

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ МЕЛИОРАТИВНО- ВОДОХОЗЯЙСТВЕННОГО КОМПЛЕКСА И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ

Научная статья

УДК 626/627

К вопросу обеспечения безопасности гидротехнических сооружений мелиоративных систем в Енисейском бассейновом округе АПК

Ольга Николаевна Черных¹, Алена Владимировна Бурлаченко²

¹Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева, Москва, Российская Федерация, chernih@rgau-msha.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2905-446X>

²Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), Москва, Российская Федерация, chtara@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2617-9515>

Аннотация. Цель: рассмотрение актуальных проблем, связанных с безопасностью низконапорных гидроузлов мелиоративного назначения, на примере ГТС водоема сезонного регулирования Енисейского бассейнового округа АПК на р. Сой. **Материалы и методы:** выполнена поэтапная оценка уровня безопасности мелиоративных ГТС комплексного гидроузла, начиная с ранжирования их технического состояния, оценки сценария аварий, уровня риска, параметров волны прорыва и зоны затопления после образования прорана на грунтовой плотине, заканчивая определением вероятного ущерба и масштаба чрезвычайной ситуации при гидродинамической аварии на нем. **Результаты.** Проведенный анализ данных обследования технического состояния ГТС гидромелиоративного комплекса и соответствующих расчетов показал, что для данного гидроузла на р. Сой уровень безопасности ГТС неудовлетворительный. Среднегодовая вероятность возникновения аварии составляет $5,2 \cdot 10^{-2}$. Чрезвычайная ситуация в нижнем бьефе плотины вследствие гидродинамической аварии при реализации наиболее вероятного сценария будет иметь региональный масштаб как по величине причиненного ущерба, так и по территориальному признаку. **Выводы:** на основании анализа критериев безопасности применительно к низконапорным ГТС (оценки параметров гребня плотины, пропускной способности водосброса, фильтрационной прочности грунта тела и основания плотины и критериев устойчивости отдельных элементов грунтовых и бетонных ГТС) показана необходимость выполнения достаточно точных расчетов для низконапорных ГТС IV класса опасности, позволяющих дать рекомендации по мероприятиям для снижения вероятных потерь от гипотетической или реальной аварии на ГТС мелиоративных систем.

Ключевые слова: оценка безопасности, мелиоративный гидроузел, ущерб, дефекты гидротехнических сооружений, техническая реабилитация

Апробация результатов исследования: основные положения статьи доложены на Всероссийской научно-практической конференции «Современные проблемы мелиоративно-водохозяйственного комплекса и пути их решения» (г. Новочеркасск, 27 октября 2023 г.).

Финансирование: исследование выполнено за счет средств гранта Российского научного фонда № 23-29-00928 (<https://rscf.ru/project/23-29-00928/>).

Для цитирования: Черных О. Н., Бурлаченко А. В. К вопросу обеспечения безопасности гидротехнических сооружений мелиоративных систем в Енисейском бассейновом округе АПК // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. 2023. Т. 91, № 3. С. 250–262.

MODERN PROBLEMS OF LAND RECLAMATION AND WATER INDUSTRIAL COMPLEX AND WAYS TO SOLVE THEM

Original article

On ensuring the safety of hydraulic structures of reclamation systems in the Yenisei basin district of the agro-industrial complex

Olga N. Chernykh¹, Alena V. Burlachenko²

¹Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russian Federation, chernih@rgau-msha.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2905-446X>

²Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI), Moscow, Russian Federation, chtara@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2617-9515>

Abstract. Purpose: consideration of current problems associated with the safety of low-pressure waterworks for reclamation purposes, using the example of a hydraulic structure of a seasonal regulation reservoir of the Yenisei basin district of the agro-industrial complex on the Soy river. **Materials and methods:** a step-by-step assessment of the security level of reclamation hydraulic structures of a complex waterworks was carried out, starting from ranking their technical state, accident scenario assessment, risk level, breakthrough wave parameters and the flood zone after the formation of a passage on the earth dam, ending with determining the probable damage and the scale of the emergency in the event of a hydrodynamic accident on it. **Results.** The analysis of data from a survey of the technical condition of the hydraulic structure of the hydroreclamation complex and the corresponding calculations showed that the safety level of the hydraulic structures is unsatisfactory for this waterworks on the Soy river. The average annual probability of emergency situations is $5.2 \cdot 10^{-2}$. An emergency situation in the downstream of the dam due to a hydrodynamic accident, if the most likely scenario is realized, will have a regional scale both in terms of the amount of damage caused and on a territorial basis. **Conclusions:** based on the analysis of safety criteria in relation to low-pressure hydraulic structures (assessment of the parameters of the dam crest, spillway capacity, seepage strength of the ground of the dam body and base and stability criteria for individual elements of earth and concrete hydraulic structures), the need to perform sufficiently accurate calculations for low-pressure hydraulic structures of IV hazard class is shown, allowing to give recommendations on measures to reduce probable loss from a hypothetical or real accident at the hydraulic structures of reclamation systems.

Keywords: safety assessment, reclamation waterworks, damage, defects in hydraulic structures, technical rehabilitation

Evaluation of the research results: the main provisions of the article were reported at the All-Russian scientific and practical conference “Modern problems of land reclamation and water industrial complex and ways to solve them” (Novocherkassk, October 27, 2023).

Financing: the study was supported by the Russian Science Foundation grant no. 23-29-00928 (<https://rscf.ru/project/23-29-00928/>).

For citation: Chernykh O. N., Burlachenko A. V. On ensuring the safety of hydraulic structures of reclamation systems in the Yenisei basin district of the agro-industrial complex. *Ways of Increasing the Efficiency of Irrigated Agriculture*. 2023;91(3):250–262. (In Russ.).

Введение. Обеспечение надежности и безопасности функционирования мелиоративных гидротехнических сооружений (ГТС) является одной из важнейших задач в течение всего срока их эксплуатации. В соответ-

ствии с законом «О безопасности ГТС» эта задача реализуется Ростехнадзором на всех стадиях жизни ГТС мелиоративных систем, большинство из которых – низконапорные. К ним относится большая группа ГТС напорных мелиоративных гидроузлов с напором до 15 м и объемом водохранилища до 50 млн м³, а также крупные магистральные каналы и их ГТС, представляющие возможную опасность для населенных пунктов, сельхозугодий и других объектов АПК [1–3]. Поскольку такие ГТС в своем большинстве эксплуатируются не менее полстолетия, то только за последние 5 лет в РФ было зафиксировано на них более 300 аварий. Цель работы состоит в рассмотрении актуальных проблем, связанных с безопасностью низконапорных гидроузлов мелиоративного назначения, на примере ГТС водоема сезонного регулирования на р. Сой Республики Тыва Каа-Хемского района Енисейского бассейнового округа АПК.

Материалы и методы. Материалами для выполнения поэтапной оценки безопасности ГТС гидромелиоративного комплекса на р. Сой послужили данные визуального обследования ГТС, выполненные ООО «СГТ» в 2021 г. [4]. Река Сой берет начало на склонах хребта Хорумнуг – Тайга, протекает на длине 125 км (площадь водосбора 2820 км²) в северном и северо-восточном направлении и впадает в р. Бурен, относится к первой категории рыбохозяйственного водопользования. В меженные периоды ширина реки составляет 20–30 м, средняя глубина 0,3–0,7 м, средняя скорость течения 0,3–0,5 м/с. В паводочные периоды соответственно: ширина – 100–300 м, средняя глубина – до 2,0–2,5 м, средняя скорость течения – до 2,0–2,5 м/с. Дно реки сложено галечником и песком, местами илом. Согласно СП 131.13330.2020 район расположения мелиоративной системы находится в суровой строительно-климатической зоне: 3-я зона влажности, глубина промерзания 2,36 м; многолетняя среднегодовая температура воздуха – минус 5,6 °С, самый холодный месяц – январь (минус 34,0 °С); в среднем выпадает 356 мм осадков в год; морозный период длится 263 дня,

вегетационный период 102 дня. В состав мелиоративного комплекса входят водоподпорные и водонапорные ГТС, водосбросные и водопропускные ГТС, в т. ч. и сопрягающие. Водохранилище имеет комплексное назначение: сезонное регулирование стока, создание объемов воды для орошения сельхозугодий, защиты с. Сой от затопления в период паводков. Эксплуатируется с 1985 г., на данный момент износ локальных ГТС составляет 70 %, что характерно для примерно 1,5 тыс. ГТС, находящихся в ведении Минсельхоза России. Собственником ГТС является Министерство природных ресурсов и экологии Республики Тыва.

В гидроузле мелиоративной системы (капитальный ремонт был в 2007 г.), расположенном в 1 км от с. Ильинское, основным подпорным ГТС является грунтовая земляная плотина из суглинка высотой 6 м, шириной гребня 10 м, со средними заложениями откосов соответственно верхового $m_{h\text{фак}} = 1,07$, низового $m_{l\text{фак}} = 1$. Крепления откосов плотины: верховой – каменная наброска из скального грунта, низовой – залужение и каменная наброска. Дренажные устройства не выявлены. Превышение гребня плотины над НПУ составляет 2,05 м. Водосбросное сооружение представляет собой открытый регулируемый 3-пролетный русловой водосброс в теле плотины из монолитного железобетона с металлическими плоскими затворами.

Этих общих данных для обеспечения требований надежности и безопасности любых низконапорных ГТС недостаточно, и в соответствии с Федеральным законом «О безопасности ГТС» для принятия решения о дальнейшей эксплуатации, реконструкции или выводе ГТС из эксплуатации необходимо включать помимо паспортных данных ГТС гидроузла и водного объекта также следующие общие требования [5–7]: обеспечение допустимого уровня риска аварии, предоставление декларации безопасности в территориальные органы Ростехнадзора, установление количественных и качественных критериев безопасности, осуществление не-

прерывности эксплуатации ГТС, проведение комплекса мероприятий по снижению риска возникновения чрезвычайных ситуаций на мелиоративном гидрокомплексе. Помимо этого, собственник ГТС должен обеспечить и специальные требования: осуществлять мониторинг показателей технического состояния ГТС, корректировку критериев безопасности; проводить регулярные визуальные и инструментальные обследования в соответствии с инструкциями и программой работ службы эксплуатации; организовывать эксплуатацию ГТС гидроузла в соответствии с имеющимися утвержденными правилами; создавать финансовые и материальные резервы для ликвидации аварийных ситуаций и проведения различного рода ремонтно-восстановительных работ; финансировать мероприятия по эксплуатации, предотвращению и ликвидации последствий аварий ГТС и пр. [4, 8].

Результаты и обсуждение. На данный момент техническое состояние ГТС гидроузла таково, что работоспособность его ограничена. Что касается качественных показателей грунтовой плотины, можно отметить (рисунок 1): в целом гребень находится в неудовлетворительном состоянии; по гребню проходит грунтовая дорога, значимые неровности и локальные понижения гребня отсутствуют; промоин на откосах, начинающихся с гребня плотины, нет, но есть небольшая колея и яма при переходе на мост водосброса. Наблюдается сползание каменной наброски верхового откоса (рисунок 1*b*). Травяной покров откосов неудовлетворительного качества, не окашивается. Выхода фильтрационных вод на откос нет.

Расчеты с помощью программных комплексов, разработанных на кафедре ГТС Российского государственного аграрного университета – МСХА имени К. А. Тимирязева (РГАУ-МСХА имени К. А. Тимирязева) кандидатом технических наук В. И. Волковым применительно к оценке безопасности ГТС низконапорных гидроузлов [4, 9], показали, что не все контролируемые количественные диагностические показатели соответ-

ствуют критериям безопасности. Так, фактическое возвышение гребня плотины над расчетным уровнем воды в водоеме недостаточно и, хотя запас меньше предельного, соответствующего границе перехода ГТС в аварийное состояние, необходимо досыпать гребень плотины на 0,34 м до проектной отметки или выполнить ряд известных конструктивных мероприятий, приведенных в технической литературе [4, 10]. Помимо этого, не обеспечена безопасность грунтового подпорного ГТС по коэффициентам заложения как для надводной части верхового $m_h < m_{h\text{фак}}$, так и для низового откоса плотины $m_t < m_{t\text{фак}}$ ($m_h = 3$, $m_t = 1,5$), что указывает на потенциально опасное либо аварийное состояние плотины. Безопасность грунтовой плотины по коэффициентам устойчивости верхового и низового откосов, рассчитанным для случаев, указанных в СП 39.13330.2012 и реально возможных при эксплуатации плотины, методом круглоцилиндрических поверхностей скольжения, тоже при сопоставлении с критериями безопасности оказалась необеспеченной [11].

Фильтрационные расчеты подтвердили, что при отсутствии дренажа необходимое заглубление кривой депрессии по отношению к поверхности низового откоса не обеспечивается, живое сечение фильтрационного потока с его стороны попадает в зону промерзания. Для обеспечения безопасности плотины по этому показателю требуется при реновации плотины предусмотреть проектирование дренажных устройств. Однако фильтрационная прочность тела и основания не нарушена, фильтрационные потери через тело и основание на русловом участке плотины являются незначительными, и не требуется дополнительных мероприятий по их уменьшению.

Таким образом, в результате систематизации показателей было установлено, что плотина гидроузла в целом имеет аварийное техническое состояние, соответствующее опасному уровню безопасности.



a



b



c

a – общий вид; *b* – крепление верхового откоса плотины с частично оползшим каменным креплением; *c* – эрозирующий участок сухой зоны верхового откоса плотины

a – general view; *b* – fastening of the upstream slope of the dam with a partially slid riprapped slope of dam; *c* – eroding section of the dry zone of the upstream slope of the dam

Рисунок 1 – Элементы гидротехнического узла на р. Сой с водоемом сезонного регулирования в Каа-Хемском районе Восточной Сибири РФ (фото ООО «СГТ»)
Figure 1 – Elements of a waterworks on the Soy river with a seasonal regulation reservoir in the Kaа-Khem region of the Eastern Siberia of the Russian Federation (photo by SGT LLC)

В результате полевых обследований было зафиксировано, что открытое водосбросное 3-пролетное сооружение находится в ограниченно работоспособном состоянии. Два из трех затворов в момент обследования были опущены и не участвовали в пропуске воды, а третий затвор был заклинен в верхнем состоянии (рисунок 2). Из-за этого в момент обследования в нижнем бьефе на водобойном участке и в отводящем канале наблюдался значительный сбой потока. Отводящий канал стеснен кустарниковой растительностью. Ледозащитные и мусорозадерживающие устройства полностью отсутствуют, что объясняет большое скопление мусора и древесно-кустарниковой растительности как со стороны верхнего бьефа, так и внутри водосливных пролетов водосброса, это уменьшает его пропускную способность. Указанное должно учитываться в первую очередь при подготовке водосброса к пропуску половодья, так как может вызвать стеснение пропускного сечения на участке перехода водосброса через плотину. Для безопасного пропуска половодья определяющим является также состояние затворов и их подъемных механизмов. При невозможности подъема затворов при проектных расходах половодья неизбежными будут повышение уровня в водоеме выше ФПУ и возможные переливы через гребень плотины. Все это говорит о неудовлетворительном техническом состоянии рассматриваемого водосброса. Помимо этого, бетон имеет множество зон повреждений: на поверхности, особенно в границах колебания уровней, где наблюдаются мелкие трещины, сколы, раковины, выкрашивание и отслаивание, следы явлений фильтрации через бетон (подтеки, белые пятна, налеты продуктов выщелачивания), нарушения швов и пр. Из ряда трещин на элементах шлюза-регулятора выделяется вертикальная трещина в железобетонной стенке берегового устоя (рисунок 2*b*).



a – вид на входную часть водосброса; *b* – вертикальная трещина на береговом устое
a – view of the inlet part of the spillway; *b* – vertical crack on the side wall

**Рисунок 2 – Водосбросное сооружение водоема на р. Сой
(фото ООО «СГТ»)**

**Figure 2 – Spillway structure of the reservoir on the Soy river
(photo by SGT LLC)**

Анализ обнаруженных дефектов и сопоставление качественных диагностических показателей с критериями безопасности по состоянию входных и выходных оголовков показали, что состояние водопропускного ГТС потенциально опасное, а уровень безопасности – неудовлетворительный. Общая оценка безопасности водосбросного сооружения по количественным диагностическим показателям выполнялась на пропуск поверочного расхода $Q_{\text{пов.1\%}} = 86 \text{ м}^3/\text{с}$ [3, 6, 8, 12–14]. Расчеты показали, что при восстановлении работоспособности всех трех пролетов регулирующего сооружения его безопасность в условиях пропуска поверочного расхода будет обеспечена из-за достаточности: пропускной способности входного оголовка, высоты боковых стен водосброса и боковых устоев водобоя, его длины и отметки фундаментной плиты для сохранения надвинутого прыжка, минимальной величины размыва за рисбермой. Одновременно рассматривались и альтернативные варианты использования резервных водосбросов при реконструкции всего гидромелиоративного комплекса, учитывающие современные принципы строительства ГТС в условиях холодного

климата и мерзлого основания, так как, по данным Ростехнадзора, в таких климатических условиях 90 % малых гидроузлов разрушаются, а остальные находятся в аварийном состоянии, 67 % всех разрушений приходится именно на водосбросные сооружения [12].

Таким образом, рассмотренный гидроузел на р. Сой мелиоративной системы в верховьях р. Енисей (Тува) в целом находится сегодня в ограниченно работоспособном состоянии с неудовлетворительным уровнем безопасности. Для повышения уровня безопасности ГТС и исключения вероятности аварии необходимо провести работы капитального характера по выполаживанию откосов, наращиванию гребня плотины, устройству руслового дренажа и ремонту водопропускных сооружений.

Для оценки возможного ущерба, возникающего в результате гипотетической аварии на гидроузле мелиоративной системы, был выполнен расчет параметров зоны затопления для наиболее вероятного и наиболее тяжелого из сценариев развития аварии ГТС по программе «Волна 14». Чрезвычайная ситуация в нижнем бьефе плотины вследствие гидродинамической аварии при реализации наиболее тяжелого сценария будет иметь региональный масштаб как по величине причиненного ущерба ($\approx 59,55$ млн руб.), так и по территориальному признаку. Оценка риска аварии ГТС как меры опасности в виде возможных потерь в экономической, социальной, сельскохозяйственной и экологической сферах для наиболее тяжелого сценария составляет $R_a = 3,090$ млн руб./год, для наиболее вероятного сценария $R_a = 2,910$ млн руб./год. Среднегодовая вероятность возникновения аварии составляет $5,2 \cdot 10^{-2}$.

Выводы. На основании анализа критериев безопасности применительно к низконапорным ГТС (оценки параметров гребня плотины, пропускной способности водосброса, фильтрационной прочности грунта тела и основания плотины и критериев устойчивости отдельных элементов грунтовых и бетонных ГТС) показана необходимость выполнения доста-

точно точных расчетов для низконапорных ГТС IV класса, позволяющих дать рекомендации по мероприятиям для снижения вероятных потерь от гипотетической или реальной аварии на ГТС мелиоративной системы.

Список источников

1. Мелиорации прудов: монография / В. А. Белов, Е. В. Васильева, И. В. Гурина, А. В. Зубкова, Н. А. Иванова, Е. Н. Лунёва, М. М. Мордвинцев, Л. В. Персикова, Е. В. Полуэктов, В. В. Танюкевич, С. В. Фомин, В. Н. Шкура, Вл. Н. Шкура; Новочеркас. гос. мелиоратив. акад., Рос. науч.-исслед. ин-т проблем мелиорации. Новочеркасск: Лик, 2013. 371 с.
2. Жезмер В. Б., Матвеев А. В. Принципы обеспечения эффективной и безопасной работы ГТС гидромелиоративного комплекса // Мелиорация и водное хозяйство. 2019. № 2. С. 5–11.
3. Щедрин В. Н., Косиченко Ю. М., Баев О. А. Обеспечение безопасности и надежности низконапорных гидротехнических сооружений: монография. Новочеркасск: РосНИИПМ, 2016. 283 с.
4. Черных О. Н., Бурлаченко А. В. Обеспечение безопасности гидротехнических сооружений мелиоративного гидроузла с грунтовой плотиной: учеб. пособие. М.: РГАУ-МСХА, 2022. 172 с.
5. Черных О. Н., Волков В. И. Проведение обследований при оценке безопасности гидротехнических сооружений: учебник. М.: Росинформагротех, 2017. 180 с.
6. Черных О. Н., Сабитов М. А., Бурлаченко А. В. Специфика реконструкции бесхозяйных плотин // Природообустройство. 2017. № 2. С. 12–20.
7. Краснощеков В. Н., Ольгаренко Д. Г. Модернизация мелиоративных систем как главный фактор обеспечения продовольственной и экологической безопасности страны // Природообустройство. 2016. № 4. С. 51–57.
8. Безопасность бесхозяйных гидротехнических сооружений мелиоративного водохозяйственного комплекса / Г. Т. Балакай, И. Ф. Юрченко, Е. А. Лентяева, Г. Х. Ялалова. Германия: LAP LAMBERT, 2016. 85 с.
9. Волков В. И. Экспресс-методика обследования с оценкой достаточности превышения гребня грунтовой плотины // Природообустройство. 2019. № 2. С. 66–72. DOI: 10.34677/1997-6011/2019-2-66-72.
10. Козлов Д. В., Крутов Д. А. Комплексные технические решения при реконструкции плотин // Природообустройство. 2018. № 2. С. 22–28. DOI: 10.26897/1997-6011/2018-2-22-28.
11. Мониторинговая оценка низконапорной земляной плотины Варнавинского водохранилища в условиях повышающегося риска природных и техногенных катастроф / М. А. Бандурин, В. А. Волосухин, И. А. Приходько, А. А. Руденко // Construction and Geotechnics. 2022. Т. 13, № 4. С. 17–29. DOI: 10.15593/2224-9826/2022.4.02.
12. Черных О. Н., Волков В. И. Оценка безопасности водосбросных сооружений при грунтовых плотинах: учеб. пособие. М.: РГАУ-МСХА, 2019. 118 с.
13. Damping of increased turbulence beyond a deep and relatively short spillway basin / A. V. Burlachenko, O. N. Chernykh, N. V. Khanov, D. R. Bazarov // AIP Conference Proceedings. 2023, Mar. Vol. 2612, iss. 1. 020029. 7 p. <https://doi.org/10.1063/5.0116112>.
14. Черных О. Н., Бурлаченко А. В., Суэтина Т. А. История создания, экспериментальные исследования и состояние малопротетного водосброса в Подмосковье // Гидротехническое строительство. 2023. № 9. С. 34–41.

References

1. Belov V.A., Vasilyeva E.V., Gurina I.V., Zubkova A.V., Ivanova N.A., Luneva E.N., Mordvintsev M.M., Persikova L.V., Poluektov E.V., Tanyukevich V.V., Fomin S.V., Shkura V.N., Shkura V.I.N., 2013. *Melioratsii prудov: monografiya* [Reclamation of Ponds: monograph]. Novochoerkassk State Land Reclamation Academy, Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novochoerkassk, Lik Publ., 371 p. (In Russian).
2. Zhezmer V.B., Matveev A.V., 2019. *Printsipy obespecheniya effektivnoy i bezopasnoy raboty GTS gidromeliorativnogo kompleksa* [Principles of ensuring efficient and safe operation of the hydraulic structures of the hydroreclamation complex]. *Melioratsiya i vodnoe khozyaystvo* [Land Reclamation and Water Management], no. 2, pp. 5-11. (In Russian).
3. Shchedrin V.N., Kosichenko Yu.M., Baev O.A., 2016. *Obespechenie bezopasnosti i nadezhnosti nizkonapornykh gidrotekhnicheskikh sooruzheniy: monografiya* [Ensuring the Safety and Reliability of Low-Pressure Hydraulic Structures: monograph]. Novochoerkassk, RosNIIPM, 283 p. (In Russian).
4. Chernykh O.N., Burlachenko A.V., 2022. *Obespechenie bezopasnosti gidrotekhnicheskikh sooruzheniy meliorativnogo gidrouzla s gruntovoy plotinoy: uchebnoe posobie* [Ensuring the Safety of Hydraulic Structures of a Reclamation Waterworks with an Earthfill Dam: textbook]. Moscow, RGAU-MSHA, 172 p. (In Russian).
5. Chernykh O.N., Volkov V.I., 2017. *Provedenie obsledovaniy pri otsenke bezopasnosti gidrotekhnicheskikh sooruzheniy: uchebnyk* [Conducting Surveys when Assessing the Hydraulic Structures Safety: textbook]. Moscow, Rosinformagrotekh Publ., 180 p. (In Russian).
6. Chernykh O.N., Sabitov M.A., Burlachenko A.V., 2017. *Spetsifika rekonstruktsii beskhozyaynykh plotin* [Specific features of reconstruction of ownerless dams]. *Prirodoobustroystvo* [Environmental Engineering], no. 2, pp. 12-20. (In Russian).
7. Krasnoshchekov V.N., Olgarenko D.G., 2016. *Modernizatsiya meliorativnykh sistem kak glavnyy faktor obespecheniya prodovol'stvennoy i ekologicheskoy bezopasnosti strany* [Modernization of land reclamation systems as the main factor in ensuring food and environmental security of the country]. *Prirodoobustroystvo* [Environmental Engineering], no. 4, pp. 51-57. (In Russian).
8. Balakai G.T., Yurchenko I.F., Lentyaeva E.A., Yalalova G.Kh., 2016. *Bezopasnost' beskhozyaynykh gidrotekhnicheskikh sooruzheniy meliorativnogo vodokhozyaystvennogo kompleksa* [Safety of Ownerless Hydraulic Structures of the Reclamation Water Complex]. Germany, LAP LAMBERT Publ., 85 p. (In Russian).
9. Volkov V.I., 2019. *Ekspress-metodika obsledovaniya s otsenkoy dostatochnosti prevysheniya grebnya gruntovoy plotiny* [Express inspection method with assessment of the sufficiency of the crest exceeding of the earth dam]. *Prirodoobustroystvo* [Environmental Engineering], no. 2, pp. 66-72, DOI: 10.34677/1997-6011/2019-2-66-72. (In Russian).
10. Kozlov D.V., Krutov D.A., 2018. *Kompleksnyye tekhnicheskiye resheniya pri rekonstruktsii plotin* [Complex technical solutions for dam reconstruction]. *Prirodoobustroystvo* [Environmental Engineering], no. 2, pp. 22-28, DOI: 10.26897/1997-6011/2018-2-22-28. (In Russian).
11. Bandurin M.A., Volosukhin V.A., Prikhodko I.A., Rudenko A.A., 2022. *Monitoringovaya otsenka nizkonapornoy zemlyanoy plotiny Varnavinskogo vodokhranilishcha v usloviyakh povyshayushchegosya riska prirodnykh i tekhnogennykh katastrof* [Monitoring assessment of the low-pressure earthen dam of the Varnavinsky reservoir under conditions of increasing risk of natural and man-made disasters]. *Construction and Geotechnics*, vol. 13, no. 4, pp. 17-29, DOI: 10.15593/2224-9826/2022.4.02. (In Russian).
12. Chernykh O.N., Volkov V.I., 2019. *Otsenka bezopasnosti vodosbrosnykh sooruzheniy pri gruntovykh plotinakh: uchebnoe posobie* [Assessing the Safety of Spillway Structures for Earth Dams: textbook]. Moscow, RGAU-MSHA, 118 p. (In Russian).

13. Burlachenko A.V., Chernykh O.N., Khanov N.V., Bazarov D.R., 2023. Damping of increased turbulence beyond a deep and relatively short spillway basin. AIP Conference Proceedings, Mar., vol. 2612, iss. 1, 020029, 7 p., <https://doi.org/10.1063/5.0116112>.

14. Chernykh O.N., Burlachenko A.V., Suetina T.A., 2023. *Istoriya sozdaniya, eksperimental'nye issledovaniya i sostoyanie maloproletnogo vodosbrosa v Podmoskov'e* [History of creation, experimental investigation and the state of a short-span spillway in Moscow region]. *Gidrotekhnicheskoe stroitel'stvo* [Power Technology and Engineering], no. 9, pp. 34-41. (In Russian).

Информация об авторах

О. Н. Черных – доцент, кандидат технических наук, доцент, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева, Москва, Российская Федерация, chernih@rgau-msha.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2905-446X>;

А. В. Бурлаченко – доцент, кандидат технических наук, Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), Москва, Российская Федерация, chtara@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2617-9515>.

Information about the authors

O. N. Chernykh – Associate Professor, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russian Federation, chernih@rgau-msha.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2905-446X>;

A. V. Burlachenko – Associate Professor, Candidate of Technical Sciences, Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI), Moscow, Russian Federation, chtara@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2617-9515>.

*Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.
Все авторы в равной степени несут ответственность за нарушения в сфере этики научных публикаций.*

*Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.
All authors are equally responsible for ethical violations in scientific publications.*

*Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
The authors declare no conflicts of interests.*

*Статья поступила в редакцию 20.10.2023; одобрена после рецензирования 01.11.2023;
принята к публикации 10.11.2023.
The article was submitted 20.10.2023; approved after reviewing 01.11.2023; accepted for
publication 10.11.2023.*