

Урожайность в значительной степени зависит от содержания токсичных солей и химических элементов (рис. 2). По данным на ключевом участке наблюдается резкое снижение урожайности с 32 до 19 ц/га в зависимости от площади (%) засоленных почв и содержания в почве загрязняющих химических элементов.

Приведенные данные исследований доказывают, что водохозяйственная деятельность влияет не только на урожайность сельскохозяйственных культур, но и формирует эколого-мелиоративную ситуацию на объекте. Для рассматриваемых условий оптимальная водоподача нетто на поля хлопчатника составляет 8-10 тыс. м³/га. В свою очередь, показатели эколого-мелиоративной ситуации также оказывают значительное воздействие на формирование урожая. В этой связи необходима оптимизация мелиоративного режима на базе регулирования объема и динамики водоподачи и водоотвода с орошаемого поля.

Поэтому анализ водохозяйственной деятельности необходимо производить строго с учетом показателей эколого-мелиоративной ситуации.

Таким образом, выполненный анализ водохозяйственной деятельности за период с 1973 по 2022 год показал, что существующие эколого-мелиоративные условия значительно отличаются от проектных. Выявленные корреляционные связи между урожайностью и показателями мелиоративного состояния позволяют наметить мероприятия по улучшению эколого-мелиоративного состояния земель нижней части Кашкардынской области.

УДК 627.8:69.05 DOI 10.37738/VNIIGIM.2024.39.74.057
**ОСОБЕННОСТИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ
ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ МАЛЫХ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ
ПРОБЛЕМНЫХ ТЕРРИТОРИЙ АПК**

¹Черных О.Н.

¹Бурлаченко Я.Ю.

²Бурлаченко А.В.

¹ФГБУ ВО «РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева», г. Москва, Российская Федерация

²МАДИ, г. Москва, Российская Федерация

***Аннотация.** Проанализировано современное состояние вопросов обеспечения безопасности гидротехнических сооружений гидроузлов на водных объектах АПК. В статье рассмотрены результаты натурных обследований и мониторинга мелиоративного гидроузла на малой реке в Республике Тыва, находящегося в особых природных условиях. Оценено его техническое состояние и обозначены подходы к обеспечению безопасности для его дальнейшей надёжной эксплуатации.*

***Ключевые слова:** безопасность, гидротехнические сооружения, надзор, мелиоративный гидроузел, дефекты, водосброс, плотина, ремонт*

FEATURES OF ENSURING THE SAFETY OF HYDRAULIC STRUCTURES OF SMALL WATER BODIES OF PROBLEM TERRITORIES OF AGRICULTURAL INDUSTRIAL INDUSTRIES

¹Chernykh O.N.

¹Burlachenko Y.Yu.

²Burlachenko A.V.

¹FGBU VO "RGAU-MSHA named after K.A. Timiryazev», Moscow, Russian Federation;

²MADI, Moscow, Russian Federation

***Annotation.** The current state of issues of ensuring the safety of hydraulic structures of hydraulic structures on water bodies of the agro-industrial complex is analyzed. The article discusses the results of field surveys and monitoring of a reclamation waterworks on a small river in the Republic of Tyva, located in special natural conditions. Its technical condition is assessed and approaches to ensuring safety are outlined for its further reliable operation.*

***Key words:** safety, hydraulic structures, supervision, reclamation hydraulic system, defects, spillway, dam, repair*

Существенно сократить риски возникновения чрезвычайных ситуаций и повысить безопасность гидротехнических сооружений (ГТС) мелиоративных гидроузлов АПК с грунтовой плотиной позволяет наличие региональных программ обеспечения безопасности ГТС (в том числе ГТС, которые имеют собственника, собственник которых неизвестен, либо ГТС, от прав собственности на которые собственник отказался), содержащих комиссионные обследования и периодическую инвентаризацию ГТС, а также, при необходимости, периоды разработки и утверждения декларации безопасности ГТС. В целом это должно привести к минимизации аварий на ГТС, срок эксплуатации которых находится на завершающем этапе.

Республика Тыва расположена в географическом центре Азии на юге Восточной Сибири, в верховьях Енисея. Село Ильинка, вблизи которого располагается исследуемый водный объект, находится в центральной части Республики Тыва. В создании рельефа высокогорных районов республики прослеживается влияние двукратного оледенения, а в поясе среднегорья – эрозионная деятельность рек. Район в соответствии с СП 131.13330.2020 входит в границы суровой строительно-климатической зоны: глубина промерзания 2,36 м; среднегодовая температура воздуха (-5,6°C), самый холодный месяц – январь (-34,0°C); морозный период длится 263 дня; выпадает примерно 356 мм осадков в год. Гидрологические и температурные особенности стока р. Сой в полной мере подтверждают особенности работы малых рек, расположенных в суровых условиях: паводковые стоки имеют большой расход ($Q_{1\%} = 290 \text{ м}^3/\text{с}$), но низкую температуру (0°C...+6°C); меженные стоки – малый расход (около 2...9 $\text{м}^3/\text{с}$), но высокую температуру (+9°C...19°C); средняя продолжительность паводкового периода составляет 15...30 дней, а межени -

примерно 100 дней; до 70% годового стока воды приходится на паводковый период.

Водоём на малой реке Сой создан в 1985 г. с целью обеспечения сезонного регулирования стока, создания объёмов воды для орошения сельхозугодий и для противопаводковой защиты села Сой. Река Сой имеет ширину в межень 30 м, глубину 0,3...7 м, среднюю скорость течения 0,3...0,5 м/с и соответственно в паводок – 100...300 м, 2...2,5 м, 2...2,5 м/с. Река относится к первой категории рыбохозяйственного водопользования. Её дно сложено галечником, песком, а местами и илом. Собственник ГТС - Администрация Каа-Хемского Кожууна Республики Тыва, а эксплуатирующая организация - Министерство лесного хозяйства и природопользования Республики Тыва.

Водохранилищный гидроузел эксплуатируется после ремонта, проведённого в 2007 г., правда, акт приёмки отсутствует. Превышение гребня плотины над НПУ составляет 2,05 м. Анализ обнаруженных дефектов показал, что в настоящий момент износ локальных ГТС составляет более 75%, как и для 1,3 тыс. ГТС, находящихся в ведении Минсельхоза России [1, 5, 8]. В состав гидроузла IV класса опасности входят: земляная плотина высотой 6 м, шириной по гребню 10 м, заложение верхового откоса $m_{\text{фрак}} = 1,07$ с креплением каменной наброской из скального грунта, низового $m_{\text{фрак}} = 1$ с залужением и каменной наброски; трёхпролётный открытый регулируемый водосброс из монолитного железобетона с 3 пролётами по 4 м каждый, оборудованными металлическими плоскими затворами. При проведении анализа результатов натурного визуального обследования гидроузла и имеющихся незначительных проектных материалов выделены следующие дефекты сооружений: эродируют пологие берега водоема, покрытые травянистой растительностью и заросшие кустарниками; на грунтовой дороге, устроенной на гребне плотины хорошо просматривается колея и большая яма на участке контакта с мостовым переходом через водосброс; каменная наброска верхового откоса плотины сползла, сам он деформирован, поверхность откоса покрыта трещинами; два из трех затворов не участвуют в пропуске воды, третий затвор заклинен в верхнем состоянии; механическое оборудование полностью выведено из работы; служебные мостики и подъёмные механизмы отсутствуют; наблюдаются площадные повреждения устоев и быков, есть сквозная продольная трещина на железобетонной стенке берегового устоя; нет льдо- и мусорозадерживающих устройств; вода в водоёме имеет зеленоватый оттенок; пролёты водосливной плотины забиты мусором, а отводящий канал стеснен кустарниковой растительностью, его берега эродированы (рис. 1 и 2).

Не только качественные, но и некоторые количественные критерии безопасности на гидроузле нарушены. Расчёты по блок-схеме и программному комплексу, разработанным в РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева [5-7], показали, что фактический запас гребня плотины над расчётным уровнем воды в водоёме недостаточен. Установлена необходимость досыпки гребня плотины до проектной отметки не менее чем на 0,35 м. Не обеспечена безопасность грунтового подпорного ГТС как по коэффициентам заложения для надводной

части верхового $m_h < m_{нфак}$ и низового откосов плотины $m_l < m_{лфак}$ ($m_h = 3$, $m_l = 1,5$), так и по коэффициентам их устойчивости, рассчитанных методом круглоцилиндрических поверхностей скольжения для случаев, указанных в СП 39.13330.2012. Из-за отсутствия дренажа необходимое заглубление кривой депрессии по отношению к поверхности низового откоса не обеспечивается, поэтому живое сечение фильтрационного потока попадает в зону промерзания. При этом общая фильтрационная прочность комплекса «плотина-основание» и самой плотины обеспечена. Несмотря на это систематизация всех показателей позволила сделать заключение о потенциально опасном техническом состоянии и неудовлетворительном уровне безопасности земляной плотины. Вкупе с потенциально опасным техническим состоянием ещё и водосброса из-за ограниченной возможности пропуска паводковых расходов половодья деформированной регулирующей частью водосброса и невозможностью без ремонта подъёма затворов на пороге водослива, это неизбежно приведёт к повышению уровня в водоёме и переливу потока через гребень плотины, создавая высокую вероятность гидрологической аварии на гидроузле [2,3,5,7].



Рисунок 1 – Дефекты основных элементов гидроузла:

а – колеиность и площадные глубокие ямы на гребне п лотины без захвата боковых кромок гребня; б – трещины, площадные повреждения бетона быка и берегового устоя, мусор в пролёте, дефекты механического оборудования



Рисунок 2 – Сбой потока в нижнем бьефе в момент обследования (фото ООО «СГТ»):

а – работа одного открытого пролёта; б – сбой потока и деградация откосов отводящего участка водотока

Можно констатировать, что в целом мелиоративный гидроузел на р. Сой Енисейского бассейнового округа в Республике Тыва находится в настоящее время в потенциально опасном состоянии с ограниченной работоспособностью и соответственно неудовлетворительным уровнем безопасности. Для обеспечения более высокого уровня безопасности ГТС, исключения вероятности аварии и повышения надёжности работы мелиоративной системы рекомендовано провести работы капитального характера по выполаживанию откосов земляной плотины, наращиванию её гребня, устройству руслового дренажа и ремонту водопропускных сооружений.

При этом анализом опыта работы водосбросных сооружений гидроузлов малого напора (до 10 м), работающих в условиях продолжительных и значительных отрицательных температур, установлено, что основной причиной разрушения является отепляющее воздействие потока воды за летний период на ещё довольно мерзлое основание и в примыканиях с телом плотины. В таких условиях до 67% гидроузлов разрушаются именно из-за аварийного состояния водосбросного сооружения. Сметная стоимость водосбросного сооружения во многих случаях выше стоимости грунтовых плотин, а ремонтные работы на водосбросах не редко требуют затрат, превышающих затраты на строительство всего гидроузла, и чем меньше напор, тем выше относительная стоимость водосбросного сооружения [1,5]. Разность пропускной способности водосброса водохранилища и среднемесячного стока реки Сой, которая может составлять в современных климатических условиях менее 1% за весь меженный период, ясно указывает на то, что длительное время открытый водосброс почти не работает. Стратификация воды в подобных малых водохранилищах, которая наблюдается в них наряду с переформированием стока, объясняется особенностью их гидрологии. Поддерживание существующими на таких гидроузлах водосбросами НПУ, в том числе на пороге дна открытого сбросного канала, способствует тому, что в меженный период по водосбросу проходит самая нагретая верхняя часть потока. Дополнительно вода становится более тёплой от нагретого солнцем бетонного тела водосброса, т.е. происходит «эффект Гольдмана». Тепло, вызывающее деградацию мёрзлого основания открытого водосброса, поступает в основном за счёт инфильтрации воды вдоль трассы водосбросного тракта, а устанавливаемые дренажи вместе с обратными фильтрами на водосбросных ГТС, как правило, способствуют увеличению расхода инфильтрационного потока. Проявление этих эффектов ярко видны на бетонных элементах водосброса данного гидроузла: бетон избилует множеством зон повреждений, например, в границах колебания уровней наблюдаются не только мелкие трещины, сколы, раковины, выкрашивание и отслаивание, а и следы явлений фильтрации через бетон (подтёки, белые пятна, налёты продуктов выщелачивания), нарушения швов и пр., широкая растущая вертикальная трещина, обнаруженная на стенке левого берегового устоя. Исключить все эти недостатки возможно лишь применением при реконструкции или даже текущем ремонте принципиально новых конструктивных схем водосбросов, работающих с оптимальным учётом суровых климатических

условий, комбинируя известные типы открытых и закрытых водопропускных ГТС (например, открытый поверхностный водосброс на свайном основании и трубчатый сифонный водосброс из гладких или гофрированных труб, кульверты и т.п.), обеспечивающих сброс воды совместно или поочерёдно в разные температурные периоды эксплуатации [5,6], исключая тем самым появление фильтрационного потока из водохранилища в нижний бьеф по талому слою основания открытого водосброса и соответствующие фильтрационные деформации, в том числе и контактные.

Расчёт величины возможного ущерба, возникающего в результате гипотетической аварии на гидроузле рассматриваемой мелиоративной системы, был выполнен по программе Волна 14 с оценкой параметров зоны затопления для наиболее вероятного и наиболее тяжёлого из сценариев развития аварии на ГТС [5, 8]. Предварительная оценка показала, что чрезвычайная ситуация в нижнем бьефе плотины вследствие гидродинамической аварии при реализации наиболее тяжёлого сценария будет иметь региональный масштаб с величиной причиненного ущерба около 60 млн. руб. Оценка риска аварии ГТС 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 равна $5,2 \cdot 10^{-2}$.

Таким образом, анализ критериев безопасности ГТС низконапорного мелиоративного гидроузла позволил дать рекомендации по мероприятиям компенсирующих снижение вероятных потерь от гипотетической аварии на ГТС мелиоративной системы. В качестве грунта для проведения ремонтно-восстановительных операций по досыпке гребня плотины и её тела, в том числе и уполаживания откосов, или ликвидации прорана может быть использован местный суглинистый грунт левого берега довольно твердой консистенции с допустимым (до 8%) содержанием разложившихся растительных остатков. Кардинальное решение проблемы обеспечения безопасности малого гидроузла возможно только при максимальном учёте температурных особенностей и гидрологии стока малых рек, а также в разработке и применении единого принципа строительства для всех сооружений при реновации гидроузла. В этой связи были рассмотрены альтернативные варианты использования резервного водосброса и устройств крепления его нижнего бьефа при реконструкции всего гидромелиоративного комплекса, учитывающие современные принципы строительства ГТС в условиях холодного климата и мёрзлого основания.

Работа выполнена за счет средств гранта Российского научного фонда № 23-29-00928, <https://rscf.ru/project/23-29-00928/>.

Список использованных источников

1. Балакай, Г.Т. Безопасность бесхозяйных гидротехнических сооружений мелиоративного водохозяйственного комплекса / Г.Т. Балакай, И.Ф. Юрченко, Е.А. Лентьева, Г.Х. Ялалова. - Германия: LAP LAMBERT, 2016. - 85 с
2. Бандурин, М.А. 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.
3. Волков, В.И. Экспресс-методика обследования с оценкой достаточности превышения гребня грунтовой плотины / В.И. Волков // Природообустройство. - 2019. - № 2. - С. 66-72.
4. Жезмер, В.Б. Принципы обеспечения эффективной и безопасной работы ГТС гидромелиоративного комплекса / В.Б. Жезмер, А.В. Матвеев // Мелиорация и водное хозяйство. - 2019. - № 2. - С. 5–11.
5. Черных, О.Н. Обеспечение безопасности гидротехнических сооружений мелиоративного гидроузла с грунтовой плотинной: учебное пособие / О.Н. Черных, А.В. Бурлаченко. - М.: РГАУ-МСХА, 2022. - 172 с.
6. Черных, О.Н. Специфика реконструкции бесхозяйных плотин / О.Н. Черных, М.А. Сабитов, А.В. Бурлаченко // Природообустройство. - 2017. - № 2. - С. 12-20.
7. Черных, О.Н. Оценка безопасности водосбросных сооружений при грунтовых плотинах: учебное пособие / О.Н. Черных, В.И. Волков. - М.: РГАУ-МСХА, 2019. - 118 с.
8. Щедрин, В.Н. Обеспечение безопасности и надёжности низконапорных гидротехнических сооружений: монография / В.Н. Щедрин, Ю.М. Косиченко, О.А. Баев. - Новочеркасск: РосНИИПМ, 2016. - 283 с.

References

1. Balakai, G.T. Safety of ownerless hydraulic structures of the meliorative water management complex / G.T. Balakai, I.F. Yurchenko, E.A. Lentyaeva, G.H. Yalalova. - Germany: LAP LAMBERT, 2016. - 85 s
2. Bandurin, M.A. Monitoring assessment of the low-pressure earthen dam of the Varnavinsky reservoir in conditions of increasing risk of natural and man-made disasters / M.A. Bandurin, V.A. Volosukhin, I.A. Prikhodko, A.A. Rudenko // Construction and Geotechnics. - 2022. - Vol. 13. - No. 4. - pp. 17-29. DOI: 10.15593/2224-9826/2022.4.02 .
3. Volkov, V.I. Express-examination methodology with an assessment of the sufficiency of exceeding the crest of a soil dam / V.I. Volkov // Nature management. - 2019. - No. 2. - pp. 66-72.
4. Zhezmer, V.B. Principles of ensuring effective and safe operation of the GTS of the hydro-reclamation complex / V.B. Zhezmer, A.V. Matveev // Melioration and water management. - 2019. - No. 2. - pp. 5-11.
5. Chernykh, O.N. Ensuring the safety of hydraulic structures of a reclamation waterworks with a soil dam: textbook / O.N. Chernykh, A.V. Burlachenko. - М.: RGAU-MSHA, 2022. - 172 p.
6. Chernykh, O.N. Specificity of reconstruction of ownerless dams / O.N. Chernykh, M.A. Sabitov, A.V. Burlachenko // Nature management. - 2017. - No. 2. - pp. 12-20.
7. Chernykh, O.N. Assessment of the safety of spillway structures at ground dams: textbook / O.N. Chernykh, V.I. Volkov. - М.: RGAU-MSHA, 2019. - 118 p.
8. Shchedrin, V.N. Ensuring the safety and reliability of low-pressure hydraulic structures: monograph / V.N. Shchedrin, Yu.M. Kosichenko, O.A. Baev. Novocherkassk: RosNIIPM, 2016. - 283 p.

УДК 631.6

DOI 10.37738/VNIIGIM.2024.98.21.058

ВОДНЫЕ ОБЪЕКТЫ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИЕ УСТОЙЧИВОЕ ОРОШЕНИЕ МЕЛИОРИРУЕМЫХ ЗЕМЕЛЬ РЕСПУБЛИКИ КРЫМ

Чивилёв Н.Г.

ФГБНУ «ФНЦ ВНИИГиМ имени А.Н. Костякова», г. Москва, Российская Федерация

Аннотация. В работе оценены водные ресурсы и водные объекты, обеспечивающие орошение сельскохозяйственных земель Республики Крым. Были произведены расчеты