

• МЕЛИОРАЦИЯ •

УДК 519.216.3: 627.8

ОПЕРАТИВНЫЙ КОНТРОЛЬ СОСТОЯНИЯ БЕРЕГОВ И ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ НА ВОДОХРАНИЛИЩАХ С ПОМОЩЬЮ НАЗЕМНОЙ И ДИСТАНЦИОННОЙ СЪЕМОК

В. Е. Левкевич¹, доктор технических наук

В. А. Мильман², кандидат физико-математических наук

С. В. Решетник², научный сотрудник

¹Университет гражданской защиты МЧС Беларуси, г. Минск, Беларусь

²Объединенный институт проблем информатики Национальной академии наук Беларуси,
г. Минск, Беларусь

Аннотация

Приведен анализ разрушений укрепленных и неукрепленных берегов водных объектов Беларуси, повреждений и деформаций гидротехнических сооружений (ГТС) на водохранилищах и прудах. Выявлены наиболее распространенные разрушения и повреждения, отмечены возможные чрезвычайные ситуации вследствие этих разрушений и повреждений. Для оперативного контроля за состоянием берегов и ГТС предлагается использовать как наземную фотосъемку, так и фотосъемку с беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). Указано, какие разрушения и повреждения могут быть выявлены по снимкам с БПЛА, а какие требуют исследований на земле.

Ключевые слова: водохранилище, гидротехническое сооружение, откос, крепление, повреждение, деформация, фотосъемка, беспилотный летательный аппарат (БПЛА).

Abstract

V. E. Levkevich, V. A. Milman, S. V. Reshetnik

OPERATIONAL CONTROL OF THE CONDITION OF SHORES AND HYDRAULIC STRUCTURES ON RESER- VOIRS USING GROUND AND REMOTE SURVEYING

The article analyzes the destruction of fortified and unfortified shores of water bodies in Belarus, damage and deformation of hydro-technical structures on reservoirs and ponds. The most common destruction and damage are identified, and possible emergencies due to these destructions and damage are noted. It is proposed to use both ground-based photography and photography from unmanned aerial vehicles (UAV) for operational monitoring of the state of shores and hydro-technical structures. It is indicated which destruction and damage can be identified from UAV images, and which require research on the ground.

Keywords: reservoir, hydrotechnical structure, slope, fastening, damage, deformation, photography, unmanned aerial vehicle (UAV).

Введение

На территории Республики Беларусь в настоящее время создано и эксплуатируется свыше 150 искусственных водных объектов (водохранилищ, прудов) различного назначения. Около 70 % из них относится к водохранилищам мелиоративного назначения, используемым для орошения, обводнения, осушения. По характеру наполнения это водоемы руслового и наливного типов.

Все указанные водоемы характеризуются как гидродинамически опасные объекты, на которых возможны чрезвычайные ситуации (ЧС) гидродинамического типа: прорывы пло-

тин (дамб, шлюзов) с угрозой жизни и здоровью людей, затоплениями жилых построек и хозяйственных объектов. Такие неблагоприятные процессы, как подтопление прибрежных территорий, разрушение берегов, не являются ЧС, однако и они могут привести к серьезному материальному ущербу.

Вопросы безопасности эксплуатации водных объектов Беларуси актуальны по нескольким причинам. Большая часть существующих объектов имеет период эксплуатации более 40 лет. Накопившиеся за это время повреждения и деформации на гидротехнических со-

оружениях в ряде случаев приводят к аварийным ситуациям (см. рис. 1).

В Беларуси в результате климатических трансформаций изменились метеорологические и гидрологические условия на водных объектах, а вследствие экономических преобразований стал иным режим хозяйственного использования ряда водных объектов. В 2012–2017 гг. в нашей стране построены Гродненская и Витебская ГЭС с водохранилищами. На ряде старых водохранилищ установлены малые ГЭС, что привело к трансформации уровня режима. Насущной необходимостью стало обеспечение безопасности как новых, так и обновленных объектов.

Первостепенное значение в обеспечении безопасности водных объектов имеет контроль состояния ГТС и берегов водоемов. Как правило, он осуществляется субъектами, эксплуатирующими объект хозяйствования, и местными властями. В тех случаях, когда есть опасность ЧС, в контроле должны участвовать органы МЧС. Плановые контрольные мероприятия дают наиболее полную информацию, но требуют значительных временных затрат.

В ряде особых случаев необходим оперативный контроль состояния ГТС и берегов водных объектов в следующие периоды:

- сразу после экстремальных природных явлений, способных повредить берега и ГТС

(ураганы, сильное ветровое волнение, сильные паводки, сильный ледоход);

- перед прогнозируемыми экстремальными природными явлениями;
- после крупных аварий на водных объектах Беларуси и в сопредельных странах.

На сегодняшний день методическая база оперативного контроля состояния ГТС и берегов отсутствует. Для разработки такой базы необходимо предварительно решить следующие задачи:

а) исследовать в реальных условиях процессы разрушения, подтопления на берегах водных объектов, выделить наиболее частые и опасные проявления;

б) обследовать и классифицировать повреждения и деформации ГТС на искусственных водных объектах, выявить наиболее частые и опасные повреждения;

в) предложить технические средства, которые обеспечат оперативную фиксацию и документирование разрушений берегов и наиболее распространенных и опасных повреждений ГТС.

Для фиксации неблагоприятных процессов нами предлагается использовать наземную фотосъемку и фотосъемку с БПЛА. Установлено, какие разрушения и повреждения могут быть выявлены по снимкам с этих аппаратов, а какие требуют наземной фотосъемки.



Рис. 1. Авария на гидроузле водохранилища Млынок

Объекты и методы исследования

Объекты исследований – берега водохранилищ Беларуси, а также ГТС, подвергающиеся разрушению и повреждению под воздействием природных факторов. В рамках государственных программ научных исследований в последнее десятилетие специалисты учреждений НАН Беларуси, высших учебных заведений Минска и МЧС Республики Беларусь обследовали все крупные водохранилища на территории страны и более половины всех мелких водохранилищ. В ходе обследований фиксировалось состояние ГТС и значительной части берегов. Выявлялись участки берегов, откосов дамб и плотин с видимыми разрушениями и повреждениями, измерялись размеры разрушений и повреждений, данные анализировались. Обсуждение результатов обследований и легло в основу публикаций [1–6 и др.].

После создания новых крупных водохранилищ (Гродненской и Витебской ГЭС) с протяженными берегами появилась задача ускорения процесса обследования и возник вопрос о целесообразности использования для этого БПЛА: какие полные/частичные разрушения и повреждения видны на фотоснимках с этих аппаратов, а какие требуют наземной фиксации? Для ответа на вопрос были выполнены экспериментальные фотосъемки: береговые повреждения и ГТС фотографировались с земли и при помощи беспилотников; фотографии сравнивались между собой. По результатам сравнения делался вывод об информативности фотосъемки с БПЛА. Для эксперименталь-

ных съемок использовался квадрокоптер модели DJI Phantom 3 Professional (рис. 2).

Было установлено, что съемка с летательного аппарата информативна для всех случаев разрушений берегов и повреждений откосов плотин.

Зафиксированные при обследовании неблагоприятные явления можно разделить на следующие группы:

- разрушения неукрепленных берегов;
- повреждения и деформации земляных дамб и плотин, повреждения укрепленных берегов и укрепленных откосов дамб и плотин;
- повреждения бетонных водосбросных и водопропускных сооружений.

Также обнаружены подтопления прибрежных территорий, которые рассмотрены в [7].



Рис. 2. Квадрокоптер модели DJI Phantom 3 Professional

Разрушения (переработка) неукрепленных берегов водных объектов

После создания нового водохранилища активно формируется его береговая зона: берега разрушаются под воздействием таких различных гидродинамических факторов, как ветровое волнение, колебание уровней, течений, ледовых явлений [1, 2, 8, 9]. Эти процессы называются абразией. Берега подвержены эрозии – разрушению под действием ветра и атмосферных осадков; течения грунтовых вод также негативно влияют на берега [1]. Через определенный период (иногда и через десятки лет) происходит их стабилизация. Если уровень режим водохранилища меняется,

абразионный процесс снова усиливается и форма берега трансформируется до достижения нового равновесного состояния.

Процесс разрушения (переработки) берегов проходит ряд стадий. После создания водохранилища частицы грунта начинают перемещаться с берега в прибрежную часть акватории. Ведущую роль в этом процессе играют ветровые волны и течения, велико воздействие гравитационных сил и дождевых стоков. В зависимости от интенсивности волн, крутизны берегового склона, характера грунтов и ряда других факторов рано или поздно

формируются береговая отмель и абразионная береговая терраса (пляж, бенч). За абразионной террасой располагается клиф – крутой абразионный обрыв, образующийся в результате разрушения высокого коренного берега под действием абразионных факторов. Клиф постепенно отступает в сторону суши, увеличивая ширину абразионной береговой террасы. Его морфология зависит от состава и структуры пород, слагающих берег. Отмель и терраса гасят энергию волн и препятствуют разрушительному действию течений, вследствие чего процесс переработки берега постепенно угасает.

Признаками угасания переработки и стабилизации берега являются: 1) образование отмели и пляжа, 2) зарастание обрыва растительностью, препятствующей его разрушению под действием гравитации и эрозии. В случае пологого берега клиф не образуется или имеет незначительную высоту.

Еще отмечается спрямление береговой линии. Если в начальный период эксплуатации водохранилища она имеет вид чередующихся мысов и заливов, то с течением времени под действием течений ее форма становится значительно ближе к прямолинейной.

Таким образом, форма береговой линии может служить косвенным признаком стабилизации процесса переработки берега.

Подробнее процесс разрушения берегов водохранилищ и определяющие его обстоятельства описаны в [1, 8, 10]. В [1] выделены характерные для условий Беларуси разрушающие факторы, а также типы и формы абразионных берегов. Величина S_i линейной переработки берега (S_i) на отдельных водохранилищах Беларуси достигает 35 м [1]; высота абразионного обрыва в крайних случаях – 12 м. Примеры абразионных берегов приведены на рис. 3–5.

Разрушение берега водохранилища, не являясь само по себе чрезвычайной ситуацией, может привести к значительному материальному ущербу, так как под угрозой оказываются хозяйственные и жилые постройки, линии электропередач, дороги – в результате особенно часто теряются пахотные земли и лесные угодья [1]. Значительные повреждения наносятся рекреационному потенциалу водохранилищ, бывают случаи непосредственного разрушения территории зоны отдыха (рис. 3); деревья и кустарники падают в воду под действием абразионных разрушений (рис. 3, 4), что весьма опасно для жизни и здоровья купающихся. Процессы переработки берегов выражены, в частности, на таких крупных и средних водохранилищах Беларуси, как Вилейское, Заславское, Дубровское, Вяча, водохранилище Гродненской ГЭС [1].



Рис. 3. Абразионные берега на Вилейском водохранилище



Рис. 4. Разрушенный берег с упавшими в воду деревьями
(водохранилище Гродненской ГЭС)



Рис. 5. Переработка береговых склонов и поврежденные лесные угодья
(район Заславского водохранилища)

Традиционный подход к контролю процесса переработки берегов – это проведение наземных обследований с выездом специалистов на место разрушения, разбивкой береговой линии на створы, измерением линейной переработки берега и других показателей в каждом створе, документированием фактов ущерба.

Для измерения параметров, характеризующих абразионный процесс, целесообразно использовать средства спутниковой геодезии. Геодезический спутниковый приемник, работающий в геодезическом фазовом режиме

с применением сигналов корректирующих станций, позволяет определять разности координат точек в трех измерениях с ошибкой, не превышающей нескольких сантиметров [11]. Результаты наземных обследований целесообразно заносить в специальную базу данных, чтобы впоследствии анализировать динамику переработки берегов. С учетом того, что береговая линия ряда водохранилищ превышает 100 км, а длина абразионных берегов на одном водохранилище может быть более 10 км, традиционный контроль процесса переработки – дело трудоемкое.

Наиболее всеобъемлющий подход к контролю за состоянием берегов водохранилищ – это создание комплексной системы мониторинга берегов, предложенной в [1], однако это требует значительных материальных и организационных усилий. Нельзя исключить и традиционный подход к контролю, но в дополнение к нему и комплексной системе мониторинга целесообразно иметь средства оперативного контроля берегов водохранилищ.

Таким средством может стать БПЛА, оснащенный видеокамерой. У современных беспилотников имеется техническая возможность облететь водохранилище над береговой линией и сделать фотосъемку берегов. Полет может осуществляться под управлением человека-оператора либо по полетному заданию, подготовленному заранее, с навигацией по системам GNSS (GPS, ГЛОНАСС). Возможны и смешанные режимы полета, когда летательный аппарат прибывает в заданную точку с помощью навигационной системы, а затем маневрирует под управлением оператора. На крупных водохранилищах (Вилейском, водохранилище Гродненской ГЭС и др.) суммарная длина потенциально опасных участков берега может достигать десятков километров. Облет всех таких зон на одном водохранилище может быть выполнен за несколько часов (точная цифра зависит от типа БПЛА). Беспилотник позволяет быстро зафиксировать на снимках состояние берегов в труднодоступных местах и там, где требуется съемка берега со стороны акватории. Без использования названного аппарата работа по фотофиксации состояния берегов на крупном водохранилище может занять несколько рабочих дней.

В ходе исследования проводились экспериментальные съемки берегов водохранилищ с БПЛА (см. рис. 6, а, б).

Установлено, что при фотосъемке с данных аппаратов хорошо различимы следующие факты, важные для оценки состояния абразионного берега: примерные размеры абразионной террасы, крутизна и высота клифа; образование отмели, зарастание обрыва растительностью, повреждения леса и падения деревьев в воду; приблизительное расстояние от обрыва до ближайших хозяйственных или рекреационных объектов. По снимкам с БПЛА можно оценить степень спрямления берего-

вой линии, а о характере грунтов, образующих берег, можно судить не по снимкам, а непосредственно прощупывая грунт пальцами.

На основе фотосъемки при помощи беспилотника могут быть сделаны предварительные суждения о стабилизации процесса переработки берегов: в частности, выявлены участки, где разрушения несут непосредственную угрозу жизни и здоровью людей, хозяйственным объектам, лесным угодьям. Однако такая фотосъемка полностью не заменит наземные обследования разрушающихся берегов: именно в ходе последних могут быть измерены величина линейной переработки, высота клифа, расстояние от обрыва до леса или хозяйственных объектов. Факты, установленные при съемке с летательного аппарата, могут послужить сигналом для инициирования и планирования наземных обследований.

Обследование повреждений и деформаций земляных дамб и плотин, укрепленных берегов и откосов

Почти все дамбы и плотины на водных объектах Беларуси являются земляными. Их повреждения и деформации условно делятся на повреждения гребня, верхового и низового откосов.

Типичная деформация гребня плотины – проседание под действием силы тяжести. Проседание может быть следствием ошибок проектирования, некачественного строительства или эксплуатации сооружения дольше нормативного срока. Если повреждение гребня плотины достаточно велико, то в период паводков в месте повреждения гребня возможен перелив воды через плотину, в худшем случае – прорыв плотины.

Повреждение неукрепленного верхового и низового откосов земляной плотины происходит по тем же причинам, что и повреждение неукрепленного берега. Ветровые волны, течения, атмосферные осадки воздействуют на откос плотины и выносят частицы грунта. Вынос грунта может наблюдаться по длине всей плотины, также могут образовываться локальные повреждения (см. рис. 7).

Если указанные процессы не остановить, это может привести к формированию прорана с последующим прорывом плотины.

а



б



Рис. 6. Абразионные берега, снятые с беспилотника
(Заславское водохранилище)



Рис. 7. Измерение размеров локального повреждения
неукрепленного верхового откоса плотины (водохранилище Вяча)

На низовом откосе земляной плотины может проявляться суффозия, то есть процесс механического выноса из грунтов мелких частиц фильтрационным потоком воды через тело плотины. Выраженный суффозионный вынос грунта означает потерю фильтрационной устойчивости плотины и с большой вероятностью приведет к прорыву плотины. Особая опасность этого явления заключается в том, что прорыв может случиться неожиданно, без подъема уровня воды в водохранилище. Суффозия, по мнению М. Р. Бакиева, – одна из причин самых катастрофических аварий на грунтовых плотинах в мире [12]. Суффозионный вынос грунта может стать дополнительным основанием к проседанию гребня плотины, что внешне проявляется просачиванием воды на низовом откосе с оплыванием грунта.

Для защиты разрушаемых берегов водохранилищ, откосов дамб и плотин проводятся различные **берегозащитные мероприятия** [13]. В данной статье подробно рассматриваются только крепления с помощью бетонных и железобетонных покрытий, наиболее распространенные в Беларуси. Они применяются в виде как монолитных плит, бетонизируемых на месте, так и сборно-монолитных. Монолитные крепления выполняются из плит толщиной до 20 см на слое гравия 10–15 см. Плиты разрезаются температурно-осадочными швами по всей высоте откоса. Расстояние между швами 5–10 м. Сборно-монолитные крепления производятся из отделочных плит размерами от 40 до 175 см. Слой гравийной подготовки – до 20 см.

Под воздействием внешних воздействий (ветро-волновых, ледовых, температурных) железобетонные крепления могут разрушаться с возможной потерей местной и общей устойчивости грунтового откоса. Процесс разрушения названных креплений проходит ряд стадий. Первым и самым распространенным повреждением является раскрытие швов между плитами крепления (рис. 8).

Под действием ветровых волн, изменения уровня воды в водохранилище и других факторов из раскрытого шва начинается вынос грунта, а постепенно и из-под плиты. Этот процесс может зайти достаточно далеко и привести к потере устойчивости укрепленного откоса. На рис. 9 показано состояние укрепленного отко-

са плотины на водохранилище Млынок, где в 2011 г. произошел ее прорыв (в настоящее время водохранилище восстановлено).

Часто при выносе грунта плиты крепления трескаются, ломаются и смещаются. Примеры приведены на рис. 10–12.

Само по себе повреждение укрепленного откоса плотины, как правило, не несет немедленной угрозы ЧС, однако в случае экстренного поднятия уровня воды в водохранилище с поврежденными откосами повышается вероятность прорыва плотины.



Рис. 8. Раскрытие швов между плитами крепления на водохранилище Зельва



Рис. 9. Вынос грунта из-под плит крепления откоса плотины (водохранилище Млынок)



Рис. 10. Разрушение крепления берега на Дубровском водохранилище (снимок с беспилотника)



Рис. 11. Разрушение крепления берега (Чигиринское водохранилище)



Рис. 12. Разрушение крепления берега (Лепельское водохранилище)

Для установления возможности регистрации вышеперечисленных повреждений укрепленных берегов и откосов по снимкам с БПЛА производились экспериментальные полеты над откосом плотины Дубровского водохранилища. Верховой откос плотины, укрепленный бетонными плитами, находится в хорошем состоянии, имеются только начальные признаки раскрытия швов между плитами, которые просматриваются на снимке с беспилотника (рис. 13). Более выраженные повреждения откосов и берегов, такие как на рис. 8–12, хорошо различимы на снимках с летающих аппаратов.

Использование съемки с БПЛА способно сократить время обследования плотины, дамбы, укрепленного берега в тех случаях, когда протяженность обследуемого объекта составляет более одного километра. В Беларуси такие растянутые объекты есть на Вилейском, Заславском, Солигорском, Дубровском и некоторых других водохранилищах. Если же суммарная длина данных объектов менее километра, то существенного сокращения времени обследования по сравнению с традиционным наземным ждать не следует. Беспилотник может быть полезен, когда фотоснимок необходимо получить со стороны акватории водохранилища или сверху. Некоторые виды повреждений плотин, таких как суффозионный вынос грунта, небольшие просадки, вынос грунта из-под плит крепления, лучше фиксировать в ходе наземных обследований.

Фиксация повреждений водосбросных и водопропускных сооружений

Большинство искусственных водных объектов Беларуси имеют в составе бетонные

либо железобетонные водосбросные (водопропускные) сооружения.

Повреждения таких сооружений – это либо просадки, либо повреждения бетонных (железобетонных) конструкций, либо повреждения и деформации затворов. Часто наблюдаются сколы, трещины и выбоины бетонных конструкций, выход наружу и коррозия металлической арматуры. Эти нарушения носят, как правило, локальный характер. Иногда наблюдаются видимые деформации бетонных конструкций. Основная опасность повреждений водосбросных сооружений заключается в возможном заклинивании затворов в тот момент, когда необходимо срочно произвести сброс определенного объема воды из водохранилища во время паводка. В итоге это может привести к недопустимому подъему уровня воды и переливу через гребень плотины с последующей гидродинамической аварией.

При экстренных проверках состояния водосбросных сооружений ограничиваются в основном внешним осмотром и фотофиксацией повреждений: осматривается только надводная часть сооружений, работа затворов водосброса в динамике не проверяется. Более широкая и детальная проверка состояния водосбросных сооружений требует значительной технической и организационной подготовки, больших временных затрат [14].

Примеры повреждений бетонных водосбросных сооружений приведены на рис. 14, 15.

Нами рассмотрены наиболее важные аспекты самых распространенных разрушительных процессов на водохранилищах Беларуси, однако и их достаточно для нижеследующих выводов.



Рис. 13. Укрепленный откос плотины на Дубровском водохранилище



Рис. 14. Повреждение (скол бетона) водосбросных сооружений (водохранилище около Острошицкого Городка)



Рис. 15. Просадка и видимая деформация водосбросных сооружений (Любашевское водохранилище)

Выводы

1. На водохранилищах Беларуси развиваются процессы, опасные для жизни и здоровья людей, способные привести к существенному экономическому ущербу. Наиболее распространены: абразионное разрушение неукрепленных берегов; повреждения земляных дамб и плотин, укрепленных откосов дамб и плотин, укрепленных берегов; подтопление прибрежных территорий. За этими явлениями необходимо регулярное наблюдение. В особых случаях, отмеченных во введении, необходим оперативный контроль состояния ГТС и берегов водохранилищ.

2. Дистанционная фотосъемка с БПЛА может стать эффективным средством оперативного контроля состояния ГТС и берегов водохранилищ, что позволит зафиксировать факт развития большинства опасных процессов, приблизительно оценить степень их развития, выявить места наибольшей опасности. Фотосъемка с летательного аппарата выполняется быстро, охватывает большие расстояния, и это особенно удобно при обследовании длинных берегов и плотин. С помощью фотосъемки с БПЛА можно обследовать объекты в трудно-

доступных местах, получать снимки со стороны акватории и сверху.

3. Определенную информацию о повреждениях ГТС и ряд важных параметров процесса абразионного разрушения берегов можно получить только в результате наземных об-

следований, измерений и фотосъемки. Фотосъемка с БПЛА может служить основой для планирования последующих наземных обследований. Использование беспилотников не отменяет работ на земле, а дополняет их.

Библиографический список

1. Левкевич, В. Е. Динамическая устойчивость берегов водохранилищ Беларуси / В. Е. Левкевич. – Минск : Право и экономика, 2015. – 307 с.
2. Левкевич, В. Е. Динамика береговых процессов русловых, наливных и озерных водохранилищ Беларуси / В. Е. Левкевич. – Минск : Право и экономика, 2015. – 202 с.
3. Кобяк, В. В. Результаты лабораторных и натурных исследований береговых процессов водохранилищ Беларуси / В. В. Кобяк // Вестн. Команд.-инженер. ин-та МЧС Респ. Беларусь. – 2011. – № 1 (13). – С. 15–24.
4. Бузук, А. В. Критерий устойчивости откосов подпорных сооружений и берегов водохранилищ с деформированным железобетонным креплением / А. В. Бузук // Мелиорация. – 2018. – № 4 (86). – С. 24–30.
5. Повреждения подпорных гидротехнических сооружений на искусственных водоемах Беларуси как фактор риска гидродинамических аварий / Г. И. Касперов, В. Е. Левкевич, В. А. Мильман, Л. В. Бокуть // Тр. БГТУ. Серия 1. – 2018. – № 2. – С. 259–265.
6. Левкевич, В. Е. Научно-технические разработки по анализу состояния водных объектов Беларуси для предотвращения чрезвычайных ситуаций / В. Е. Левкевич, В. А. Мильман, А. Н. Крючков // Информатика. Спец. выпуск «60 лет ОИПИ НАН Беларуси». – 2025. – С. 129–134.
7. Оценка параметров зоны подтопления прибрежных территорий водохранилищ Беларуси с помощью беспилотных летательных аппаратов / В. Е. Левкевич, В. А. Мильман, С. В. Решетник, А. А. Артемчик // Мелиорация. – 2023. – № 1 (103). – С. 21–30.
8. Пышкин, Б. А. Динамика берегов водохранилищ / Б. А. Пышкин. – Киев : Наукова думка, 1973. – 416 с.
9. Максимчук, В. Л. Рациональное использование и охрана берегов водохранилищ / В. Л. Максимчук. – Киев : Будівельник, 1981. – 112 с.
10. Финаров, Д. П. Геоморфологический анализ и прогнозирование переформирования береговой зоны и дна водохранилищ / Д. П. Финаров. – Ленинград : Наука, 1986. – 228 с.
11. Шануров, Г. А. Спутниковая геодезия : учеб. пособие / Г. А. Шануров. – Москва : Моск. гос. ун-т геодезии и картографии, 2015. – 80 с.
12. Бакиев, М. Р. Анализ проблем надежной и безопасной эксплуатации грунтовых плотин водохранилищных гидроузлов / М. Р. Бакиев // Irrigatsiya va melioratsiya. – 2018. – № 3 (13). – С. 14–17.
13. Левкевич, В. Е. Крепление берегов и верховых откосов подпорных сооружений гидроузлов Беларуси / В. Е. Левкевич. – Минск : БНТУ, 2019. – 172 с.
14. Левкевич, В. Е. О методике проведения натурных обследований гидротехнических сооружений на искусственных водных объектах Беларуси / В. Е. Левкевич, В. А. Малашевич, Г. Ф. Ласута // Вестн. Команд.-инженер. ин-та МЧС Респ. Беларусь. – 2013. – № 2 (18). – С. 102–108.

Поступила 7 апреля 2025 г.