	0,2
16	32,5	30,5	2	0,8
17	35,5	25,0	10,5	4,2
18	32,2	31,0	1,2	0,48
19	36,0	32,0	4	4,6

Для Камызякской оросительной сети показатели прочности сосредоточились преимущественно в среднем диапазоне (30-40 МПа), то есть наблюдается более равномерный износ, что свидетельствует, в том числе, о ее более высокой эксплуатационной надежности и ремонтпригодности.

В результате анализа данных таблицы 3 были определены оптимальные критерии отбора исследуемых образцов: высокий показатель минимальной прочности ($R_{min} \geq 25,5$ МПа, что соответствует классу бетона В20 и более – ГОСТ 26633-2015), так как он гарантирует прочность даже в самом слабом участке; наименьший разброс показателей (брали в пределах $W_m \leq 1,2$ МПа), что свидетельствует о высокой структурной однородности исследуемого материала.

Исходя из назначенных критериев лучшими по качественным характеристикам были признаны 5 образцов: образец № 15 – с самым высоким показателем минимальной прочности 35,0 МПа и высоким уровнем однородности материала 0,5 МПа; образец № 11, где показатель минимальной прочности – 30,0 МПа, показатель уровня однородности – 0,5 МПа; образец № 8-25,5 МПа и 0,5 МПа соответственно; образец № 7, также продемонстрировавший хороший баланс прочности и однородности, – 25,5 МПа и 1,0 МПа; последний из выбранных образцов № 6, который характеризуется

высокой прочностью и умеренными показателями однородности материала – 30,3 МПа и 1,2 МПа.

Данные критерии напрямую связаны с долговечностью и аварийной безопасностью будущего покрытия. Можно сказать, что это фундаментальное условие для предотвращения катастрофических разрушений, которые могут вызвать масштабные размывы и неконтролируемые сбросы воды, наносящие значительный экологический ущерб. Следовательно, лучшие варианты добавок для модификации бетонных смесей, применяемых для облицовки оросительных каналов гидротехнических сооружений с точки зрения синергии прочности, долговечности и потенциальной экологической эффективности, включают в себя комбинацию: металлическую стружку и фибру, пластиковую и металлическую стружку, только пластиковую стружку, базальтовую фибру и стекло, только базальтовую фибру. Необходимо отметить, что все отобранные образцы обеспечивают не просто «прочность», а предсказуемо высокий барьер для фильтрации на всем сроке службы, что и составляет основу их экологической ценности.

Ключевым экологическим аспектом является оптимизация состава, за исключением перерасхода материала. Экспериментально подтверждено влияние объема исследуемого материала на итоговые значения прочности, что необходимо учитывать при практическом применении. Введение различных добавок и их дозировка существенно влияли на характеристики бетона. Например, при использовании мелкодисперсной фракции полимерных модификаторов в малых дозах прочность повышалась примерно на 15%, но дальнейший рост концентрации добавки приводил к отрицательному эффекту [11, 12].

Применение стекловолокна повышало прочность образца примерно на 30%, возрастала также его стойкость к щелочному воздействию. При достижении оптимальных концентраций введение металлических включений демонстрировало прирост прочности около 20%, но применение стружки крупных фракций снижало этот результат до отрицательных значений.

Таким образом, высокий эффект прочности достигается при использовании комбинации различных модификаторов. Проведенные исследования также подтверждают, что это связано не с увеличением количества добавок, а с научно обоснованным подбором их типов, фракций и комбинаций. В свою очередь, это подтверждает тезис о том, что экологичность технологии начинается с точного расчета и отсутствия излишеств и соответствует принципам ресурсоэффективности в рамках экономики замкнутого цикла.

Выводы

На основании проведенных исследований, направленных на снижение экологической нагрузки от деградирующей мелиоративной инфраструктуры, в соответствии с достигнутой целью и решенными задачами можно сделать следующие ключевые выводы:

- в результате оценки текущего состояния бетонных конструкций на типовых участках назначенных оросительных систем были определены основные виды (сколы, трещины, коррозия арматуры, высолы, растрескивание защитного слоя) и причины повреждения (отсутствие в достаточном объеме текущего и капитального ремонта, длительный срок эксплуатации, воздействие агрессивных факторов внешней среды), что характеризует объекты как источник значительного экологического риска;

- техническая диагностика бетонных конструкций оросительных каналов показала, что их эксплуатационные параметры являются различными: для Генераловской оросительной сети характерны высокий разброс показателя прочности (13,9-60,2 МПа), высокий коэффициент вариации (59,6%) и преобладание зон со средней (30-40 МПа) и низкой (10-20 МПа) прочностью; для Камызякской сети «0-71» характерны более равномерное распределение прочности (21,2-41,9 МПа), значительно более стабильный коэффициент вариации (25,9%) и концентрация значений в среднем диапазоне (30-40 МПа), что свидетельствует о лучшей сохранности и ремонтпригодности.

Список использованных источников

1. Приходько И.А., Бандурин М.А., Волосухин В.А., Руденко А.А. Критический анализ инженерной защиты Нижней Кубани в условиях возрастающего дефицита оросительной воды из-за климатических изменений // Мелиорация и гидротехника [Электронный ресурс]. 2022. Т. 12, № 4. С. 317-332. URL: https://elibrary.ru/download/elibrary_49763361_97820260.pdf (дата обращения: 25.12.2025). DOI: 10.31774/2712-9357-2022-12-4-317-332.
2. Мещеряков М.П., Болотин Д.А., Веденеева В.А. Интенсификация биологических методов очистки животноводческих стоков при их использовании в мелиоративном земледелии // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2021. № 4 (64). С. 472-481. DOI: 10.32786/2071-9485-2021-04-46. EDN: DKQCSX
3. Мещеряков М.П. Повышение эффективности использования оросительной воды при различных способах полива с применением природных сорбирующих мелиорантов. / Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный аграрный университет». 2022.
4. Тютюма Н.В., Мещеряков М.П. Система контроля подпочвенной влаги на мелиорируемых землях // Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук. 2014. № 3. С. 24-25.
5. Овчинников А.С., Бочарников В.С., Мещеряков М.П., Бочарникова О.В., Мещерякова Е.Г. Технологические приемы

В целом состояние данных гидротехнических сооружений ЮФО можно характеризовать как критическое и экологически опасное;

- в результате лабораторных испытаний 19 образцов бетона с различными модифицирующими добавками были определены 5 наиболее прочных по назначенным критериям ($R_{min} > 25,5$ МПа; $W_m \leq 1,2$ МПа), в состав которых входили: металлическая стружка и фибра; пластиковая и металлическая стружка; только пластиковая стружка; базальтовая фибра и стекло; только базальтовая фибра. Испытания образцов методом разрушающего контроля проводились на универсальной машине (МИМ 4-1000-2.1-12.1.1-2.1.1-1.2.);

- признано, что параметры дозировки модифицирующих добавок и размер образца являются критическими и могут существенно влиять на конечные результаты исследований, поэтому рекомендуется при внедрении в производственную практику отобранных образцов (№№ 6, 7, 8, 11, 15) масштабировать лабораторные результаты на реальные конструкции и учитывать местные климатические условия, химический состав воды и грунта для обеспечения необходимого класса прочности бетона (не ниже В20).

Проведенные исследования доказывают, что экологическая безопасность и техническая модернизация в водном хозяйстве – единая задача. Реализация предложенной стратегии позволит сохранить водные и земельные ресурсы Юга России и создать инфраструктуру, устойчивую к нарастающим климатическим вызовам.

References

1. Prikhodko I.A. Critical analysis of the engineering protection of the Lower Kuban in the conditions of the increasing irrigation water deficit due to climate change / I.A. Prikhodko, M.A. Bandurina, V.A. Volosukhin, A.A. Rudenko // Land Reclamation and Hydraulic Engineering [Electronic resource]. 2022. Vol. 12, No. 4. P. 317-332. DOI: 10.31774/2712-9357-2022-12-4-317-332. URL: https://elibrary.ru/download/elibrary_49763361_97820260.pdf (accessed: 25.12.2025).
2. Meshcheryakov M.P., Bolotin D.A., Vedeneyeva V.A. Intensification of biological methods of purification of animal husbandry effluents when they are used in reclamation agriculture. Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: Nauka i vysshee professional'noe obrazovanie. 2021. No. 4 (64). P. 472-481. DOI: 10.32786/2071-9485-2021-04-46. EDN: DKQCSX
3. Meshcheryakov M.P. Improving the efficiency of irrigation water use with various irrigation methods using natural sorbent meliorants / M.P. Meshcheryakov // Dissertation for the degree of Doctor of Technical Sciences / Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Volgograd State Agrarian University". 2022.
4. Tyutyuma N.V. The system of control of subsurface moisture on reclaimed lands / N.V. Tyutyuma, M.P. Meshcheryakov // Bulletin of the Russian Academy of Agricultural Sciences. 2014. No. 3. P. 24-25.
5. Ovchinnikov A.S. Technological methods of managing the water regime of the soil in the estuaries of the Lower Volga

управления водным режимом почвы на лиманах Нижнего Поволжья // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2018. № 4 (52). С. 15-22. DOI: 10.32786/2071-9485-2018-04-1. EDN: VUUPUI

6. Ольгаренко Д.Г. Технический уровень и эффективность эксплуатации мелиоративных систем. Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. 2015. № 4 (20). С. 287-295. [Электронный ресурс]. URL: https://elibrary.ru/download/elibrary_24834871_73366067.pdf (дата обращения 17.12.2025) EDN: UXLZTL

7. Сенчуков Г.А., Осипенко Д.А. Общая характеристика и состояние гидротехнических сооружений ЮФО. Экологический вестник Северного Кавказа, 2023, Т. 19, № 3. С. 104-108. [Электронный ресурс]. URL: <http://ecokavkaz.ru/media/docs/2023/3/19-3-16.pdf> (дата обращения 17.12.2025) EDN: PLUNBV

8. Истомин А.П., Солодовников Д.А., Истомин С.А., Коваленко И.А. Применение методов неразрушающего контроля для обследования гидротехнических сооружений. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса. Наука и высшее профессиональное образование. 2024. № 1(73). С. 381-392. DOI: 10.32786/2071-9485-2024-01-43. EDN: HXAPOY

9. Бандурин М.А., Волосухин В.А., Приходько И.А., Руденко А.А. Комплексный мониторинг технического состояния концевой водоспуска невинномысского канала, базирующийся на оценке параметров надежности // Мелиорация и гидротехника. 2023. Т. 13. № 2. С. 264-280. DOI: 10.31774/2712-9357-2023-13-2-264-280. EDN: ZELKMQ

10. Ткачев А.А., Ольгаренко И.В. Современные проблемы в управлении водораспределением в магистральных каналах оросительных систем // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. 2021. Т. 11, № 2. С. 1-23. DOI: 10.31774/2222-1816-2021-11-2-1-23 URL: https://elibrary.ru/download/elibrary_45745899_50331857.pdf (дата обращения: 25.12.2025) EDN: NTRFMJ

11. Ground-penetrating radar (GPR) investigations of a large-scale buried ice-marginal landsystem, Skeiðarársandur, SE Iceland / D. Harrison, N. Ross, A.J. Russell, S.J. Jones // Boreas. 2022. Vol. 51, No. 4. P. 824-846. DOI: 10.1111/bor.12587.

12. Tandon R.S. Geological, geotechnical, and GPR investigations along the Mansa Devi hill-bypass (MDHB) Road, Uttarakhanda, India / R.S. Tandon, V. Gupta, B. Venkateshwarlu // Landslides. 2020. DOI: 10.1007/s10346-020-01546-9.

Информация об авторах

Юлия Петровна Фоменко – канд с.-х. наук, ведущий научный сотрудник, «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук», ORCID: 0009-0008-6050-6325, fomenko-y@vfanc.ru

Иван Александрович Коваленко – инженер-исследователь «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук»; ORCID: 0009-0001-3147-6613; kovalenko-i@vfanc.ru

Вклад авторов

Ю.П. Фоменко – постановка цели и задач исследования, формулирование выводов.

И.А. Коваленко – сбор и систематизация научно-технической литературы, оформление полученных результатов.

Поступила в редакцию / Received 15.05.2026

Поступила после рецензирования / Received 18.08.2026

Принята к публикации после доработки / Accepted 18.08.2026

region / A.S. Ovchinnikov, V.S. Bocharnikov, M.P. Meshcheryakov, O.V. Bocharnikova, and E.G. Meshcheryakova // Izvestiya of the Lower Volga Agro-University Complex: Science and Higher Professional Education. 2018. No. 4 (52). P. 15-22. DOI: 10.32786/2071-9485-2018-04-1. EDN: VUUPUI

6. Ol'garenko D.G. Technical level and efficiency of operation of reclamation systems. Scientific journal of the Russian Research Institute of Land Reclamation Problems. 2015. No. 4 (20). P. 287-295. [Electronic resource]. URL: https://elibrary.ru/download/elibrary_24834871_73366067.pdf (accessed on 17.12.2025) EDN: UXLZTL

7. Senchukov G.A., Osipenko D.A. General Characteristics and Condition of Hydraulic Structures in the Southern Federal District. Ecological Bulletin of the North Caucasus, 2023, Vol. 19, No. 3, P. 104-108. Founders: Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin. ISSN: 2308-3875. [Electronic resource]. URL: <http://ecokavkaz.ru/media/docs/2023/3/19-3-16.pdf> (accessed on 17.12.2025) EDN: PLUNBV

8. Istomin A.P., Solodovnikov D.A., Istomin S.A., Kovalenko I.A. Application of non-destructive testing methods for the inspection of hydraulic structures. Izvestiya of the Lower Volga Agro-University Complex. Science and Higher Professional Education. 2024. No. 1(73). P. 381-392. DOI: 10.32786/2071-9485-2024-01-43. EDN: HXAPOY

9. Bandurin M.A., Volosukhin V.A., Prihodko I.A., Rudenko A.A. Comprehensive monitoring of the technical condition of the end spillway of the Nevinnomyssk channel based on the assessment of reliability parameters. Melioration and Hydraulic Engineering. 2023. Vol. 13. No. 2. P. 264-280. DOI: 10.31774/2712-9357-2023-13-2-264-280. EDN: ZELKMQ

10. Tkachev A.A., Ol'garenko I.V. Modern Problems in Water Distribution Management in Main Channels of Irrigation Systems // Scientific Journal of the Russian Research Institute of Land Reclamation Problems [Electronic resource]. 2021. Vol. 11, No. 2. P. 1-23. URL: https://elibrary.ru/download/elibrary_45745899_50331857.pdf (accessed: 25.12.2025). DOI: 10.31774/2222-1816-2021-11-2-1-23. EDN: NTRFMJ

11. Ground-penetrating radar (GPR) investigations of a large-scale buried ice-marginal landsystem, Skeiðarársandur, SE Iceland / D. Harrison, N. Ross, A.J. Russell, S.J. Jones // Boreas. 2022. Vol. 51, No. 4. P. 824-846. DOI: 10.1111/bor.12587.

12. Tandon R.S. Geological, geotechnical, and GPR investigations along the Mansa Devi hill-bypass (MDHB) Road, Uttarakhanda, India / R.S. Tandon, V. Gupta, B. Venkateshwarlu // Landslides. 2020. DOI: 10.1007/s10346-020-01546-9.

Information about the authors

Julia P. Fomenko, CSs (Agro), Leading Researcher, Federal Scientific Center of Agroecology, Complex Land Reclamation and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences; ORCID: 0009-0008-6050-6325, fomenko-y@vfanc.ru

Ivan A. Kovalenko, Research engineer, Federal Scientific Center for Agroecology, Integrated Land Reclamation and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences; ORCID: 0009-0001-3147-6613; kovalenko-i@vfanc.ru

Contribution of the authors

Y.P. Fomenko – setting the goal and objectives of the study, formulating conclusions.

I.A. Kovalenko – collection and systematization of scientific and technical literature, registration of the results obtained