

Гидротехническое строительство

Оригинальная статья

<https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-1-42-48>

УДК 626/627:626.843(477.75-25)

**ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ КОМБИНИРОВАННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ МОНИТОРИНГА СИМФЕРОПОЛЬСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА**М.А. Бандурин[✉], В.А. Волосухин, А.А. Руденко, А.С. Романова

Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина; 350044, г. Краснодар, ул. Калинина, 13, Россия

Аннотация. Рассмотрены особенности применения комбинированных технологий при проведении мониторинга на примере Симферопольского водохранилища, а именно низкочастотная технология электромагнитного поля (VLF) и численное моделирование опасных конструктивных нарушений. Появляется возможность обнаружения разуплотнений грунтового основания сооружения. Когда поле находит объект в грунте, который проводит электричество, обнаруживается собственное магнитное поле гидротехнического сооружения, а именно разуплотнения и просадки. На основании проведенных исследований было выполнено численное моделирование плотины Симферопольского водохранилища при различных опасных конструктивных и приобретенных за длительный период эксплуатации дефектов. Следует отметить, что за период эксплуатации на комплексе гидротехнических сооружений Симферопольского водохранилища капитальный ремонт и реконструкция не проводились. Были численно рассчитаны конструктивные особенности работы зуба в теле плотины. Получены эпюры напряжений и деформации. На основании проведенных расчетов для уменьшения потерь воды на фильтрацию в левом борту плотины предусматривается устройство цементационной завесы. Установлено, что в зависимости от глубины залегания водоупорных пород высота цементационной завесы является различной. По материалам рекогносцировочного обследования и выполнения расчетов, полевых работ и лабораторных испытаний можно сделать вывод об устойчивости сооружения при сохранении нынешней интенсивности эксплуатации.

Ключевые слова: мониторинг, электромагнитное поле, гидротехнические сооружения, численные расчеты, надежность, период эксплуатации

Формат цитирования: Бандурин М.А., Волосухин В.А., Руденко А.А., Романова А.С. Особенности применения комбинированных технологий при проведении мониторинга Симферопольского водохранилища // Природообустройство. 2024. № 1. С. 42-48. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-1-42-48>

Original article

FEATURES OF THE USE OF COMBINED TECHNOLOGIES IN CONDUCTING MONITORING OF THE SIMFEROPOL RESERVOIRM.A. Bandurin[✉], V.A. Volosukhin, A.A. Rudenko, A.S. Romanova

Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin; 13 Kalinina str., Krasnodar, 350044, Russia

Abstract. The article discusses the peculiarities of the use of combined technologies in monitoring on the example of the Simferopol reservoir, namely low-frequency electromagnetic field (VLF) technology and numerical modeling of dangerous structural violations. It is possible to detect decompression of the soil base of the structure. When the field finds an object in the ground that conducts electricity, it detects the hydraulic structure's own magnetic field, namely decompaction and subsidence. On the basis of the studies carried out, numerical simulation of the dam of the Simferopol reservoir was carried out

with various dangerous structural defects and defects acquired over a long period of operation. It should be noted that during the period of operation at the complex of hydraulic structures of the Simferopol reservoir, no major repairs and reconstruction were carried out. The design features of the tooth in the body of the dam were numerically calculated. Stress and strain diagrams were obtained. Based on the calculations, in order to reduce water losses for filtration in the left side of the dam, the installation of a cementation curtain is envisaged. It has been established that the height of the cementation curtain is different depending on the depth of occurrence of water-resistant rocks. Based on the materials of the reconnaissance survey and calculations, field work and laboratory tests, it is possible to conclude that the structure is stable, while maintaining the current intensity of operation.

Keywords: monitoring, electromagnetic field, hydraulic structures, numerical calculations, reliability, period of operation

Format of citation: Bandurin M.A., Volosukhin V.A., Rudenko A.A., Romanova A.S. Features of the use of combined technologies in conducting monitoring of the Simferopol reservoir // Prirodoobustroistvo. 2024. No 1. P. 42-48. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-1-42-48>

Введение. Симферопольское водохранилище вытянутое с юго-востока на северо-запад, было построено в 1956 г. Естественная емкость расположена в предгорной части бассейна р. Салгир. В годовом колебании уровня вод в р. Салгир выделяют два периода с декабря по апрель, высокие уровни. Низкая межень с мая по ноябрь. Паводки холодного периода нередко превышают летние и также бывают катастрофическими. Площадь зеркала при горизонте мертвого объема, наинизший уровень, ниже которого вода из водохранилища не должна забираться для использования, составляет 43 га при нормальном подпорном горизонте, уровень воды при полном нормальном заполнении пруда – 322 га, наибольшая глубина – 36 м, средняя длина – 6 км при ширине водохранилища 0,5 км. Уровень залегания грунтовых вод до 3 м. Состояние Симферопольского водохранилища напрямую связано с его объемом и качеством воды. Это позволяет обеспечивать водоснабжение города Симферополя и его окрестностей. [1].

По топографическим и геологическим условиям для строительства плотины Симферопольского водохранилища принят Нижнебитакский створ, расположенный на участке долины р. Салгир, в 1,0-1,5 км выше с. Пригородное и в 3 км к юго-востоку от г. Симферополя. В геоморфологическом отношении участок створа плотины представляет собой узкую и глубокую долину в предгорной части р. Салгир, которая протекает вблизи левого склона, образуя русло шириной до 20 м и глубиной 0,2-0,4 м. Пойма имеет ширину до 120 м и абсолютную отметку 260 м. Склоны долины имеют крутизну в среднем 1:4 (левый) и 1:9 (правый). По геологическим условиям район створа плотины сложен песчаниками и конгломератами битакской свиты. Песчаники, залегающие в основании, являются более устойчивыми от выветривания, чем конгломераты. Они менее

трещиноваты, а, следовательно, и менее водопроницаемы. Геологические условия Нижнебитакского створа являются благоприятными для возведения плотины высотой до 40 м.

Материалы и методы исследований.

В геологическом строении естественной емкости водохранилища принимают участие породы, относящиеся к триасу, юре и четвертичному возрасту. Водохранилище залегает в Курцевском поднятии, причем нижняя часть (район плотины) располагается в северо-западном крыле антиклинали в породах битакской и таврической свит, центральная часть – в ядре антиклинали в породах эскиординской свиты и интузий, верхняя часть – в западном крыле антиклинали, в породах таврической свиты с трансгрессивным залеганием на них байраклинских конгломератов. На эскиординской свите залегают известняки лейаса и таврическая свита пород нижней юры. Известняки лейаса не имеют сплошного распространения, прослеживаются лишь местами и залегают мощностью от 2 до 30 м. Они светло- и темно-серые, конгломеративные, местами песчанистые и мергелистые [2].

В районе створа плотины конгломераты, осадочная горная порода состоят из окатанных обломков (гальки) различного состава, величины и формы, сцементированных глиной, известью, кремнеземом и др. Таврическая свита пород залегает на известняках лейаса и эскиординской свите и образует две полосы северо-восточного простирания. Первая из них – северная, в нижней и средней своей части представлена песчано-глинистыми и глинистыми сланцами. Общая мощность этой части таврической свиты составляет 650-700 м. Выше данной толщи имеется надвиг пород той же таврической свиты, представленной песчаниками, выше – глинистыми сланцами. Мощность этой толщи достигает 100-200 м, ниже песчаник с прослоями глинистых

и песчано-глинистых сланцев с большой глыбой нижнепермского известняка на правом берегу. Общая мощность подвинутой толщи составляет от 350-700 м. Степень окатанности обломков и степень отсортированности по величине зерен указывают на протяженность переноса обломков от места первоначального образования.

Нижняя часть таврической свиты сильно дислоцирована, перемята и имеет массу гофрировок. На таврической свите нижней юры резко несогласно залегает битакская свита пород средней юры. Битакская свита сложена конгломератами серого цвета, имеет довольно большую мощность. В подавляющем большинстве разновидностей песчаников преобладает кварц как наиболее физически и химически устойчивый минерал [3].

Подземные воды естественной емкости водохранилища приурочены к аллювиальным отложениям долины р. Салгир и коренным породам. Наиболее водообильным является аллювиальный горизонт поймы. Общая мощность этой свиты выше створа плотины составляет 1100-1200 м. Источником питания водоносного горизонта являются воды р. Салгир и трещинные воды коренных пород. Аллювиальные воды приурочены к галечникам и в пределах поймы залегают на глубине в среднем 1,5 м, имея уровни, близкие к поверхностным водотокам реки. Они имеют гидравлическую связь с рекой и пологую кривую депрессии с наклоном в сторону реки благодаря подпитыванию трещинными водами коренных пород склонов и водоразделов [4].

Мощность водовмещающих галечников составляет 3-4 м, коэффициент фильтрации которых достигает 500 м/сут. Водоносный горизонт коренных пород имеет слабую обильность. Коренные породы сильно дислоцированы, местами перемяты, содержат в своем составе большое количество сланцев, являющихся практически водоупорными, местами прорваны интрузиями диабазов, являющихся также практически водоупорными. Благодаря этому данные породы являются водопроницаемыми лишь в своей верхней выветренной трещиноватой части. Контакты интрузий с осадочными породами также являются монолитными и водоупорными. Выходы этих пород на коренных склонах в естественной емкости водохранилища прослеживаются виде источников на высоте 20-30 м над уровнем реки или на абсолютных отметках 280-290 м и выше, с кривой депрессии, падающей в сторону долины реки, и дренируются в большинстве балками, впадающими в р. Салгир. Мощность водоносного горизонта составляет до 15 м и более. Образуются

в результате размыва и переотложения более древних горных пород, переслаиваются с песчаниками, образовавшимися в результате разрушения горных пород, переноса обломков водой или ветром и отложения с последующей цементацией [5].

Большинство источников обладает малым и непостоянным дебитом. Источники бывают водообильными только в период выпадения осадков и высокого стояния уровня подземных вод. Водоупором горизонта трещинных вод являются также коренные породы, в которых на определенной глубине трещиноватость затухает и практически отсутствует зона выветривания.

Выход трещинных вод на абсолютных отметках, как подпора, указывает, что ложе водохранилища является практически водоупорным и нет оснований ожидать фильтрационных потерь и утечки воды из естественной емкости Симферопольского водохранилища [6, 7].

В состав гидроузла Симферопольского водохранилища входят: земляная плотина высотой 40 м, шириной поверху 10 м и длиной по гребню 554 м; водосброс запроектирован в обход правого плеча плотины на расчетный (286 м³/с) и поверочный (450 м³/с) расход установкой на входном оголовке сегментных затворов.

Сопряжение бьефов осуществляется быстроходом, заканчивающимся водобойным колодцем. Водозаборное сооружение принимается без башенного типа с железобетонной камерой в теле плотины, в которой укладываются одна водопроводная труба диаметром 400 мм и две трубы диаметром 800 мм.

Результаты и их обсуждение. За период эксплуатации на комплексе гидротехнических сооружений Симферопольского водохранилища капитальный ремонт и реконструкция не проводились. В 2001 г. Выполнены досыпка и асфальтирование гребня плотины. В первые годы эксплуатации для повышения устойчивости каменно-земляной плотины ее низовая призма от бермы до основания была расширена на 50 м присыпкой крупнообломочного грунта.

Для проведения мониторинга была использована технология, также известная как VLF. При этой технологии используются две катушки, создающие электромагнитное поле, и появляется возможность обнаружения различных металлических предметов и разуплотнений грунта. Когда поле находит объект в грунте, который проводит электричество, обнаруживается собственное магнитное поле объекта. Исследование выполнялось обнаружителем NoktaInvenioSmart, в реальном времени, где происходит построение трёхмерной

модели исследуемого участка, использовалась технология искусственного интеллекта способная формировать 3D-изображения пустот и разуплотнений.

На момент обследования шахты водосброса элементы по визуальному осмотру находились в удовлетворительном состоянии. В некоторых местах выявлено расхождение плит. Переработка берегов отсутствует. Склоны пологие, борта и долина покрыты одиночными кустарниками и деревьями. Берега укреплены бетонными плитами. Следов обрушения берегов, оползней не наблюдается. Степень зарастания на момент обследования составила 8% – в основном в юго-восточной части. Сброс канализационных и технических вод не осуществляется. На сухом откосе просачивание не наблюдается. Рядом с плотиной заболоченность также не наблюдалась. За границей правого борта – два водоема, происхождение которых можно объяснить фильтрацией воды через тело дамбы.

Водосброс Симферопольского водохранилища не нарушает гидробиологическое, санитарное и гидрологическое состояние р. Салгир и не оказывает влияния на подтопление окружающей территории. Максимальный расход происходит в пределах попуска шахтного водосброса [8].

При исследовании обнаружены дефекты шахты водосброса (рис. 1):

– внутри шахты водосброса имеется биологическое нарастание, а также просачивание и нарушение бетонного слоя в водосбросе;

– имеется выход воды ниже отметки верха заложения шахты водосброса, свидетельствующий о просачивании воды сквозь стенки шахты и о нарушении целостности сооружения;

– от шахтного водосброса отходит прямоугольная двухчочковая бетонная труба с размерами 2000 × 2500 мм. При обследовании выявлены расхождение бетонных перекрытий, трещины с обнажением арматуры, просачивание воды через тело плотины с выходом в водосброс, отвалы бетона.

Составлена карта внутренних полостей и разуплотнений, определены геометрические параметры невидимых дефектов [9].

На рисунке 2 представлено обследование водозаборного сооружения, нарушения конструкции как видимые, шахтный водосброс внутри, просачивание воды в шахтном водосбросе (рис. 1, а) и в теле сооружения, образование продольных трещин (рис. 1, б) [6]. Определены их количество и геометрические параметры. Цветовая палитра показывает плотность разуплотнения грунта и уменьшается от красного до желтого цвета.

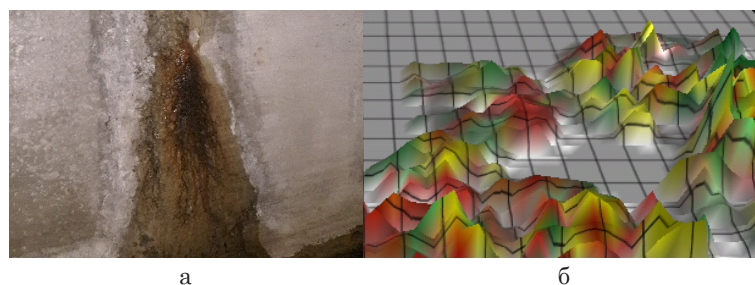


Рис. 1. Дефекты шахты водосброса:

а – просачивание и нарушение бетонного слоя в водосбросе;

б – радарограмма внутренних полостей и разуплотнений

Fig. 1. Defects of the spillway shaft:

a – seepage and violation of the concrete layer in the spillway; b – radargram of internal cavities and deconsolidations

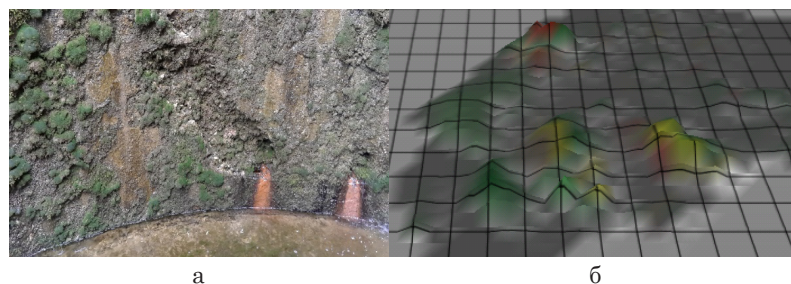


Рис. 2. Обследование водозаборного сооружения:

а – шахтный водосброс внутри, просачивание воды в шахтном водосбросе;

б – образование продольных трещин

Fig. 2. Inspection of the water intake structure:

a – mine spillway inside, water seepage in the mine spillway; b – formation of longitudinal cracks

Также можно судить о фильтрации воды в теле плотины, однако внешний откос плотины – сухой, следовательно, фильтрация проходит через железобетонный лоток шахты водосброса.

Металлические объекты и пустоты, находящиеся в пределах электромагнитного поля, получают энергию и ретранслируют собственное электромагнитное поле. Поисковая катушка применяемого прибора принимает ретранслируемое поле и предупреждает пользователя, формируя целевой отклик, расшифровывая который, получаем геометрию пустоты или разуплотнения в грунтовом основании сооружения.

Состояние плит, укрепляющих водосброс Симферопольского водохранилища, является неудовлетворительным (рис. 3). При обследовании укрепляющих плит были выявлены разрушения связывающего состава между плитами, отваливание плит, а также зарастание через стыки плит растительностью, что в дальнейшем может привести к деформации и отхождению плит [10]. В местах обнажения грунтового тела плотины визуально обнаруживаются следы эрозии, которые, если оставить их в таком состоянии, грозят аварийным состоянием плотины. Плиты, укрепляющие дамбу водохранилища, имеют разные геометрические размеры. Плитное крепление верхнего откоса плотины имеет размеры $3000 \times 1500 \times 150$; плиты железобетонные, сборные с омоноличиванием; обратный фильтр отсутствует. Количество плит, находящихся

в неудовлетворительном состоянии, оценено как 20% от общего количества плит по периметру водохранилища, что составляет 57 плит.

На основании проведенных исследований было выполнено численное моделирование [11] плотины Симферопольского водохранилища, представленное на рисунке 4.

С целью уменьшения интенсивности фильтрации по контакту тела плотины с основанием в верхней трещиноватой зоне скалы врезан зуб в скалу на глубину от 4 до 5 м. Конструктивные особенности его работы были рассчитаны. Получены эпюры напряжений и деформации.

На основании проведенных расчетов [12] для уменьшения потерь воды на фильтрацию в левом борту плотины предусматривается устройство цементационной завесы (рис. 5). На выбор глубины противофильтрационной завесы влияют главным образом естественные условия водонепроницаемости и характер залегания пород в основании плотины. Положение верха цементационной завесы ограничивается основанием бетонного зуба. В зависимости от глубины залегания водоупорных пород высота цементационной завесы является различной.

Состояние плотины и сбросной шахты оценивается как неудовлетворительное. Имеют место фильтрация в теле плотины, нарушение целостности конструкции, просачивание воды через водосброс, отвалы бетона, просачивание воды через шахтный водосброс.

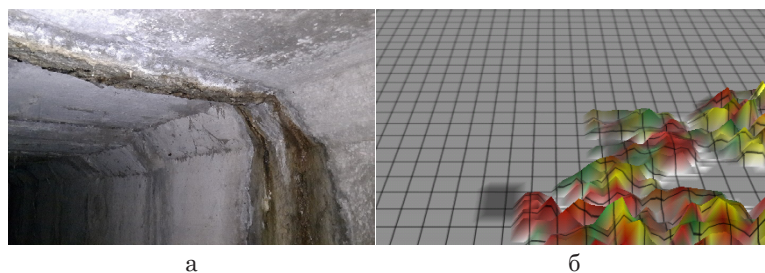


Рис. 3. Дефекты водозаборного сооружения:

а – ржавые потеки на стенках; б – эрозия бетона вследствие кавитационных процессов

Fig. 3. Water intake structure defects:

a – rusty streaks on the walls; b – erosion of concrete due to cavitation processes

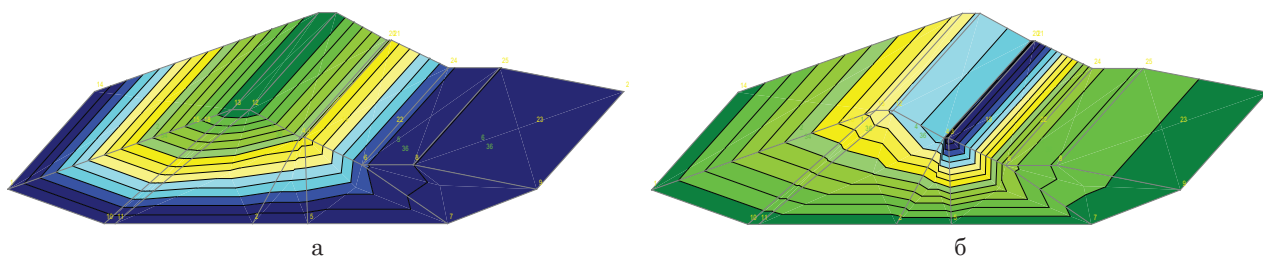


Рис. 4. Численное моделирование плотины, эпюры деформации:

а – суммарные; б – поперек тела плотины

Fig. 4. Numerical simulation of the dam, deformation diagrams:

a – total; b – across the body of the dam

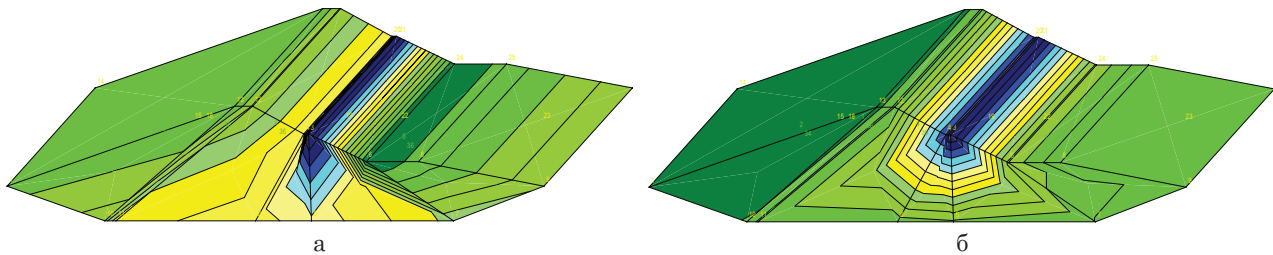


Рис. 5. Численное моделирование плотины, эпюры напряжений:

а – поперек тела плотины; б – вдоль тела плотины

Fig. 5. Numerical modeling of the dam, stress diagrams:

a – across the body of the dam; b – along the body of the dam

Выводы

Согласно результатам проведенных работ по обследованию гидротехнического сооружения можно сделать следующие выводы:

- железобетонные плиты верхнего откоса плотины находятся в неудовлетворительном состоянии и требуют замены. Остальные плиты по периметру дамбы также находятся в неудовлетворительном состоянии. Общее количество плит, нуждающихся в реконструкции, составляет более 22%;

- служебный мост к шахтному водосбору находится в аварийном состоянии и подлежит замене, отсутствуют сетки на шахтном водосборе;

- шахтный водосбор имеет просачивание. Галерея шахтного водосбора также фильтрует воду через соединительные швы между железобетонными изделиями. Железобетонные конструкции требуют ремонта;

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда и Кубанского научного фонда (грант № 22-17-20001)

Список использованных источников

1. Бабинецкая А.С., Дербасова Н.М. Обоснование выбора концептуальной модели водосбора для прогнозирования водообеспеченности Симферопольского водохранилища // Энергетические установки и технологии. 2020. Т. 6, № 4. С. 137-142.
2. Иванкова Т.В. Рациональное использование водных ресурсов длительно эксплуатируемого Симферопольского водохранилища на реке Салгир, Республика Крым // Строительство и архитектура. 2017. Т. 5, № 4. С. 212-218. DOI: 10.29039/article_5a3d2049b1e4a6.72412492.
3. Дунаева Е.А., Попович В.Ф., Ляшевский В.И. Анализ динамики количественных и качественных характеристик водных ресурсов с использованием открытых ГИС и агрогидрологических моделей // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. 2015. № 1(17). С. 127-141.
4. Волосухин Я.В., Наволокин Д.Ю. Обеспечение безопасности водопользования в Республике Крым // Водоснабжение и санитарная техника. 2017. № 6. С. 4-9.
5. Косиченко Ю.М., Савенкова Е.А. Расчетная оценка надежности работы грунтовой плотины малого

– тело дамбы сложено полутвердыми глинами с прослойками песка (1-3 см) и включением щебня известняка до 10-15%. Мощность отложений колеблется от 0,6 до 7,7 м. Согласно данным определения оптимальной влажности и максимальной плотности грунта средний коэффициент относительного уплотнения грунта составляет 1,05.

По материалам рекогносцировочного обследования и выполнения расчетов, полевых работ и лабораторных испытаний можно сделать вывод об устойчивости сооружения при сохранении нынешней интенсивности эксплуатации. При активизации хозяйственной деятельности необходим строгий контроль за состоянием плотины для предотвращения развития затопления территории вследствие резкого подъема уровня поверхностных и подземных вод.

Financing. This work was supported by the Russian Science Foundation and the Kuban Science Foundation (grant No. 22-17-20001).

References

1. Babinetskaya A.S., Derbasova N.M. Justification of the choice of the conceptual model of the catchment for forecasting the water supply of the Simferopol reservoir // Energetic plants and technologies. 2020. Vol. 6, No. 4. P. 137-142.
2. Ivankova T.V. Rational use of water resources of the long-term exploitation of the Simferopol reservoir on the Salgir River, Republic // Construction and architecture. 2017. Vol. 5, No. 4, P. 212-218. – DOI: 10.29039/article_5a3d2049b1e4a6.72412492.
3. Dunaeva E.A., Popovich V.F., Lyashevsky V.I. Analysis of the dynamics of quantitative and qualitative characteristics of water resources using open GIS and agrohydrological models. // Scientific Journal of the Russian Research Institute of Land Reclamation Problems. 2015. No 1(17). P. 127-141.
4. Volosukhin Ya.V., Navolokin D.Yu. Ensuring the safety of water use in the Republic of Crimea. // Vowater supply and sanitary engineering. 2017. № 6. P. 4-9.
5. Kosichenko Yu.M., Savenkova E.A. Calculation assessment of the reliability of the work of the ground dam of a small reservoir using diagnostic indicators according

водохранилища с использованием диагностических показателей по данным наблюдений // Природообустройство. 2012. № 5. С. 41-45.

6. **Волосухин В.А.**, Безопасность сооружений инженерной защиты долины реки Псекупс с учетом изменившихся во времени нагрузок и воздействий / Бандурин М.А., Приходько И.А., Вербицкий А.Ю. // Природообустройство. 2022. № 5. С. 52-59. DOI: 10.26897/1997-6011-2022-5-52-59.

7. **Козлов Д.В., Кловский А.В.** Экспертная оценка причин возникновения аварии на грунтовой плотине Сардобинского водохранилища // Природообустройство. 2021. № 5. С. 75-84. DOI: 10.26897/1997-6011-2021-5-75-84.

8. **Снежко В.Л., Сидорова С.А., Симонович О.С.** Прогноз уровня безопасности грунтовых низконапорных плотин // Природообустройство. 2019. № 2. С. 72-79. DOI: 10.34677/1997-6011/2019-2-72-80.

9. **Карпенко Н.П., Юрченко И.Ф.** Теоретическое обоснование структуры классификатора критериев безопасности ГТС мелиоративного водохозяйственного комплекса // Природообустройство. 2015. № 1. С. 12-15.

10. **Карпенко Н.П., Юрченко И.Ф.** Классификация мероприятий безопасной эксплуатации мелиоративных систем // Природообустройство. 2016. № 1. С. 58-62.

11. **Погорелов А.В., Липилин Д.А., Курносова А.С.** Спутниковый мониторинг Краснодарского водохранилища // Географический вестник. 2017. № 1(40). С. 130-137. DOI: 10.17072/2079-7877-2017-1-130-137.

12. **Бандурин М.А., Приходько И.А., Романова А.С.** Мониторинг низконапорной земляной плотины инженерной защиты реки Псекупс нижней Кубани // Международный сельскохозяйственный журнал. 2023. № 1(391). С. 74-79. DOI: 10.55186/25876740_2023_66_1_74.

Об авторах

Михаил Александрович Бандурин, д-р техн. наук, доцент; ORCID: 0000-0002-0986-8848; Scopus Author ID 57201780087; РИНЦ Author ID 518464; WOS Research ID: D-5293-2016; SPIN-код 6451-2467; chepura@mail.ru

Виктор Алексеевич Волосухин, д-р техн. наук, профессор; ORCID: 0000-0001-9029-7802; Scopus Author ID 57201781001; РИНЦ Author ID 290467; SPIN-код 3214-4973; director@ibgts.ru

Артем Анатольевич Руденко, аспирант; ORCID: 0000-0002-8724-6980; Scopus Author ID 57486226000; РИНЦ Author ID 1049046; SPIN-код 9649-8680; away704@gmail.com

Анна Сергеевна Романова, магистрант; ORCID: 0000-0001-9035-917X; РИНЦ Author ID 1159646; SPIN-код 7540-6975; any30082002@mail.ru

Критерии авторства / Criteria of authorship

Бандурин М.А., Волосухин В.А., Руденко А.А., Романова А.С. выполнили теоретические исследования, на основании которых провели обобщение и написали рукопись, имеют на статью авторское право и несут ответственность за плагиат.

Конфликт интересов / Conflict of Interest:

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. / The authors declare no conflict of interest.

Вклад авторов / Authors' contributions

Все авторы сделали равный вклад в подготовку публикации. / All authors made an equal contribution to the preparation of the publication

Статья поступила в редакцию / Submitted to the editorial office 05.06.2023

Одобрена после рецензирования / Approved after peer review 10.08.2023

Принята к публикации / Accepted for publication 15.08.2023

to observational data. // Prirodoobustrojstvo. 2012. № 5. P. 41-45.

6. **Volosukhin V.A.** Safety of engineering protection structures in the Psekups River Valley taking into account over time changes in loads and impacts / M.A. Bandurin, I.A. Prikhodko, A.Yu. Verbitsky // Prirodoobustrojstvo. 2022. № 5. P. 52-59. – DOI: 10.26897/1997-6011-2022-5-52-59.

7. **Kozlov D.V., Klovsky A.V.** Expert assessment of the causes of the occurrence of the accident on the ground dam of the Sardobinsky reservoir. // Prirodoobustrojstvo. 2021. № 5. P. 75-84. – DOI 10.26897/1997-6011-2021-5-75-84.

8. **Snezhko V.L., Sidorova S.A., Simonovich O.S.** Forecast of the safety level of ground low-pressure dams // Prirodoobustrojstvo. 2019. № 2. P. 72-79. – DOI 10.34677/1997-6011/2019-2-72-80

9. **Karpenko N.P., Yurchenko I.F.** Theoretical justification of the structure of the classifier of safety criteria of the GTS of the melioration of the water management complex // Prirodoobustrojstvo. 2015. № 1. С. 12-15. 2015.

10. **Karpenko N.P., Yurchenko I.F.** Classification of measures of safe operation of melioration systems // Prirodoobustrojstvo. 2016. № 1. P. 58-62.

11. **Pogorelov A.V., Lipilin D.A., Kurnova A.S.** Satellite monitoring of the Krasnodar reservoir // Geographic bulletin. 2017. № 1(40). P. 130-137. – DOI 10.17072/2079-7877-2017-1-130-137.

12. **Bandurin M.A., Prikhodko I.A., Romanova A.S.** Monitoring of the low-pressure earth dam of the engineering protection of the Psekups river of the lower Kuban // International agricultural journal. 2023. No 1(391). P. 74-79. – DOI 10.55186/25876740_2023_66_1_74.

Author information

Mikhail A. Bandurin, doctor of technical sciences, associate professor; ORCID: 0000-0002-0986-8848; Scopus Author ID 57201780087; RSCI Author ID 518464; WOS Research ID: D-5293-2016; SPIN code 6451-2467; chepura@mail.ru

Victor A. Volosukhin, doctor of technical sciences, professor; ORCID: 0000-0001-9029-7802; Scopus Author ID 57201781001; RSCI Author ID 290467; SPIN code 3214-4973; director@ibgts.ru

Artem A. Rudenko, post graduate student; ORCID: 0000-0002-8724-6980; Scopus Author ID 57486226000; RSCI Author ID 1049046; SPIN code 9649-8680; away704@gmail.com

Anna S. Romanova, MA student; ORCID: 0000-0001-9035-917X; RSCI Author ID 1159646; SPIN code 7540-6975; any30082002@mail.ru

Bandurin M.A., Volosukhin V.A., Rudenko A.A., Romanova A.S. performed theoretical research, on the basis of which they generalized and wrote the manuscript, have copyright on the article and are responsible for plagiarism.