

ГИДРОТЕХНИЧЕСКОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО, ГИДРАВЛИКА И ИНЖЕНЕРНАЯ ГИДРОЛОГИЯ

Научная статья

УДК 627.4(282.247.38)

doi: 10.31774/2712-9357-2025-15-3-362-378

Применение геотомографического сканирования при проведении мониторинга технического состояния инженерной защиты Нижней Кубани

Анна Сергеевна Романова¹, Михаил Александрович Бандурин²,
Ян Александрович Полторак³, Алена Александровна Тубалец⁴

^{1,2,3,4}Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина, Краснодар,
Российская Федерация

¹any30082002@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9035-917X>

²chepura@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0986-8848>

³yanpoltorak@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0007-4335-7906>

⁴tubalecalena@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0006-0487-1999>

Аннотация. Цель: обосновать возможность применения геотомографического сканирования при проведении мониторинга технического состояния гидротехнических сооружений на примере инженерной защиты Нижней Кубани. **Материалы и методы.** Материалами к исследованию послужили данные геотомографического сканирования, выполненного на инженерной защите Нижней Кубани, а именно: земляной низконапорной плотины. Мониторинг состояния сооружений инженерной защиты осуществлялся визуальным осмотром, а также проводился при помощи различных приборов неразрушающего контроля, обеспечивающих детальное исследование как железобетонной облицовки, так и грунтового основания в разные сезоны года. **Результаты.** Применен геотомографический метод исследования для глубокого изучения внутренней структуры и свойств различных объектов без какого-либо механического вмешательства или нанесения ущерба самому объекту исследования. Данный подход широко применяется в науке и технике, поскольку позволяет извлекать ценную информацию о скрытых особенностях интересующего объекта, оставаясь полностью безопасным и не нарушая его целостность. **Выводы.** Настоящее исследование показало высокую эффективность применения геотомографического сканирования для мониторинга технического состояния инженерной защиты Нижней Кубани. Используемая процедура полосовой фильтрации высокочастотных компонентов позволила выявить внутренние структурные недостатки земляной низконапорной плотины, такие, как трещины, пустоты и зоны разуплотнения грунта, что невозможно обнаружить при традиционном визуальном контроле. Анализ полученных данных подтвердил наличие повышенных концентраций дефектов в нижних слоях плотины, вероятно, связанных с недостаточным уплотнением грунта при строительстве и воздействием внешних факторов: колебания температуры, вибрации, увлажнение.

Ключевые слова: мониторинг, инженерная защита, надежность, техническое состояние, неразрушающие методы контроля, георадар, земляная низконапорная плотина

Финансирование: исследование выполнено за счет средств гранта Российского научного фонда и Кубанского научного фонда № 24-26-20003.

Для цитирования: Применение геотомографического сканирования при проведении мониторинга технического состояния инженерной защиты Нижней Кубани /

А. С. Романова, М. А. Бандурин, Я. А. Полторац, А. А. Тубалец // Мелиорация и гидротехника. 2025. Т. 15, № 3. С. 362–378. <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2025-15-3-362-378>.

HYDRAULIC ENGINEERING, HYDRAULICS AND ENGINEERING HYDROLOGY

Original article

The use of geotomographic scanning in monitoring the technical condition of engineering protection in the Lower Kuban region

Anna S. Romanova¹, Mikhail A. Bandurin², Yan A. Poltorak³,
Alena A. Tubalets⁴

^{1, 2, 3, 4}Kuban State Agrarian University named after I. T. Trubilin, Krasnodar, Russian Federation

¹any30082002@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9035-917X>

²chepura@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0986-8848>

³yanpoltorak@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0007-4335-7906>

⁴tubalecalena@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0006-0487-1999>

Abstract. Purpose: to substantiate the possibility of using geotomographic scanning in monitoring the technical condition of hydraulic structures using the engineering protection of the Lower Kuban as an example. **Materials and methods.** The study was conducted using geotomographic scanning data obtained at the engineering protection of the Lower Kuban, namely, an low-head earth dam. The condition of the engineering protection structures was monitored by visual inspection, and also using various non-destructive testing devices that provide a detailed study of both the reinforced concrete lining and the soil base throughout the seasons. **Results.** The geotomographic research method for an in-depth study of the internal structure and properties of various objects without any mechanical intervention or damage to the object of study itself was applied. This approach is widely used in science and technology, since it allows to extract the valuable information about the hidden features of the object of interest, while remaining completely safe and without violating its integrity. **Conclusions.** This study demonstrated the high efficiency of geotomographic scanning for monitoring the technical condition of the engineering protection of the Lower Kuban River. The applied bandpass filtering procedure for high-frequency components allowed to identify internal structural defects of the low-head earth dam, such as cracks, voids, and soil softening zones, which are undetectable by traditional visual inspection. Analysis of the obtained data confirmed the presence of elevated defect concentrations in the dam lower layers, likely related to insufficient soil compaction during construction and the impact of external factors such as temperature fluctuations, vibration, and moisture.

Keywords: monitoring, engineering protection, reliability, technical condition, nondestructive control method, georadar, low-head earth dam

Funding: the study was supported by the grant of the Russian Science Foundation and the Kuban Science Foundation No. 24-26-20003.

For citation: Romanova A. S., Bandurin M. A., Poltorak Ya. A., Tubalets A. A. The use of geotomographic scanning in monitoring the technical condition of engineering protection in the Lower Kuban region. *Land Reclamation and Hydraulic Engineering*. 2025;15(3): 362–378. (In Russ.). <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2025-15-3-362-378>.

Введение. Нижняя Кубань – уникальный регион России, расположенный на стыке степей и горных склонов Северного Кавказа. Территория подвержена целому ряду природных и техногенных угроз. Здесь проходят

крупнейшие реки бассейна Кубани, и густонаселенные территории часто оказываются подвержены риску наводнений, паводков, селевых потоков и оползневых явлений. Основная задача инженерной защиты – обезопасить население и хозяйство региона от неблагоприятных воздействий природных сил и минимизировать убытки. Однако с увеличением интенсивности осадков и изменением климатических условий проблема оползней на плотинах становится все более актуальной. Оползни могут привести к разрушению инженерных сооружений, что в свою очередь угрожает безопасности населения и экосистемам региона [1].

Земляные низконапорные плотины играют значительную роль в управлении водными ресурсами и обеспечении устойчивого развития территории Краснодарского края (рисунок 1а). Регион отличается повышенным уровнем выпадения атмосферных осадков, особенностями рельефа и слабой пропускной способностью русел рек. Все это усиливает риск подтоплений и внезапных наводнений. Дополнительные факторы риска связаны с месторасположением плотин и водохранилищ, которым требуются регулярные профилактические и восстановительные работы [2] (рисунок 1б).



a)



b)

a – земляная низконапорная плотина; b – плотина, заросшая деревьями
a – low head earth dam; b – dam overgrown with trees

**Рисунок 1 – Фрагмент инженерной защиты
левого берега р. Кубань (автор фото А. С. Романова)**
**Figure 1 – Fragment of engineering protection of the left
bank of the Kuban River (photo by A. S. Romanova)**

Данные инженерные сооружения возводятся для создания водохранилищ, регулирования стока рек, а также для защиты от наводнений и обеспечения орошения сельскохозяйственных угодий. Одной из ключевых функций земляных низконапорных плотин является накопление и хранение водных ресурсов. Однако их устойчивость может быть подвержена различным геоморфологическим и климатическим факторам, что делает мониторинг состояния таких сооружений необходимым [3]. В Нижней Кубани, где климатические условия и геологические особенности способствуют возникновению оползней, данная проблема становится особенно актуальной, поскольку зачастую плотины строятся на сложных геологических основаниях [4, 5].

На основе анализа данных о комплексе гидротехнических сооружений (ГТС) р. Кубань, расположенных территориально в Республике Адыгея, рассматриваются проектные решения, анализируются потенциальные аварийные ситуации, а также обсуждаются методы предотвращения и локализации аварий на сооружениях инженерной защиты. В нижнем течении р. Кубань земляные низконапорные плотины имеют критическое техническое состояние и во многих случаях уже не отвечают предъявляемым требованиям по защите населенных пунктов, сельскохозяйственных угодий и инфраструктуры от наводнений. Исторически на Нижней Кубани они строились с конца XIX в. и активно развивались в XX в., что позволило значительно повысить пропускную способность русла и снизить ущерб от паводков [6, 7].

Цель исследований – обосновать возможность применения геотомографического сканирования при проведении мониторинга технического состояния гидротехнических сооружений на примере инженерной защиты Нижней Кубани.

Материалы и методы. В качестве основного материала использовались климатические и гидрологические данные, характеризующие паводко-

вую активность, уровень осадков, ветровую нагрузку и сезонные особенности стока воды в р. Кубань. Инженерно-геологические исследования включали в себя анализ состава грунтов, уровня грунтовых вод, сейсмичности района. Мониторинг состояния сооружений инженерной защиты осуществлялся визуально [8], а также проводился при помощи приборов неразрушающего контроля, обеспечивающих детальное исследование как железобетонной облицовки, так и грунтового основания в различные сезоны года.

Использовались следующие приборы неразрушающего контроля: георадар «Око-3», электронный тахеометр «Sokkia CX-105» и «Nokta Invenio Smart». С помощью георадара «Око-3» выполнялось геотомографическое исследование внутренней структуры и свойств земляной низконапорной плотины без какого-либо механического вмешательства. Данный подход позволяет получить радарограмму скрытых дефектов и повреждений, не нарушая целостности плотины [9].

В паре с георадаром «Око-3» применялся высокочастотный обнаружитель «Nokta Invenio Smart», использующий технологию искусственного интеллекта, способную формировать 3D-изображения пустот и разуплотнений и предназначенную для неразрушающего исследования грунта и других объектов. В ходе обследования грунтового основания земляной низконапорной плотины прибор использовался для создания трехмерной модели исследуемого участка, что позволило детально проанализировать состояние грунтового основания, включая наличие скрытых полостей и зон разуплотнения [10].

Применение электронного тахеометра «Sokkia CX-105», используемого для высокоточных геодезических измерений в контексте исследования земляной низконапорной плотины, необходимо для выявления возможных деформаций и повреждений. Совмещение ультразвукового метода и технологий искусственного интеллекта позволяет существенно повысить точность и эффективность обследования гидротехнических сооружений,

обеспечивая надежную базу для принятия правильных решений по их обследованию и необходимости реконструкции [11].

Результаты и обсуждение. В ходе выполнения исследования был обследован приборами неразрушающего контроля участок земляной низконапорной плотины на левом берегу р. Кубань (ПК0 – ПК187), введенный в эксплуатацию в 1953 г. и представляющий классический пример инженерной защиты Нижней Кубани (рисунок 2). Его длина составляет 18,7 км, а высота 1,5–5 м, ширина по основанию – до 29 м, ширина по гребню – 4,5 м, превышение гребня над уровнем воды – 0,29–0,33 м. Низконапорные плотины на р. Кубань имеют протяженность от 12 до 18 км, высоту от 1,5 до 5 м, ширину по основанию до 29 м и по гребню около 4,5 м. Они построены преимущественно из суглинков и аллювиальных отложений, откосы укреплены травяным покровом и их высота обеспечивает защиту от половодий с уровнем воды, превышающим нормальные значения примерно на 0,3 м, что позволяет предотвратить перелив и затопление прилегающих территорий.



**Рисунок 2 – Инженерная защита левого берега
р. Кубань на ПК0 – ПК187**

**Figure 2 – Engineering protection of the left bank
of the Kuban River on PK0 – PK187**

Мониторинг технического состояния гидротехнических сооружений инженерной защиты Нижней Кубани осуществляется в строгом соответствии с действующими нормативными документами, регламентирующими их проектирование, изготовление и эксплуатацию. Данный подход гарантирует соблюдение установленных стандартов и требований к проведению измерений с применением современных приборов неразрушающего контроля. На начальной стадии исследований выполняется визуальный осмотр элементов гидротехнических сооружений инженерной защиты, позволяющий выявить внешние признаки повреждений и деформации. Этот этап важен для предварительной оценки общего состояния гидротехнических сооружений инженерной защиты и определения зон, требующих детального обследования приборами неразрушающего контроля.

На основании визуального осмотра был проведен анализ дефектов и повреждений, представленных в таблице 1.

Таблица 1 – Анализ выявленных дефектов и повреждений рассматриваемой земляной низконапорной плотины
Table 1 – Analysis of the revealed defects and damages of the low-head earth dam under study

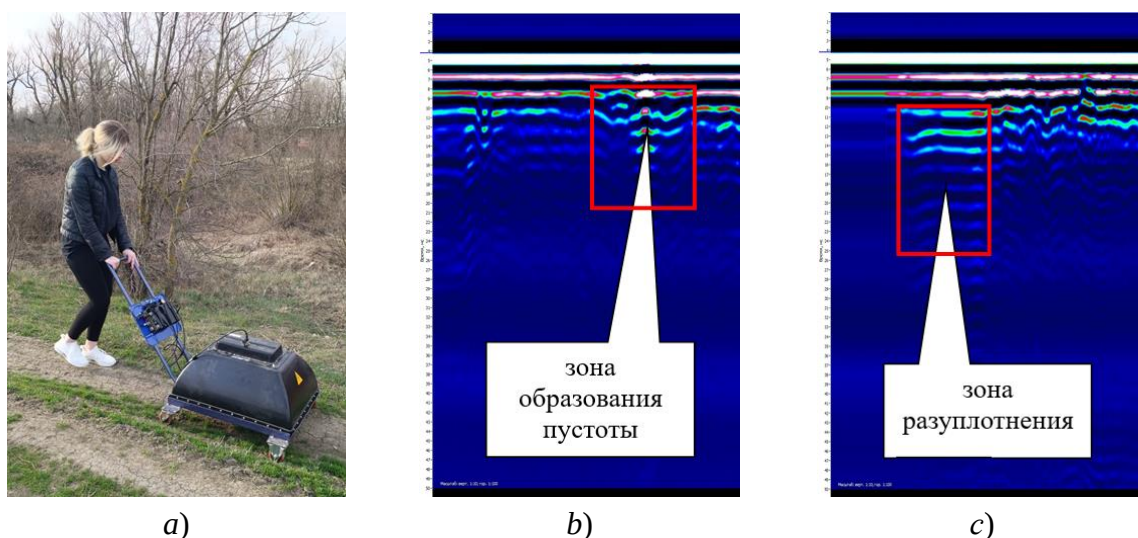
Тип дефекта/ повреждения	Описание	Возможная причина возникновения	Участок проявления
1	2	3	4
1 Просадка грунта на гребне плотины	Локальные просадки поверхности гребня, образование впадин и неровностей	Прохождение техники по гребню, недостаточное уплотнение грунта при строительстве, длительная эксплуатация без ремонта	Общая для всей длины дамбы
2 Разрушение тела плотины	Механические повреждения откосов и тела плотины в результате работы спецтехники	Неконтролируемое использование техники на или рядом с плотиной	–
3 Оползни верхового откоса	Смещение грунта на верховом откосе, частичное или полное разрушение его структуры	Подмыв основания плотины, водонасыщение грунта, воздействие паводковых вод	Участок вблизи аула Псейтук (место изгиба реки)

Продолжение таблицы 1

Table 1 continued

1	2	3	4
4 Эрозия низового откоса	Вымывание грунта на низовом откосе, образование промоин и оврагов	Ветровая и дождевая эрозия, отсутствие крепления откоса, зарастание растительностью	Общая проблема по всему участку
5 Зарастание русла реки	Уменьшение пропускной способности русла из-за зарастания древесно-кустарниковой растительностью	Отсутствие регулярного содержания и расчистки русла	По всему протяжению р. Кубань в районе плотины
6 Перелив воды через гребень плотины	Вероятность перелива воды в период паводка из-за локального понижения гребня	Наличие просадочных зон, отсутствие проектного запаса высоты гребня, заиливание русла	Участки с пониженным гребнем
7 Заиливание русла реки	Снижение глубины и скорости потока из-за скопления наносов	Поверхностный смыв, боковая и глубинная эрозия в бассейне реки	По всему участку
8 Недостаточный запас устойчивости откосов	Возможность обрушения откосов под действием внешних нагрузок	Слабый грунт, недостаточное уплотнение, конструктивные особенности плотины	Общая проблема по всему участку
9 Деформация от температурных перепадов	Трещины, растрескивание грунта на откосах и гребне	Циклическое замерзание и оттаивание грунта зимой	В холодное время года по всему участку
10 Суффозия грунта	Вынос мелких частиц грунта внутрь плотины, снижение прочности	Фильтрация воды через тело плотины, слабые грунты	На участках с повышенной фильтрацией

С помощью георадара «ОКО-3» были получены радарограммы, на которых визуализировались зоны разрушения железобетонной облицовки, трещины, а также полости в теле земляной низконапорной плотины, заполненные илистыми грунтами, выявленные после паводковых нагрузок. 3D-визуализация позволила точно локализовать проблемные участки и оценить масштабы повреждений (рисунок 3).



a – выполнение сканирования; *b* – зона образования пустоты; *c* – зона разуплотнения
a – scanning performing; *b* – void formation zone; *c* – loosening zone

Рисунок 3 – Фрагмент геотомографического исследования инженерной защиты р. Кубань (автор фото А. С. Романова)

Figure 3 – Fragment of geotomographic study of engineering protection of the Kuban River (photo by A. S. Romanova)

На завершающем этапе анализа георадарных данных была проведена специальная обработка – полосовая фильтрация высокочастотным сигналом. Эта процедура позволила выделить мелкие детали и аномалии, присутствующие в грунтовом основании сооружений инженерной защиты. Высокой чувствительностью к мелким неоднородностям объясняется то, что полученный результат отображает структуру внутренних микродефектов и мелких включений, присутствующих в теле земляной низконапорной плотины.

Такие неоднородности могут представлять собой:

- мелкие трещины, возникающие в результате механических воздействий или старения материала [12, 13];
- микроскопические включения, например, частицы глины или песка, неравномерно распределенные в теле грунтового основания низконапорной плотины. Полученные результаты показывают разницу в концентрации этих неоднородностей в зависимости от глубины [14, 15].

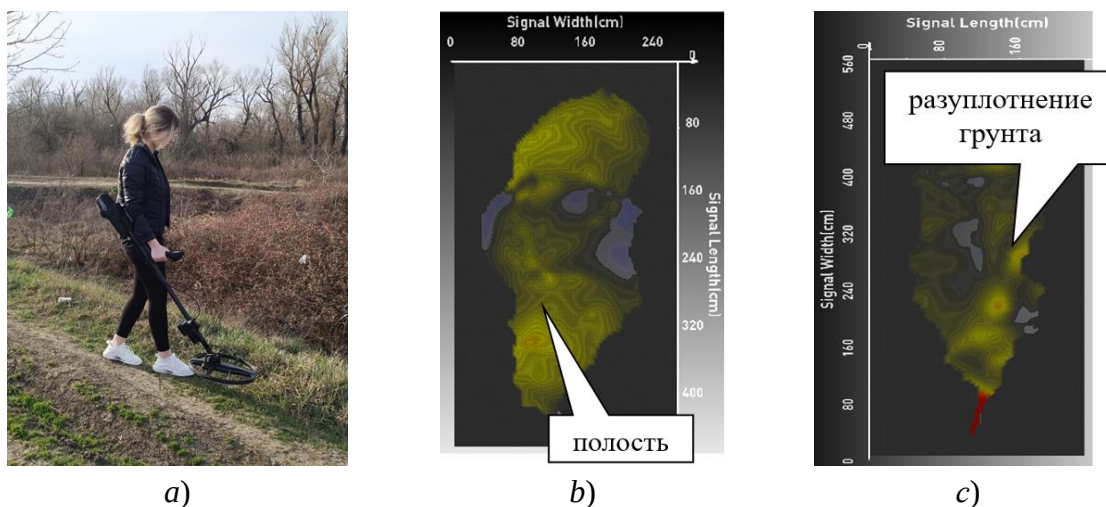
По итогам обработки исходных данных были построены геофизические профили (рисунки 3а, 3б), отражающие вертикальное расположение

неоднородностей относительно оси измерения. Эти профили содержат характерные кривые, называемые осями синфазной составляющей, которые указывают на наличие горизонтальных граней и плоскостей внутри грунтового основания. Учитывая глубину, на которую проникает радарное зондирование, выделялись субгоризонтальные границы, соответствующие основным геологическим особенностям исследуемой площадки. Границы отражают различия в составе и свойствах грунта, позволяя определить переходы между различными геологическими структурами и выделить участки наибольшего риска. Проведенное георадарное исследование позволило получить подробную карту внутренних структурных особенностей насыпного сооружения, которая необходима для дальнейших расчетов прочности гидротехнических сооружений [16–18], проектирования ремонтных мероприятий и выбора оптимальной стратегии управления гидротехническими сооружениями.

Использование «Nokta Invenio Smart» позволило построить 3D-модели грунтового основания, выявить скрытые пустоты и зоны разуплотнения, что критично для оценки устойчивости земляной низконапорной плотины. Обнаружены участки выпоров грунта, образовавшиеся вследствие аварийных ситуаций и паводковых воздействий, что требует усиления грунтового основания [19] (рисунок 4).

В ходе выполненных исследований было выявлено, что состояние земляной низконапорной плотины неудовлетворительное. Без постоянного мониторинга и выполнения ремонтных мероприятий существует реальная угроза возникновения таких аварий, как возможное образование прорана (ПК10), что, вероятно, связано с недостаточным уплотнением грунта при строительстве и наличием микротрещин, появившихся за продолжительное время эксплуатации (рисунок 5), сползание откоса (ПК30) (рисунок 6) обусловлено подмыванием основания паводковыми водами и сильным водонасыщением грунта, оползень верхового откоса (участок возле аула Псей-

тук), перелив через гребень причина кроется в изменении уровня грунтовых вод и длительном переувлажнении, спровоцировавших оползневый процесс.



a – построение 3D-модели грунтового основания;
b – зона образования полости; *c* – зона разуплотнения грунта
a – 3D modelling of the soil foundation; *b* – cavity formation zone; *c* – soil loosening zone

Рисунок 4 – Фрагмент построения 3D-модели дефектов грунтового основания инженерной защиты р. Кубань (автор фото А. С. Романова)
Figure 4 – Fragment of the 3D modelling of defects in the soil base of the engineering protection of the Kuban River (photo by A. S. Romanova)



Рисунок 5 – Возможное образование прорана на ПК10 инженерной защиты левого берега р. Кубань
Figure 5 – Possible formation of outlet on PK10 engineering protection of the left bank of the Kuban River



Рисунок 6 – Возможное сползание откоса на ПК30 инженерной защиты левого берега р. Кубань
Figure 6 – Possible slope slippage on PK30 engineering protection of the left bank of the Kuban River

Для предотвращения вышеперечисленных аварийных ситуаций необходимо проводить постоянный мониторинг технического состояния земляных низконапорных плотин инженерной защиты с использованием современных методов, которые будут включать в себя визуальный и геотехнический контроль, а также автоматизированные системы мониторинга. Важным мероприятием является также регулярное укрепление откосов, устранение просадочных зон и укрепление береговой линии на участках с интенсивным размывом. Также важна разработка устройства дренажных и водоотводных систем для снижения водонасыщения грунтового основания земляных низконапорных плотин инженерной защиты.

Выводы. Обоснована эффективность применения геотомографического сканирования при проведении мониторинга технического состояния гидротехнических сооружений на примере инженерной защиты Нижней Кубани. Использованная процедура полосовой фильтрации высокочастотных компонентов позволила выявить внутренние структурные недостатки

земляной низконапорной плотины на левом берегу р. Кубань на участке исследований длиной 18,7 км, такие, как трещины, пустоты и зоны разуплотнения грунта, что невозможно обнаружить при традиционном визуальном контроле. Анализ полученных данных подтвердил наличие повышенных концентраций дефектов в нижних слоях плотины, вероятно, связанных с недостаточным уплотнением грунта при строительстве и воздействием внешних факторов (колебания температуры, вибрации, увлажнение). Полученные геофизические профили позволили установить четкое расположение и геометрию выявленных дефектов, что является необходимым условием для качественного проектирования профилактических и восстановительных мероприятий. Предложенные методы позволяют своевременно диагностировать состояние инженерной защиты, определять слабые места и планировать оптимальные меры по их устранению. Практическое внедрение данных подходов способно значительно повысить надежность гидротехнических сооружений инженерной защиты Нижней Кубани, предупредить аварийные ситуации и минимизировать риски, связанные с возможной утратой их функциональности.

Список источников

1. Бандурин М. А., Волосухин В. А., Романова А. С. Применение инженерной геофизики при диагностике сооружений инженерной защиты Варнавинского водохранилища для снижения ущербов от половодий и паводков // *Construction and Geotechnics*. 2025. Т. 16, № 1. С. 5–18. DOI: 10.15593/2224-9826/2025.1.01. EDN: BEERTS.
2. Бандурин М. А., Романова А. С. Применение методов инженерной геофизики при оценке технического состояния сооружений инженерной защиты Шапсугского водохранилища // *Мелиорация и гидротехника*. 2024. Т. 14, № 3. С. 243–260. DOI: 10.31774/2712-9357-2024-14-3-243-260. EDN: CAHNFN.
3. Палуанов Д. Т., Оспанова Д. К. Результаты натурных исследований осадок в теле земляной плотины // *Мелиорация и гидротехника*. 2023. Т. 13, № 4. С. 385–395. DOI: 10.31774/2712-9357-2023-13-4-385-395. EDN: EXCAIU.
4. 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.
5. Дрововозова Т. И., Власов М. В., Красовская Н. Н. Этапы планирования мероприятий инженерно-экологической защиты водных объектов-водоприемников дренажных вод с орошаемых земель // *Мелиорация и гидротехника*. 2024. Т. 14, № 3. С. 116–133. DOI: 10.31774/2712-9357-2024-14-3-116-133. EDN: SPQOEF.

6. Косиченко Ю. М., Талалаева В. Ф. Эксплуатация и использование Пролетарского водохранилища // Мелиорация и гидротехника. 2021. Т. 11, № 4. С. 346–359. DOI: 10.31774/2712-9357-2021-11-4-346-359. EDN: MXCCOB.
7. К организации мониторинга крупного водохранилища (по материалам исследований Краснодарского водохранилища) / А. В. Погорелов, А. А. Лагута, М. В. Кузякина, О. В. Копанева // Региональные географические исследования: сб. науч. тр. / под общ. ред. А. В. Погорелова. Краснодар: КубГУ, 2022. Вып. 14. С. 91–103. EDN: HQRPSR.
8. Абдразаков, Ф. К., Рукавишников А. А., Сафин Э. Э. Методы диагностики обливованных оросительных каналов // Природообустройство. 2024. № 5. С. 21–27. DOI: 10.26897/1997-6011-2024-5-21-27. EDN: BCFKJC.
9. Особенности применения комбинированных технологий при проведении мониторинга Симферопольского водохранилища / М. А. Бандурин, В. А. Волосухин, А. А. Руденко, А. С. Романова // Природообустройство. 2024. № 1. С. 42–48. DOI: 10.26897/1997-6011-2024-1-42-48. EDN: FLQTIM.
10. When timing matters – misdesigned dam filling impacts hydropower sustainability / M. Zaniolo, M. Giuliani, S. Sinclair, P. Burlando, A. Castelletti // Nature Communications. 2021. Vol. 12, no. 1. Article number: 3056. DOI: 10.1038/s41467-021-23323-5. EDN: PAOJCS.
11. Analysis of the Bottom Topography of the Reservoir Due to Sediment Trapping (According to the Krasnodar Reservoir, Russia) / A. V. Pogorelov, A. A. Laguta, P. B. Netrebin, D. A. Lipilin // Geography, Environment, Sustainability. 2023. Vol. 16, no. 3. P. 102–112. DOI: 10.24057/2071-9388-2023-2907. EDN: RBPCKO.
12. Ольгаренко В. И., Ольгаренко И. В. Планирование и реализация ремонтно-эксплуатационных работ на оросительных системах // Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук. 2010. № 4. С. 8–11. EDN: MUPMBJ.
13. Ткачев А. А., Ключенко К. И. Анализ мероприятий по борьбе с заносимостью Волго-Каспийского канала // Мелиорация и гидротехника. 2022. Т. 12, № 4. С. 333–348. DOI: 10.31774/2712-9357-2022-12-4-333-348. EDN: WDWFAG.
14. Талалаева В. Ф., Баев О. А. Результаты натурных обследований технического состояния гидротехнических сооружений Черноземельской обводнительно-оросительной системы // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. 2024. Т. 93, № 2. С. 1–15. EDN: FKZOQY.
15. Абдразаков Ф. К., Михеева О. В. Обследование гидротехнических сооружений Ахмато-Лавровского водохранилища Краснокутского муниципального района Саратовской области при оценке их безопасности // Аграрный научный журнал. 2021. № 7. С. 74–78. DOI: 10.28983/asj.y2021i7pp74-78. EDN: OGYLPI.
16. Жарницкий В. Я., Андреев Е. В. Принципы мониторинга технического состояния низконапорных грунтовых плотин, попадающих в группу риска на основании экспертного заключения // Природообустройство. 2013. № 1. С. 38–42. EDN: PWVBLT.
17. Тлявлин Р. М. Оценка технического состояния волногасящих сооружений инженерной защиты земляного полотна от волнового воздействия // Известия Петербургского университета путей сообщения. 2020. Т. 17, № 2. С. 198–209. DOI: 10.20295/1815-588X-2020-2-198-209. EDN: TWPLCB.
18. Обоснование эффективности планирования технологических процессов водопользования и оперативное управление водораспределением на базе использования метода Монте-Карло / В. И. Ольгаренко, И. Ф. Юрченко, И. В. Ольгаренко, Г. Г. Костюнин, М. С. Эфендиев, В. Иг. Ольгаренко // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. 2018. № 1(29). С. 49–65. EDN: YOTSJT.
19. Baev O., Kosichenko Yu., Silchenko V. Effect of subsoil moisture on filtration through a screen defect // Magazine of Civil Engineering. 2022. No. 111(3). Article number: 11109. DOI: 10.34910/MCE.111.9. EDN: BBKICT.

References

1. Bandurin M.A., Volosukhin V.A., Romanova A.S., 2025. *Primenenie inzhenernoy geofiziki pri diagnostike sooruzheniy inzhenernoy zashchity Varnavinskogo vodokhranilishcha dlya snizheniya ushcherbov ot polovodiy i pavodkov* [Application of engineering geophysics in the diagnostics of engineering protection structures of the Varnavinsky Reservoir to reduce damage from floods and freshets]. *Construction and Geotechnics*, vol. 16, no. 1, pp. 5-18, DOI: 10.15593/2224-9826/2025.1.01, EDN: BEERTS. (In Russian).
2. Bandurin M.A., Romanova A.S., 2024. *Primenenie metodov inzhenernoy geofiziki pri otsenke tekhnicheskogo sostoyaniya sooruzheniy inzhenernoy zashchity Shapsugskogo vodokhranilishcha* [Application of engineering geophysics methods in assessing the technical condition of engineering protection structures of the Shapsug reservoir]. *Melioratsiya i gidrotekhnika* [Land Reclamation and Hydraulic Engineering], vol. 14, no. 3, pp. 243-260, DOI: 10.31774/2712-9357-2024-14-3-243-260, EDN: CAHNFN. (In Russian).
3. Paluanov D.T., Ospanova D.K., 2023. *Rezultaty naturnykh issledovaniy osadok v tele zemlyanoy plotiny* [The results of field studies of sediments of the earth dam body]. *Melioratsiya i gidrotekhnika* [Land Reclamation and Hydraulic Engineering], vol. 13, no. 4, pp. 385-395, DOI: 10.31774/2712-9357-2023-13-4-385-395, EDN: EXCAIU. (In Russian).
4. Anokhin A.M., Garbuz A.Yu., 2023. *Kompleks konstruktivnykh 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 gidrotekhnika* [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).
5. Drovovozova T.I., Vlasov M.V., Krasovskaya N.N., 2024. *Etapy planirovaniya meropriyatiy inzhenerno-ekologicheskoy zashchity vodnykh ob'yektov-vodopriemnikov drenaznykh vod s oroshaemykh zemel'* [Stages of planning measures for engineering and environmental protection of water bodies receiving drainage water from irrigated lands]. *Melioratsiya i gidrotekhnika* [Land Reclamation and Hydraulic Engineering], vol. 14, no. 3, pp. 116-133, DOI: 10.31774/2712-9357-2024-14-3-116-133, EDN: SPQOEF. (In Russian).
6. Kosichenko Yu.M., Talalaeva V.F., 2021. *Ekspluatatsiya i ispol'zovanie Proletarskogo vodokhranilishcha* [The Proletarskiy reservoir operation and usage]. *Melioratsiya i gidrotekhnika* [Land Reclamation and Hydraulic Engineering], vol. 11, no. 4, pp. 346-359, DOI: 10.31774/2712-9357-2021-11-4-346-359, EDN: MXCCOB. (In Russian).
7. Pogorelov A.V., Laguta A.A., Kuzyakina M.V., Kopaneva O.V., 2022. *K organizatsii monitoringa krupnogo vodokhranilishcha (po materialam issledovaniy Krasnodarskogo vodokhranilishcha)* [Large reservoir monitoring organization (based on research materials of the Krasnodar Reservoir)]. *Regional'nye geograficheskie issledovaniya: sb. nauch. tr.* [Regional Geographical Studies: Coll. of Scientific Papers]. Krasnodar, KubSU, iss. 14, pp. 91-103, EDN: HQRPS. (In Russian).
8. Abdrazakov F.K., Rukavishnikov A.A., Safin E.E., 2024. *Metody diagnostiki oblitsovannykh orositel'nykh kanalov* [Diagnostic methods of lined irrigation canals]. *Prirodooobstroystvo* [Environmental Engineering], no. 5, pp. 21-27, DOI: 10.26897/1997-6011-2024-5-21-27, EDN: BCFKJC. (In Russian).
9. Bandurin M.A., Volosukhin V.A., Rudenko A.A., Romanova A.S., 2024. *Osobennosti primeneniya kombinirovannykh tekhnologiy pri provedenii monitoringa Simferopol'skogo vodokhranilishcha* [Features of the use of combined technologies in conducting monitoring of the Simferopol Reservoir]. *Prirodooobstroystvo* [Environmental Engineering], no. 1, pp. 42-48, DOI: 10.26897/1997-6011-2024-1-42-48, EDN: FLQTIM. (In Russian).
10. Zaniolo M., Giuliani M., Sinclair S., Burlando P., Castelletti A., 2021. When timing matters – misdesigned dam filling impacts hydropower sustainability. *Nature Communications*, vol. 12, no. 1, Article number: 3056, DOI: 10.1038/s41467-021-23323-5, EDN: PAOJCS.

11. Pogorelov A.V., Laguta A.A., Netrebin P.B., Lipilin D.A., 2023. Analysis of the Bottom Topography of the Reservoir Due to Sediment Trapping (According to the Krasnodar Reservoir, Russia). *Geography, Environment, Sustainability*, vol. 16, no. 3, pp. 102-112, DOI: 10.24057/2071-9388-2023-2907, EDN: RBPGKO.

12. Olgarenko V.I., Olgarenko I.V., 2010. *Planirovanie i realizatsiya remontno-ekspluatatsionnykh rabot na orositel'nykh sistemakh* [Planning and realization of repair-service operations at irrigating systems]. *Vestnik Rossiyskoy akademii sel'skokhozyaystvennykh nauk* [Bulletin of the Russian Academy of Agricultural Sciences], no. 4, pp. 8-11, EDN: MUPMBJ. (In Russian).

13. Tkachev A.A., Klyuchenko K.I., 2022. *Analiz meropriyatiy po bor'be s zanosimost'yu Volgo-Kaspiyskogo kanala* [Analysis of measures to combat the Volga-Caspian Canal sedimentation]. *Melioratsiya i gidrotekhnika* [Land Reclamation and Hydraulic Engineering], vol. 12, no. 4, pp. 333-348, DOI: 10.31774/2712-9357-2022-12-4-333-348, EDN: WDWFAG. (In Russian).

14. Talalaeva V.F., Baev O.A., 2024. *Rezultaty naturnykh obsledovaniy tekhnicheskogo sostoyaniya gidrotekhnicheskikh sooruzheniy Chernozemel'skoy obvodnitel'no-orositel'noy sistemy* [Results of the field surveys of the technical state of hydraulic structures of the Chernozemelskaya watering and irrigation system]. *Puti povysheniya effektivnosti oroshaemogo zemledeliya* [Ways of Increasing the Efficiency of Irrigated Agriculture], vol. 93, no. 2, pp. 1-15, EDN: FKZOQY. (In Russian).

15. Abdrazakov F.K., Mikheeva O.V., 2021. *Obsledovanie gidrotekhnicheskikh sooruzheniy Akhmato-Lavrovskogo vodokhranilishcha Krasnokutskogo munitsipal'nogo rayona Saratovskoy oblasti pri otsenke ikh bezopasnosti* [A survey of the hydraulic structures of the Akhmato-Lavrovsky reservoir of the Krasnokutsk municipal district of the Saratov region when assessing their safety]. *Agrarnyy nauchnyy zhurnal* [Agrarian Scientific Journal], no. 7, pp. 74-78, DOI: 10.28983/asj.y2021i7pp74-78, EDN: OGYLPI. (In Russian).

16. Zharnitsky V.Ya., Andreev E.V., 2013. *Printsipy monitoringa tekhnicheskogo sostoyaniya nizkonapornykh gruntovykh plotin, popadayushchikh v grupp riska na osnovanii ekspertnogo zaklyucheniya* [Principles of the technical state monitoring of low head earth dams included in the risk group expert's report]. *Prirodoobustroystvo* [Environmental Engineering], no. 1, pp. 38-42, EDN: PWVBLT. (In Russian).

17. Tlyavlin R.M., 2020. *Otsenka tekhnicheskogo sostoyaniya volnogasyashchikh sooruzheniy inzhenernoy zashchity zemlyanogo polotna ot volnovogo vozdeystviya* [Assessment of the technical condition of wave canceling structures for engineering protection. of roadbed from wave exposure]. *Izvestiya Peterburgskogo universiteta putey soobshcheniya* [Proceed. of St. Petersburg Transport University], vol. 17, no. 2, pp. 198-209, DOI: 10.20295/1815-588X-2020-2-198-209, EDN: TWPLCB. (In Russian).

18. Olgarenko V.I., Yurchenko I.F., Olgarenko I.V., Kostyunin G.G., Efendiev M.S., Olgarenko V.Ig., 2018. *Obosnovanie effektivnosti planirovaniya tekhnologicheskikh protsessov vodopol'zovaniya i operativnoe upravlenie vodoraspredeleniem na baze ispol'zovaniya metoda Monte-Karlo* [Planning effectiveness substantiation of technological processes of water use and operating control of water distribution using the Monte Carlo method]. *Nauchnyy zhurnal Rossiyskogo NII problem melioratsii* [Scientific Journal of Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems], no. 1(29), pp. 49-65, EDN: YOTSJT. (In Russian).

19. Baev O., Kosichenko Yu., Silchenko V., 2022. Effect of subsoil moisture on filtration through a screen defect. *Magazine of Civil Engineering*, no. 111(3), article number: 11109, DOI: 10.34910/MCE.111.9, EDN: BBKICT.

Информация об авторах

А. С. Романова – аспирант, Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина (350044, Краснодарский край, г. Краснодар, ул. им. Калинина, д. 13),

any30082002@mail.ru, SPIN-код: 7540-6975, AuthorID: 1159646, ORCID: 0000-0001-9035-917X;

М. А. Бандурин – декан факультета гидромелиорации, доктор технических наук, доцент, Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина (350044, Краснодарский край, г. Краснодар, ул. им. Калинина, д. 13), chepura@mail.ru, SPIN-код: 6451-2467, AuthorID: 518464, ORCID: 0000-0002-0986-8848;

Я. А. Полторак – доцент кафедры гидравлики и сельскохозяйственного водоснабжения, кандидат технических наук, Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина (350044, Краснодарский край, г. Краснодар, ул. им. Калинина, д. 13), yanpoltorak@gmail.com, SPIN-код: 2304-1472, AuthorID: 1056971, ORCID: 0009-0007-4335-7906;

А. А. Тубалец – студент, Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина (350044, Краснодарский край, г. Краснодар, ул. им. Калинина, д. 13), tubalecalena@gmail.com, SPIN-код: 1097-3996, AuthorID: 1302035, ORCID: 0009-0006-0487-1999.

Information about the authors

A. S. Romanova – Postgraduate Student, Kuban State Agrarian University named after I. T. Trubilin (350044, Krasnodar Territory, Krasnodar, st. Kalinin, 13), any30082002@mail.ru, SPIN-code: 7540-6975, AuthorID: 1159646, ORCID: 0000-0001-9035-917X;

M. A. Bandurin – Dean of the Faculty of Hydroreclamation, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Kuban State Agrarian University named after I. T. Trubilin (350044, Krasnodar Territory, Krasnodar, st. Kalinin, 13), chepura@mail.ru, SPIN-code: 6451-2467, AuthorID: 518464, ORCID: 0000-0002-0986-8848;

Ya. A. Poltorak – Associate Professor of the Department of Hydraulics and Agricultural Water Supply, Candidate of Technical Sciences, Kuban State Agrarian University named after I. T. Trubilin (350044, Krasnodar Territory, Krasnodar, st. Kalinin, 13), yanpoltorak@gmail.com, SPIN-code: 2304-1472, AuthorID: 1056971, ORCID: 0009-0007-4335-7906;

A. A. Tubalets – Student, Kuban State Agrarian University named after I. T. Trubilin (350044, Krasnodar Territory, Krasnodar, st. Kalinin, 13), tubalecalena@gmail.com, SPIN-code: 1097-3996, AuthorID: 1302035, ORCID: 0009-0006-0487-1999.

Вклад авторов: А. С. Романова – проведение натурных исследований, обработка полученных результатов, формирование выводов статьи и ее написание. М. А. Бандурин – формирование целей и задач исследований, написание статьи. Я. А. Полторак – обработка полученных результатов и написание статьи. А. А. Тубалец – проведение натурных исследований.

Все авторы в равной степени несут ответственность за нарушения в сфере этики научных публикаций.

Contribution of the authors: A. S. Romanova – conducted field studies, processed the obtained results, formed the article's conclusions and wrote the article. M. A. Bandurin – developed the research purposes and objectives and wrote the article. Ya. A. Poltorak – processed the obtained results and wrote the article. A. A. Tubalets – conducted field studies.

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 05.06.2025; одобрена после рецензирования 09.09.2025; принята к публикации 22.09.2025.

The article was submitted 05.06.2025; approved after reviewing 09.09.2025; accepted for publication 22.09.2025.