

УДК 519.216.3: 627.8

ГЕОДИНАМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ НА БЕРЕГАХ ВОДОХРАНИЛИЩ
ГЭС “КАНЬОННОГО” ТИПА РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

В. Е. ЛЕВКЕВИЧ *, А. В. БУЗУК **, В. В. КОБЯК ***, Д. С. МИКАНОВИЧ ****

*Университет гражданской защиты МЧС Республики Беларусь,
Минск, Республика Беларусь*

Проектирование и строительство современных гидроузлов, в состав которых входят гидроэлектростанция, плотина, судоходный шлюз, земляная плотина, водохранилище и т.д., требуют детального прогнозирования их воздействия на прилегающие территории. Вопросы оценки, как правило, рассматриваются в соответствии с нормативными требованиями и предусматривают изучение влияния водохранилища на развитие различных процессов в береговой зоне. Для объективности прогноза имеет смысл выполнять его в два этапа: первый – в виде “фоновый” укрупненного, а второй – в виде детального прогноза после ввода объекта в эксплуатацию через 5 лет. Такой подход позволит учесть все тенденции в развитии берегов и береговых процессов и разработать при необходимости предложения по берегозащите.

<https://doi.org/10.46991/PYSUC.2025.59.3.670>

Keywords: reservoir, hydroelectric power station, stability, forecast, processing.

Введение. В Республике Беларусь водохранилища широко используются в целях мелиорации, рекреации, регулирования поверхностного и речного стока, рыбного хозяйства, технического и питьевого водоснабжения, а также для энергетических нужд. Основными вопросами при решении проблемы безаварийной эксплуатации гидроузлов, подпорных сооружений и водохранилищ являются: оценка состояния и прогнозирование устойчивости берегоукреплений под действием сочетания различных факторов и воздействующих нагрузок, определяющих безопасную эксплуатацию сооружений и принятие эффективных технико-экономических решений при ликвидации последствий аварийных ситуаций.

Цель исследования – оценка переработки береговых склонов с учетом величины линейного отступления берега с уточненным районированием территории страны по развитию процесса переработки и на основании обследований, выполненных в 2016 г. на водохранилищах, расположенных в каскадах.

* E-mail: v.lev2014@mail.ru

** E-mail: uk007@rambler.ru

*** E-mail: valkobkii@gmail.com

**** E-mail: dmikanovich@list.ru

Материалы и методы исследования. В береговой зоне водохранилищ после ввода в эксплуатацию происходит активизация береговых процессов под воздействием волнения, колебания уровней и обводнения территорий, что ведет к развитию переработки склонов. Наибольшая интенсивность переработки происходит в приплотинной плесовой, наиболее широкой части водоема руслового типа. Средняя протяженность разрушаемых склонов в условиях русловых водохранилищ Беларуси составляет приблизительно 25–40% всей береговой длины русловых водоемов. В верховьях водохранилищ наблюдается русловая эрозия. В средней зоне разрушение береговых склонов происходит за счет совместного ветро-волнового воздействия и стоковых течений (Петровическое, Заславское и другие водохранилища страны) [1–3].

В условиях Беларуси наиболее распространены несвязные, песчаные грунты. Среди показателей, характеризующих механический состав несвязных грунтов (Э.И. Михневич, А.А. Печеркин, Ю.А. Соболевский, Ф.В. Саплюков и др.), практическое значение при оценке динамики переработки берегов и формировании профиля равновесия имеют: средний диаметр частиц грунта d_{50} и коэффициент неоднородности [1–3].

Гидрологические и морфометрические характеристики водохранилища определяют динамику процесса переработки берегов наряду со структурой грунтов. В отличие от крупных водоемов высота волны $h_{1\%}$ есть функция скорости ветра w_{10} и длины разгона L_p (Е.М. Левкевич, В.Н. Юхновец, С.А. Двинских). Установлено, что разрушение и переработку надводной части берега формируют волны $h_{1\%}$, а подводную часть профиля переработки – волны высотой $h_{25\%}$.

По величине амплитуды колебания уровней в безледный период $\Delta H_{\text{бл}}$ все водохранилища Беларуси были сгруппированы авторами в две группы водных объектов: I группа – с $\Delta H_{\text{бл}} > 0,5 \text{ м}$, II – с $\Delta H_{\text{бл}} \leq 0,5 \text{ м}$.

Кроме уровня режима на процесс переработки берегов оказывают влияние: стоковые и вдольбереговые течения, ледовые явления, подпор грунтовых вод и фильтрация, различные виды эрозии (термоэрозия, поверхностная, овражная, русловая), зарастаемость склонов, состав размываемых грунтов, форма склона, линейные размеры водохранилища. Все факторы определяют интенсивность и масштаб процесса деформации склонов, характеризуемой величиной линейной переработки берега S_r (м).

В последние время во всем мире возрождается интерес к строительству ГЭС. В 1950–1960 годах в Беларуси было построено около 180 ГЭС суммарной мощностью 21 МВт с годовой выработкой 88 млн кВт·ч электроэнергии в средний по водности год. Около 20% всей потребляемой электроэнергии в сельском хозяйстве Беларуси в этот период вырабатывалось малыми ГЭС (в основном мощностью менее 100 кВт, состоящих на балансе у колхозов), большинство из которых с развитием энергосистемы было законсервировано или разрушено.

В современной истории страны первый крупный проект по строительству ГЭС был реализован на р. Неман выше г. Гродно. Гродненская ГЭС введена в действие в сентябре 2012 г. Ее установленная мощность составляет

17 *МВт*. В рамках госпрограммы Министерства энергетики выполнена реализация еще нескольких проектов: Полоцкая ГЭС мощностью 21,75 *МВт* и Витебская ГЭС мощностью 40 *МВт*. В настоящее время проектируется ряд ГЭС на реках страны.

В настоящее время в республике находится в эксплуатации 47 малых ГЭС суммарной мощностью 16,1 *МВт*, что составляет около 3% от технически доступного потенциала. Около 60% мощности всех ГЭС приходится на долю 22 ГЭС суммарной мощностью 9,4 *МВт*. Мощность самой крупной ГЭС, введенной в эксплуатацию в 2018 г., составляет 40 *МВт* (Витебская ГЭС на р. Западная Двина) [4].

Характеристика проектируемых и построенных каскадов ГЭС и водохранилищ “каньонного” типа.

Гродненская ГЭС. Строительство ее было предусмотрено Государственной программой инновационного развития Беларуси на 2011–2015 гг. Полный цикл окупаемости проекта с учетом обслуживания кредитных ресурсов составляет около 20 лет.

Гидроэлектростанция представляет собой водохозяйственный комплекс, в состав которого входят водохранилище полным объемом 2 млн м^3 , земляная плотина, водосброс и здание ГЭС с пятью генераторами мощностью 3,4 *МВт* каждый, которые выдают общую мощность в 17 *МВт* (рис. 1).



Рис. 1. Гродненская ГЭС. Вид с нижнего бьефа (фото Левкевича В.Е.).

При возведении ГЭС было создано водохранилище общей площадью около 20 км^2 , длиной около 44 км и шириной до 1,5 км. При организации искусственного водоема не осуществлялось отселения жителей, сноса хозпостроек и затопления сельскохозяйственных земель. Созданное водохранилище находится в пределах речной долины и не выходит за размеры бывшей поймы реки во время весеннего паводка.

Витебская ГЭС. Заказчик строительства – предприятие “Витебскэнерго”, а генподрядчик – китайская национальная корпорация по электрооборудованию CNEEC. Мощность станции 40 *МВт*. Четыре ее турбины находятся в здании ГЭС. Длина водосбросной плотины составляет 200 м. Водоохранилище Витебской ГЭС имеет площадь более 800 га (рис. 2).



Рис. 2. Витебская ГЭС. Вид с нижнего бьефа (фото Левкевича В.Е.).

Бешенковичская ГЭС. Объект находится в стадии активного проектирования, которое практически заканчивается. В настоящее время ведется поиск инвестора. На возведение Бешенковичской ГЭС планируется привлечь прямые инвестиции. Есть предложения от нескольких компаний из Китая и России. Особый интерес также проявляет Словацкая Республика.

Полоцкая ГЭС. Представляет собой типичную русловую низконапорную ГЭС, включающую в себя земляную плотину, бетонную водосбросную плотину с шестью сегментными затворами и здание ГЭС. Площадь водохранилища Полоцкой ГЭС 1710 га, длина – 83 км от деревни Лучно до пос. Бешенковичи. Наибольшая глубина водохранилища составляет 17 м (рис. 3).



Рис. 3. Полоцкая ГЭС. Вид с нижнего бьефа (фото Левкевича В.Е.).

Результаты исследований и их обсуждение. По прогнозным данным [5, 6] величина наибольшей линейной переработки берегов Витебской ГЭС составляет более 35 м. Наибольшие разрушения будут находиться в приплотинной наиболее широкой части водохранилища на расстоянии около 8–9 км от створа плотины. Протяженность береговой линии, подверженной абразии по обоим берегам (левому и правому), в соответствии с документом [5], охватит практически всю береговую линию.

Реально, как показал анализ данных натурных наблюдений, проведенных после заполнения водохранилища в 2016 и 2017 годах, а также материалы проведенного “фонового” прогноза, переработка склонов будет происходить фрагментарно, локально, причем величина переработки будет иметь минимальные значения в целом по всей длине водохранилища. Этому будет способствовать режим колебания уровней в водохранилище, а также плановые очертания водоема и возможность развития ветрового волнения. На отдельных участках береговой линии величина переработки может быть значительной и превышать прогнозные значения, полученные по [6]. По результатам натурных исследований установлено, что в условиях русловых водохранилищ, имеющих вытянутую форму, большую проточность и водообмен, а также размещенные на них ГЭС, внутриводоемные и вдольбереговые течения при совместном действии с ветровым волнением в прибрежной зоне могут ускорить процесс разрушения креплений откосов, а также способствовать выносу и транспортировке материала переработки с проявлением в этих местах деформаций откосов. На это указывают данные о районировании территории Беларуси по абразионному риску, приведенные в [1, 2]. Опыт проведения фоновых прогнозов, реализованный и проверенный на Дубровском водохранилище Минской области [7], также каньонного типа, показал необходимость в осторожном применении имеющихся региональных методик прогноза, разработанных для крупных равнинных водохранилищ, которые в целом не пригодны для условий Беларуси [1, 2]. Поэтому совершенно очевидно, что принятые в ОВОС прогнозные решения не соответствуют действительности и дают очень приблизительные результаты.



Рис. 4. Развитие процесса переработки на водохранилищах ГЭС: а – левый берег водохранилища Витебской ГЭС; б – левый берег водохранилища Гродненской ГЭС.

Аналогичная картина наблюдается и с Полоцкой ГЭС [8]. Результат прогноза показывает, что переработке будет подвержено всего лишь около 7,0 км береговой линии водохранилища. Причем величины линейных деформаций также принимались по методу Н.Е. Кондратьева (указанный метод применялся и на Витебской ГЭС [5, 6]), что является, как мы показали выше, не приемлемым для условий Беларуси (рис. 4, а).

Проблема оценки масштаба и интенсивности процесса переработки в проектных решениях, как показали проведенные нами предварительные

натурные обследования береговой линии водохранилища Гродненской ГЭС, не всегда отображается глубоко и детально. Так, на водохранилище Гродненской ГЭС в настоящее время уже происходит активизация процесса абразии на левом берегу в приплотинной части водохранилища и в средней части водоема, где имеются отложения несвязных песчаных грунтов. На этих участках происходит переработка по абразионно-осыпной схеме [1]. В средней части водохранилища, также на левом берегу, получил развитие процесс абразии по абразионно-оползневому типу [3] (рис. 4, б). Протяженность этого участка около 1,2 км.

С вводом в эксплуатацию Гродненской ГЭС и водохранилища на р. Неман, а также водохранилищ на р. Западная Двина (Полоцкой и Витебской ГЭС), протяженность берегов водохранилищ страны, подверженных активной переработке, значительно возрастает. По оценочным расчетам авторов, на водохранилище только Гродненской ГЭС в ближайшие годы переработке будет подвержено до 9,6 км (около 20%) береговой линии. На Витебской ГЭС этот показатель составит соответственно около 12,4 км. Учитывая вероятностную природу процесса переработки, можно предположить, что эти цифры могут быть значительно большими. К таким прогнозам следует относиться достаточно серьезно, т.к. развитие процесса переработки коренных берегов водохранилищ, на которых предполагается развивать индустрию отдыха, рекреацию и места постоянного проживания, следует детально обследовать и оценивать с выполнением прогнозных перманентных расчетов, причем точность прогнозов будут определять сочетание следующих факторов и условий:

- принадлежности водохранилищ к районам страны, характеризующимся определенным масштабом развития абразионного риска и проявления переработки склонов водохранилищ с учетом карт районирования [1–3];
- учета формы водоемов в плане и ориентации берегов относительно сторон света;
- учета гидрологических и метеоусловий, а также характера ветрового волнения и колебания уровней в безледный период;
- учета режима внутриводоемных стоковых и ветровых течений;
- учета и дифференциации формы исходного берега (обрывистой либо пологой) и механического состава размываемых грунтов.

Заключение. Районирование по абразионному риску и масштабам проявления абразии, выполненное авторами статьи и широко представленное в [1–3], позволяет отнести водохранилище Гродненской ГЭС к зоне умеренной переработки с величиной линейного отступления берега менее 10 м – к зоне IV. В соответствии с уточненным районированием территории страны по развитию процесса переработки, выполненным в 2016 г., водохранилища каскада на р. Западная Двина – Полоцкая, Бешенковичской и Витебской ГЭС – находятся в зоне II, в которой могут иметь место переработки до 40 м и более [1–3].

Поступила 04.04.2025

Получена с рецензии 14.10.2025

Утверждена 25.12.2025

ЛИТЕРАТУРА

1. Левкевич В.Е. *Динамика берегов русловых, наливных и озерных водохранилищ Беларуси*. Минск, Право и экономика (2015), 202.
2. Левкевич В.Е. *Динамическая устойчивость берегов водохранилищ Беларуси*. Минск, Право и экономика (2015), 307.
3. Левкевич В.Е. Основные результаты стационарных геоморфологических исследований абразионно-эрозионных процессов на водохранилищах БССР. *Водное хозяйство и гидротехническое строительство* 17 (1988), 44–49.
4. Об утверждении Государственной программы строительства в 2011–2015 гг. гидроэлектростанций в Республике Беларусь. Постановление Совета Министров Респ. Беларусь, 17 декабря 2010 г., № 1838. Эталон. Нац. центр правовой информ. Республика Беларусь, Минск (2010).
5. *Реализация мероприятий по объекту “Строительство Витебской ГЭС на реке Западная Двина (ОВОС). Мероприятия по ложу водохранилища”*. Минск, ЦНИИКИВР (2015), 129.
6. Кондратьев Н.Е. *Расчеты береговых переформирований на водохранилищах* (практ. рук-во). Ленинград, Гидрометеиздат (1960), 64.
7. Левкевич В.Е. Фоновый прогноз переработки берегов водохранилищ “Дубровское 2” и “Раубичи” на р. Усяже. *Мелиорация и водное хозяйство* 12 (1989), 12–14.
8. *Оценка воздействия на окружающую среду Полоцкой ГЭС на реке Западная Двина (ОВОС)*. Минск, ЦНИИКИВР (2002), 52.

Վ. Է. ԼԵՎԿԵՎԻՉ, Ա. Վ. ԲՈՒԶՈՒԿ, Վ. Վ. ԿՈՐՅԱԿ, Դ. Ս. ՄԻԿԱՆՈՎԻՉ

ԲԵԼԱՌՈՒՄԻ ՀԱՆՐԱՊԵՏՈՒԹՅԱՆ «ԿԱՆՅՈՆՆԵՐ» ՏԻՊԻ
ՀԻԴՐՈԷԼԵԿՏՐԱԿԱՆՆԵՐԻ ՋՐԱՄԲԱՐՆԵՐԻ
ԳԵՈԴԻՆԱՄԻԿԱԿԱՆ ԳՈՐԾԸՆԹԱՑՆԵՐ

Ա մ փ ո փ ու մ

Ժամանակակից հիդրոէլեկտրակայանների նախագծումը և կառուցումը, որոնք ներառում են հիդրոէլեկտրակայան, ամբարտակ, բեռնափոխադրման շյուղ, հողային ամբարտակ, ջրամբար և այլն, պահանջում են հարակից տարածքների վրա դրանց ազդեցության մանրամասն կանխատեսում: Գնահատման հարցերը հիմնականում դիտարկվում են կարգավորող պահանջներին համապատասխան և ներառում են ջրամբարի ազդեցության ուսումնասիրությունը ափամերձ գոտում տարբեր գործընթացների զարգացման վրա: Կանխատեսման օբյեկտիվության համար իմաստ ունի այն իրականացնել երկու փուլով՝ առաջինը «ֆոնային» համախառն կանխատեսման տեսքով և երկրորդը՝ մանրամասն կանխատեսման տեսքով՝ օբյեկտը շահագործման հանձնելուց 5 տարի հետո: Այս մոտեցումը մեզ թույլ կտա հաշվի առնել ափերի և առափնյա գործընթացների զարգացման բոլոր միտումները և անհրաժեշտության դեպքում մշակել ափերի պաշտպանության առաջարկներ:

V. E. LEVKEVICH, A. V. BUZUK, V. V. KABIAK, D. S. MIKANOVICH

GEODYNAMIC PROCESSES ON THE SHORE OF RESERVOIRS
OF HYDROELECTRIC POWER STATIONS OF THE CANYONS TYPE
IN THE REPUBLIC OF BELARUS

Summary

Design and construction of modern hydraulic structures, which include a hydroelectric power station, dam, shipping lock, earth dam, reservoir, etc., require detailed forecasting of their impact on adjacent territories. Assessment issues are usually considered in accordance with regulatory requirements and involve studying the reservoir's impact on the development of various processes in the coastal zone. For the forecast to be objective, it makes sense to perform it in two stages: the first in the form of a "background" consolidated forecast and the second, in the form of a detailed forecast – after the facility is put into operation in 5 years. This approach will allow taking into account all trends in the development of banks and coastal processes and, if necessary, developing proposals for coastal protection.