

Литература

1. Левкевич, В. Е. Оценка ущерба от абразионных риск-процессов на водных объектах Республики Беларусь / В. Е. Левкевич, В. В. Кобяк, С. М. Пастухов, М. С. Кукушинов, А. В. Бузук // Вест. Ком.-инж. ин-та МЧС Респ. Беларусь. – 2008. – № 2(8). – С. 69–72.
2. Левкевич, В. Е. Переработка берегов малых равнинных водохранилищ мелиоративных систем, её прогноз и управление (на примере Белорусской ССР): дис. канд. техн. наук: 06.01.02 / В. Е. Левкевич. – Минск, 1986. – 135 с.
3. Широков, В. М. Методические рекомендации по оценке воздействий малых водохранилищ на окружающую среду / В. М. Широков, П. С. Лопух, В. Е. Левкевич; под ред. В. М. Широкова. – Минск: Белгосуниверситет, 1995. – 68 с.
4. Кобяк, В. В. Результаты лабораторных и натуральных исследований береговых процессов водохранилищ Беларуси // В. В. Кобяк // Весн. Ком.-инж. ин-та МЧС Респ. Беларусь. – 2011. – № 1 (13). – С. 15–22.
5. Переработка берегов малых водохранилищ. Ч. IV. Основные выводы из результатов наблюдений и исследований 1961 г.: отчет о НИР / Белорусский политехнический ин-т; рук. темы М. Т. Солдаткин. – Минск, 1962. – 57 с.

УДК 631.459.31+627.8

Анализ причин и последствий гидродинамических аварий на водных объектах, связанных с разрушением береговых склонов

Бузук А. В., Кобяк В. В., Миканович Д. С.
Университет гражданской защиты МЧС Республики Беларусь
Минск, Республика Беларусь

Приведены сведения об авариях на гидротехнических объектах в мировой практике и в Беларуси, вызванные разрушением береговых склонов, проанализированы их причины, отмечены основные направления по предотвращению чрезвычайных ситуаций.

Анализ литературных и справочных материалов, картографических изданий указывает на наличие большого количества водных объектов в непосредственной близости от городов, где проживает достаточно большое количество людей. Особенность такого расположения объясняется хозяйственно-питьевыми, рекреационными, промышленными и другими нуждами, в том числе и для устройства гидроэлектростанций [1]. Принимая во внимание все положительные стороны при эксплуатации гидротехнических сооружений (далее – ГТС), стоит учитывать и возможность возникновения

гидродинамических аварий с повреждением и разрушением плотин (дамб, шлюзов, перемычек), образованием волн вытеснения и волн прорыва, образованием зон затопления, сопровождающихся большим ущербом. Наиболее разрушительной является образование волны вытеснения при обвалах и оползнях пород большой массы.

Территория Республики Беларусь является водоразделом бассейнов Балтийского и Черного морей. Примерно 55 процентов речного стока приходится на реки бассейна Черного моря и 45 процентов – Балтийского. По территории республики протекает семь больших рек (Западная Двина, Западный Буг, Неман, Днепр, Припять, Виляя, Березина). Реки и их притоки питают водой искусственно созданные водохранилища, пруды, а также и озера [2].

В работах многих авторов надежность плотин и водохранилищ, построенных в разных странах мира, характеризуется на достаточно высоком уровне [3]. Несколько таких объектов продолжают по сегодняшний день безотказно работать, к примеру, плотина Khlongkathun в Таиланде построена в 543 г. до н.э. (эксплуатируется уже более 2500 лет).

Аварии на ГТС случаются ежегодно и сопровождаются катастрофическими последствиями. Случаи фиксируются во многих странах мира, но далеко не везде становятся известны не только широкой общественности, но и специалистам. С учетом данных мировой статистики, в среднем за последние 100 лет, начиная с 1900 года, ежегодный риск разрушений и повреждений бетонных плотин составляет соответственно $0,34 \times 10^{-4}$ и $0,45 \times 10^{-3}$ 1/год, при этом ежегодный риск человеческих жертв аварий всех типов плотин составляет $5,110^{-8}$ [4].

Нормы различных стран оценивают вероятность возникновения аварий $10^{-3} \div 10^{-5}$ 1/год как безопасное значение. Вероятность аварий на ГТС имеет тенденцию роста, особенно после их эксплуатации более 30 лет [4]. В Республике Беларусь 57 водохранилищ эксплуатируются более 30 лет, что составляет 37,7 % от их общего числа.

Данные бюллетеня Международной комиссии по большим плотинам ICOLD (International commission of Large Dams) показывают [5]:

- на больших плотинах (высотой более 15 м) 45-50 % аварий связано с недостаточной надежностью основания, 27-37 % – с недостаточной водопропускной способностью и 7-14 % – с низким качеством работ;
- за период с 1830 по 1986 г.г. в 43 странах мира произошли 534 аварии на 466 плотинах;
- на плотинах высотой свыше 15, построенных с 1900 по 1975 гг., произошло 290 аварий (из них 200 аварий носили катастрофический характер);
- в прошлом столетии на малых плотинах произошло 78 аварий, на плотинах высотой от 5 до 15 метров – 98 аварий, на строящихся плотинах – 68 аварий и инцидентов.

Причины аварий на водных объектах обуславливаются разнообразием климатических, топографических, геологических, гидрогеологических факторов и условий в створах плотин, а также их неблагоприятным сочетанием. Важную роль играет конструкция плотин, свойства материалов, использованных при их возведении, и применяемая технология строительства. Показатель надежности зависит не только от качества построенного сооружения, но и от качества обслуживания в процессе эксплуатации.

Основными причинами возникновения наиболее разрушительных аварий на ГТС являлись:

- сверхрасчётные (катастрофические) паводки: речная дамба на р. Янцзы (Китай), Зербино (Италия), Мольпасье (Франция), Орос (Бразилия), Болдуни Хилз (США), «Большая вода» (р. Эльба, Германия), Пасни (Пакистан), р. Чу (Вьетнам);
- ошибки при проектировании и строительстве: Сент-Франсис (США), Бейлис (США), Става (Италия);
- горные обвалы и сели: плотина Вайонт (Италия), Лития Бей на Аляске (США), Хоук Крик (США), Лейк Леон (Норвегия), р. Колумбия (США);
- чрезвычайные ситуации (далее – ЧС), связанные с горными обвалами и селевыми потоками, привели к большому количеству пострадавших и значительному материальному ущербу.

В результате схода оползня на плотине Вайонт пострадало более 4 тысяч человек. Такая проблема существует и в наше время, на укрепление берегов китайской ГЭС на реке Янцзы («Три ущелья») выделяется более \$1,5 млрд.

Разрушение береговых склонов водохранилища, откосов плотины имеют повторяющийся для большинства объектов характер. Современные технологии строительства позволяют размещать ГТС в сейсмоактивных районах, однако безопасность объекта значительно уменьшается. Монолитные бетонные конструкции не теряют своих функций, но вытесненный волной и подтоплением территории объем воды наносит ущерб в нижнем бьефе. Обрушению берегов могут предшествовать подъемы уровня воды, критические паводки, обильное выпадение осадков. Смачивание частиц грунта приводит к увеличению массы породы, ее частичной целостности в объеме, повышению скольжения по глинистым и суглинистым пластам грунта. В разрушении берегов важную роль играет волновое воздействие ветра, судов, изменение уровня воды.

В Республике Беларусь для реки Неман характерны песчаные и суглинистые основания берегов, склоны на большей части обрывистые, крутые. Для реки Западная Двина характерны глинистые и суглинистые основания с каменными отложениями. По характеру течения, форме берегов вышеупомянутые реки схожи с горными реками. Русло течения рек постоянно меняется из-за эрозии берегов, просадки грунтов и других факторов.

В совокупности вышеизложенные явления приводят к ЧС на водных объектах. Ежегодно происходит обрушение берегов как на реках, так и на водохранилищах, озерах, прудах и карьерах. В зависимости от наличия людей и материальных объектов в опасной зоне будет различен и ущерб. Самые крупные аварии такого типа в мире занесены в табл. 1.

Таблица 1

Крупные аварии на плотинах мира вследствие обрушения пород

Название плотины	Год разрушения	Причина	Количество пострадавших, чел.	Последствия
Рио-Барранкаская (Аргентина)	1914	Разрушение плотины вследствие оползня	7000	Два небольших города были разрушены, многочисленные ранчо и фермы уничтожены на протяжении 60-километров долин Рио Барранкас и Рио-Колорадо
Лития Бей (США)	1936	Обрушение пород в водохранилище	-	Подводный оползень вызвал всплеск воды у берегов водохранилища высотой 30,5 м
Понтезей (Италия)	1959	Обрушение пород в водохранилище	-	Оползень разделил водохранилище на две части, волной смыты несколько поселений в долине
Плотина Вайонт (Италия)	1963	Обрушение пород в водохранилище	Более 4 тыс.	Полное разрушение ГТС, мостов, промышленных объектов

На протяжении столетия в белорусской гидроэнергетике случаев крупных аварий не наблюдалось, однако обрушения, обвалы, сели и образование оврагов были замечены на водоемах республики. Имели место и инциденты с гибелью людей (табл. 2).

Основными причинами потери устойчивости откосов и склонов являются:

- устройство недопустимо крутого откоса или подрезка склона, находящегося в состоянии, близком к предельному;
- увеличение внешней нагрузки (возведение сооружений, складирова-

ние материалов на откосе или вблизи его бровки);

– изменение внутренних сил (увеличение удельного веса грунта при возрастании его влажности или, напротив, влияние взвешивающего давления воды на грунты);

– неправильное назначение расчетных характеристик прочности грунта или снижение его сопротивления сдвигу за счет, например, повышения влажности;

– проявление гидродинамического давления, сейсмических сил, различного рода динамических воздействий (движение транспорта, забивка свай и др.).

Таблица 2

Обрушения грунта с гибелью людей в Республике Беларусь

Название	Год разрушения	Причина	Последствия
р. Припять (Петриковский район)	2010	Обрушение берега вследствие эрозии	Два человека погибло
Карьер д. Пырщина (Глубокский район)	2014	Обрушение склона карьера	Вследствие обрушения берега карьера погибли 2 ребенка
Карьер «Хмельевские пруды» (Заславль)	2015	Обрушение дамбы	Вследствие обрушения откоса дамбы погрузились в воду 4 единицы техники вместе с водителями.

Для водных объектов Республики Беларусь наиболее характерны обвалы слоев грунта, обвалы камня и грунта в смеси, причем обвалы характерны не только для рек Неман (г. Гродно, Коложская церковь, 1853 г., 1884г., 1889 г.; д. Дубно, Мостовский р-н), Западная Двина и Днепр, но и для равнинной Припяти, озера Нарочь и крупных водохранилищ страны.

Обрушения берегов на реке Неман, главной причиной которых является эрозия берегов и фильтрация в слоях грунта, были зафиксированы в 1853, 1884, 1889 годах в Гродненском районе, ежегодно в д. Дубно Мостовского района. Периодически происходят обрушения на реке Западная Двина.

В 2006 году под угрозой обрушения попал жилой дом, построенный на берегу. Берега реки Припять имеют в большинстве своем пологие берега, не представляющие опасности обвала. Русло реки имеет большое количество изгибов, затонов, стариц. На изгибах в местах с интенсивным движением, как правило, и происходит эрозия и обвал берега. За последние годы на реке Припять и ее притоках подобные обрушения произошли в 2010 и 2016 годах.

Обвал 2010 года в Петриковском районе лишил жизни двух человек. Обвалы 2016 года произошли в г. Мозыре. Высота обвала составила около 20 м. Зафиксированы трещины и сползание грунта на берегах озера Нарочь в Мядельском районе.

ГТС являются сложными системами, состояние и поведение которых в экстремальных ситуациях иногда трудно моделировать и прогнозировать. Можно выделить следующие причины аварий:

- из-за гидрометеорологических факторов, которые способны превысить мыслимые и задаваемые в технических заданиях условия по осадкам;
- из-за недооценки и низкого уровня проведения геологической разведки в будущей котловине водохранилища и откосов;
- из-за низкого уровня специальных и научных знаний о протекающих процессах в ГТС и котловинах водохранилищ;
- нарушения правил эксплуатации ГТС.

На основании вышеуказанного можно определить основные причины, приводящие к формированию волны вытеснения:

- обрушение неустойчивых откосов;
- землетрясения;
- сдвиг пород и сход оползня.

Таким образом, для территории Республики Беларусь характерны обвалы береговых откосов вследствие эрозии, сдвиг пластов грунта, сход оползня вследствие ливней, что является предпосылками для возникновения и дальнейшего развития ЧС на водных объектах страны.

Литература

1. Бонч-Осмоловская, Н. Е. Механика жидкости и газа. Лабораторный практикум: [учебное пособие/ Н. Е. Бонч-Осмоловская [и др.], под ред. И. В. Качанова и В. Н. Юхновца. – 4-е изд., перераб. и доп.. – Мн.: БНТУ, 2006. – 299 с.
2. Ломтадзе, В. Д. Методы лабораторных исследований физико-механических свойств горных пород: руководство к лабораторным занятиям по инженерной геологии / В. Д. Ломтадзе, – Л.: Недра, 1972. – 312 с.
3. Арзуманов, Э. С. Кавитация в местных гидравлических сопротивлениях / Э. С. Арзуманов. – М.: Энергия, 1978. – 385 с.
4. П 12-83 Рекомендации по методике лабораторных испытаний грунтов на водопроницаемость и суффозионную устойчивость. – ВНИИГ, Ленинград, 1983. – 95 с.