

БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

УДК 519.216.3:551.435.31:627.8

КОБЯК
Валерий Викторович

**ПРОГНОЗ АБРАЗИОННЫХ ПРОЦЕССОВ НА ВОДОХРАНИЛИЩАХ
С ТРАНСФОРМИРОВАННЫМ УРОВЕННЫМ РЕЖИМОМ**

Автореферат диссертации
на соискание ученой степени кандидата технических наук
по специальности 05.23.07 – гидротехническое и мелиоративное строительство

Минск, 2013

Работа выполнена в Государственном учреждении образования «Командно-инженерный институт» Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь

Научный руководитель: **Левкевич Виктор Евгеньевич**,
кандидат технических наук, доцент,
заведующий сектором эколого-экономических проблем,
Государственное научное учреждение «Институт экономики Национальной академии наук Беларуси»

Официальные оппоненты: **Михневич Эдуард Иванович**,
доктор технических наук, профессор,
профессор кафедры, Белорусский национальный технический университет,
кафедра водоснабжения и водоотведения

Карпенчук Игорь Васильевич,
кандидат технических наук, доцент, профессор
кафедры, Государственное учреждение образования «Командно-инженерный институт» Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь, кафедра автоматических систем безопасности

Оппонирующая организация: Учреждение образования «Брестский государственный технический университет»

Защита состоится 17 мая 2013 года в 14.00 на заседании совета по защите диссертаций Д 02.05.10 Белорусского национального технического университета по адресу: 220013, г. Минск, пр. Независимости, 65, корп. 1, ауд. 202, тел. ученого секретаря (017) 265-64-21.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Белорусского национального технического университета.

Автореферат разослан 11 апреля 2013 года.

Ученый секретарь совета
по защите диссертаций
кандидат технических наук, доцент



Л.В. Нестеров

ВВЕДЕНИЕ

Водохранилища представляют собой сложные природно-технические комплексы. Создаваемые на базе рек, озер в различных целях, они несут определенное отрицательное воздействие на окружающую природную среду. Так, в верхнем бьефе происходит разрушение коренных берегов, заболачивание и подтопление территорий, в нижнем – переосушение поймы, изменение качества вод, эрозия.

Анализ многолетних наблюдений за береговыми процессами, происходящими на водохранилищах, свидетельствует о том, что наиболее опасным является абразия берегов при ветро-волновом воздействии в сочетании с амплитудой колебания. В результате переработки береговой линии разрушаются селитебные территории, нарушаются условия жизнедеятельности населения, происходит изъятие сельскохозяйственных земель и лесных угодий из оборота, что приносит ущерб народному хозяйству.

Основой безопасной жизнедеятельности населения, проживающего вблизи водохранилищ, является достоверный прогноз абразионных процессов. Существующие методы не всегда позволяют полностью оценить возможные масштабы разрушения берегов, так как не учитывают особенности процесса берегоформирования в условиях водохранилищ Республики Беларусь. Это потребовало проведения дополнительных лабораторных и натурных исследований и наблюдений, всестороннего анализа существующих расчетных методик и прогнозов.

Разработка методики прогноза переработки береговых склонов водохранилищ Республики Беларусь на основе аналогий является актуальной научной задачей, имеющей важное значение для обеспечения безопасных условий жизнедеятельности населения, функционирования объектов экономики, расположенных вблизи водохранилищ.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Связь работы с крупными научными программами (проектами) и темами. Исследования, составившие основу диссертации, выполнялись в Государственном учреждении образования «Командно-инженерный институт» Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь в рамках государственной программы прикладных научных исследований «Разработка и обоснование системы мер для снижения рисков и смягчения последствий чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера в Республике Беларусь («Снижение рисков чрезвычайных ситуаций») на 2006-2010 годы»,

утвержденной постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 28 ноября 2005 г. № 1339:

1) научно-исследовательская работа: «Разработка методики комплексной оценки и прогнозирования абразионного риска и ущербов на искусственных водных объектах» (номер государственной регистрации № 20065143 от 28.11.2006) (договор между Государственным учреждением образования «Командно-инженерный институт» Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь и Государственным научным учреждением «Объединенный институт проблем информатики Национальной академии наук Беларуси» от 05.05.2006 № МЧС 01/01);

2) научно-исследовательская работа: «Разработать методику и алгоритм оценки вероятности возникновения гидродинамических аварий на водохранилищах проектируемых и реконструируемых гидроэлектростанций Республики Беларусь» (номер государственной регистрации № 20091269 от 29.06.2009) (договор между Государственным учреждением образования «Командно-инженерный институт» Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь и Государственным научным учреждением «Объединенный институт проблем информатики Национальной академии наук Беларуси» от 30.01.2009 № МЧС 35/01).

Цель и задачи исследований. *Цель работы* – повышение достоверности прогноза переработки незащищенных береговых склонов на водохранилищах Республики Беларусь.

Для достижения цели в работе поставлены и решены следующие *задачи*:

– выполнить натурные наблюдения за абразионными процессами береговых склонов с учетом трансформации уровенного режима водохранилищ Республики Беларусь;

– дополнить натурные наблюдения недостающими лабораторными исследованиями по изучению процессов переработки береговых склонов водохранилищ с учетом изменения волнового и уровенного режимов;

– разработать комплексный критерий гидролого-геоморфологического подобия, характеризующий абразионные процессы береговых склонов, происходящие в условиях водохранилищ различного типа;

– разработать методику прогноза и рекомендации по оценке переработки незащищенных береговых склонов на водохранилищах Республики Беларусь с использованием альбома природных аналогов.

Объектом исследования являются береговые склоны водохранилищ Республики Беларусь, а **предметом исследования** – переработка береговых склонов водохранилищ с использованием метода природных аналогов.

Положения, выносимые на защиту:

1. Оценка масштабов и динамики процессов абразии береговых склонов на водохранилищах Республики Беларусь, учитывающая изменение режима их эксплуатации, по результатам многолетних стационарных и рекогносцировочных натурных исследований.

2. Значения деформации незащищенных береговых склонов, полученных на основе экспериментально установленных в лабораторных условиях опытах, с учетом совместного воздействия волнового и уровня режимов.

3. Комплексный критерий гидролого-геоморфологического подобия, учитывающий изменение гидрологических условий, морфометрических и морфологических характеристик водохранилища и деформируемого берегового склона, являющийся основой методики прогноза переработки берегов методом природных аналогов.

4. Методика прогноза абразионных процессов на водохранилищах с трансформированным уровнем режимом с использованием альбома природных аналогов.

Личный вклад соискателя. Цель и задачи исследований сформулированы совместно с научным руководителем кандидатом технических наук, доцентом В.Е. Левкевичем. Совместно с научным руководителем, кандидатом технических наук С.М. Пастуховым, А.В. Бузуком проведены натурные стационарные многолетние исследования и разовые наблюдения за переработкой незащищенных береговых склонов водохранилищ Республики Беларусь. Самостоятельно проанализированы полученные результаты натурных наблюдений и проведены лабораторные исследования по изучению деформации береговых склонов при воздействии различных сочетаний высот волн и уровней воды. На основе материалов проведенных натурных наблюдений и лабораторных исследований разработаны комплексный критерий гидролого-геоморфологического подобия и альбом аналогов, необходимые для прогнозирования абразионных процессов, применительно к условиям водохранилищ Республики Беларусь.

Апробация результатов диссертации. Материалы, представленные в диссертации, докладывались и обсуждались на конференциях: IV, VI Международной научно-практической конференции «Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация» г. Минск, 2007 г., 2011 г.; Международной научно-практической конференции «Чрезвычайные ситуации: теория, практика, инновации» г. Гомель, 2010 г.; IV Международной научной конференции «Озерные экосистемы: биологические процессы, антропогенная трансформация, качество воды» Минск – Нарочь, 2011 г.; IV Международной научно-практической конференции «Природная среда Полесья: особенности и

перспективы развития» г. Брест, 2008 г.; Международной научно-практической конференции «ГЕОРИСК–2009» г. Москва, 2009 г.

Опубликованность результатов диссертации. Основные положения диссертации опубликованы в 20 печатных работах, в том числе: 9 статьях, соответствующих пункту 18 Положения о присуждении ученых степеней и присвоении ученых званий в Республике Беларусь, общий объем 3,9 авторских листа (из них без соавторов – 3 статьи), а также 7 тезисах докладов в сборниках научных трудов международных конференций и семинаров.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из перечня условных обозначений, введения, общей характеристики работы, четырех глав, заключения, библиографического списка из 151 наименования, включая собственные публикации (20 публикаций соискателя), 2 приложений, 47 рисунков и 50 таблиц. Полный объем диссертации составляет 142 страницы. Объем, занимаемый иллюстрациями, таблицами, приложениями, составляет 57 страниц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Первая глава посвящена изучению водохранилищного фонда Республики Беларусь, а также аналитическому обзору литературы по существующим методам прогноза абразионных процессов.

Исследованиями В.М. Широкова, Б.П. Власова, П.С. Лопуха установлены отличительные особенности водохранилищ по морфометрическим, гидрологическим и другим характеристикам. Однако приведенные работы по изучению процессов, происходящих в прибрежной зоне водоемов с учетом трансформации их гидрологических условий в результате изменения режима эксплуатации, недостаточно исследованы. Проведенный анализ режима эксплуатации свидетельствует, что на данный момент более 85 % водохранилищ эксплуатируются с отклонением от проектного назначения, что является предпосылкой для развития и активизации переработки незащищенных берегов водохранилищ. Установлено, что наиболее опасным является развитие абразионных процессов, в результате которого происходит отступление береговой линии, нанося материальный ущерб объектам экономики, населенным пунктам, лесному и сельскому хозяйству (Лепельское (1955 г., 2005 г.), Погост (1985 г.), Заславское (1956 г., 1978 г.), Осиповичское (1965 г., 1978 г.), Вилейское (1972–1989 гг.)).

Установлено, что в настоящее время происходит их активное разрушение более чем на 80 % водных объектов с общей протяженностью береговой линии, подверженной переработке около 25 км. Общая площадь земель, теряемых в результате развития и протекания абразионных процессов, в настоящее время

составила приблизительно 400 гектаров. При этом на долю пахотных земель приходится 2/3 от указанной площади, а остальная часть на лесные угодья. Прямой материальный ущерб от потери урожая зерновых культур составляет примерно 136 млн. белорусских рублей в год.

В настоящее время накоплен значительный опыт по прогнозированию переработки береговых склонов на водохранилищах и существует более 60 разнообразных методов, которые основываются на результатах натуральных и лабораторных исследований, статистических методах и методах математического моделирования, графоаналитических, энергетических и других. Анализ береговых процессов, которые происходят на крупных водохранилищах, отраженный в работах Е.Г. Качугина, Н.Е. Кондратьева, Л.Б. Розовского, Б.А. Пышкина, В.Л. Максимчука, В.Н. Буровой и других авторов, показал, что применимость данных методов не приемлема для условий водохранилищ Республики Беларусь, в особенности при изменении их режима эксплуатации.

В работах Б.П. Власова, П.М. Чистяковой, Г.М. Базыленко, П.С. Лопуха и других авторов прогнозу переработки берегов на водохранилищах внимания практически не уделяется. Результаты натуральных исследований в данных работах носят лишь качественный характер в описании развития и протекания процесса абразии, указывают на места его возникновения с геологическим и геоморфологическим описанием берегового склона и морфометрическими и гидрологическими характеристиками водохранилища.

На основании проведенного анализа сформулированы цель и задачи диссертационных исследований.

Во второй главе на базе материалов проведенных стационарных многолетних натуральных и рекогносцировочных наблюдений с привлечением опубликованных и фондовых материалов (от 5 до 60 лет) по тестовым водоемам за абразионными процессами ряда водохранилищ (общее количество составило 43 единицы). Для определения основных причин развития и активизации абразионных процессов проводились стационарные наблюдения на четырех водохранилищах: Осиповичском (7 створов), Лепельском (9 створов), Заславском (14 створов) и Краснослободском (3 створа).

Строительство и введение в 1976 г. в эксплуатацию Вилейско-Минской водной системы для переброски части стока из р. Вилия в р. Свислочь привело к тому, что на некоторых существующих водоемах (Осиповичское, Заславское, Дрозды и т. д.), расположенных в каскаде, изменились режим эксплуатации и, соответственно, уровенный режим. Это вызвало вторичное развитие абразии берегов, при этом ее величина в среднем составила более 2,5 м (рисунок 1).

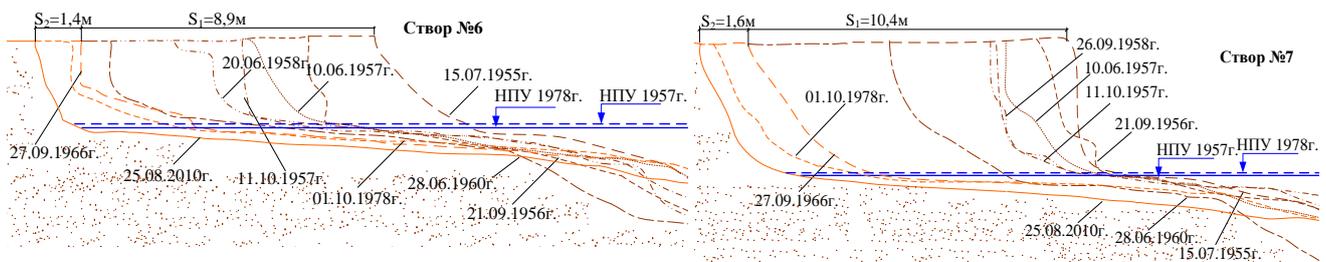


Рисунок 1 – Створ № 6 и № 7 Осиповичского водохранилища

Осиповичское водохранилище, которое по характеру регулирования относилось к группе водоемов недельно-суточного, перешло к сезонному, что привело к увеличению обеспеченности активных уровней почти до 90 % (рисунок 2) и переходу по уровенному режиму в верхнем бьефе из первой группы водоемов (более 0,5 м) во вторую (0,1...0,5 м).

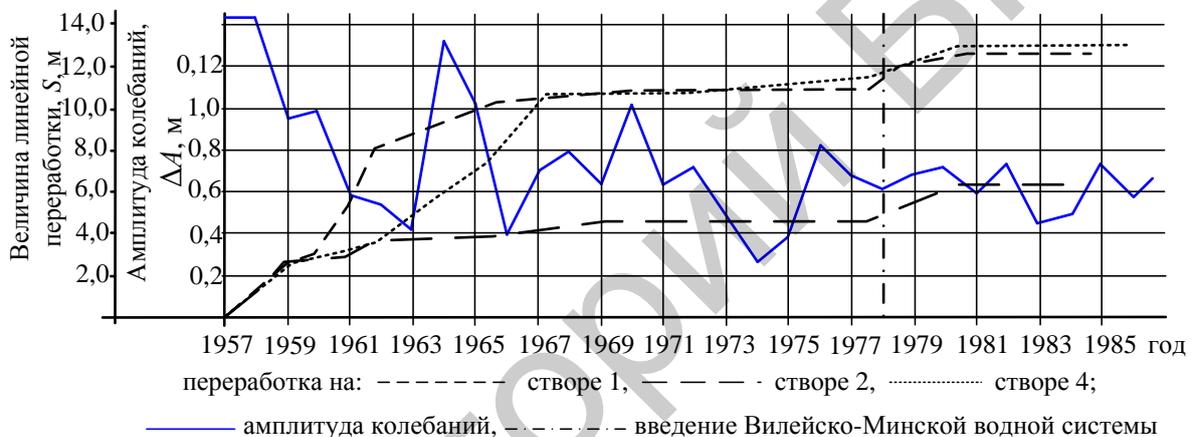


Рисунок 2 – Влияние трансформации гидрологического режима на переработку берегов Осиповичского водохранилища

Создание гидроэлектростанций на ряде озер (в частности на Лепельском озере) привело к поднятию уровня воды более чем на 3,5 м. Полученные результаты по натурным наблюдениям на трех участках по 9 створам свидетельствуют о переработке в южной, юго-восточной и северо-восточной частях (рисунок 3), на что указывают материалы профилирования береговых склонов. За период эксплуатации Лепельского водохранилища линейная переработка составила от 7 до 25 м при высоте коренного берега от 2 до 5 м.



Рисунок 3 – Процессы абразии в северо-восточной части Лепельского водохранилища

Нарушение режима эксплуатации гидротехнических сооружений в результате отсутствия контроля по организации регулирования пропуска воды на Краснослободском водохранилище привело к резкому поднятию уровня воды (в течение одного сезона) выше проектных отметок (НПУ),

что вызвало разрушение берега с величиной линейной переработки более чем 3,5 м (рисунок 4). Протяженность участков размыва в плане составила более 450 м с высотой обрыва 1...1,5 м.

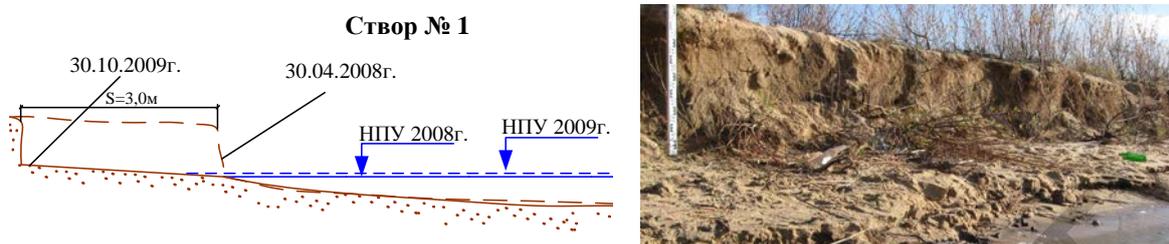
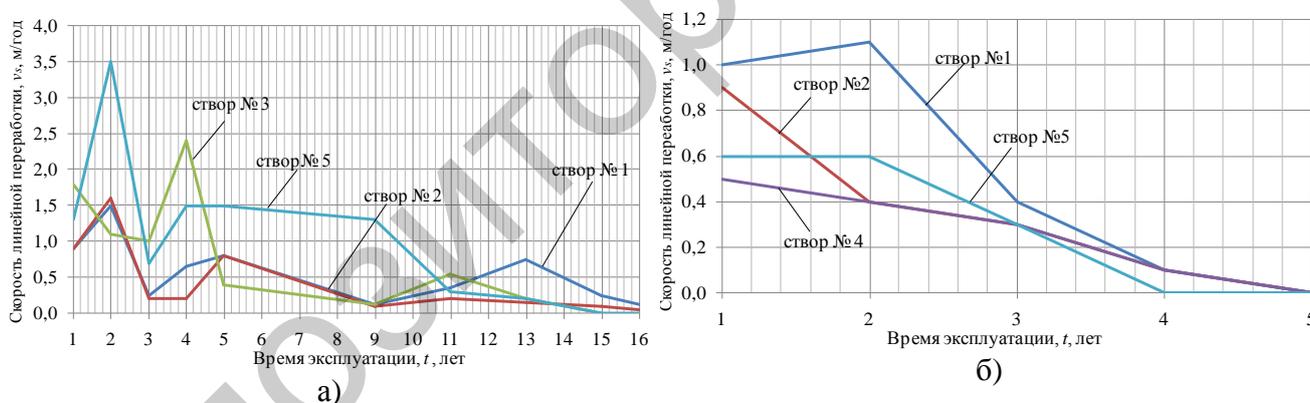


Рисунок 4 – Створ № 1 Краснослободского водохранилища

По результатам натурных исследований уточнена карта районирования по масштабам переработки берегов водохранилищ Республики Беларусь.

Для изучения скорости линейной переработки после трансформации уровня режима наблюдения производились на примере Осиповичского водохранилища. Было установлено, что данный показатель составил 0,8 м/год, а процесс стабилизации завершился через 5 лет (рисунок 5). При этом максимальное значение данного параметра до трансформации составило более 3 м/год при стабилизации процесса на 15 году эксплуатации водохранилища.



а – до трансформации уровня режима; б – после трансформации уровня режима

Рисунок 5 – Скорость линейной переработки на Осиповичском водохранилище

Уменьшение скорости линейной переработки практически в 1,5 раза и времени стабилизации в 3 раза связано с наличием сформировавшихся ранее (до трансформации) профилей равновесия подводной части отмели.

По результатам натурных наблюдений строились поперечные профили береговых склонов с их морфологическим и морфометрическим описанием, производился отбор проб грунта, слагающего береговой склон, с целью определения коэффициента неоднородности и среднего диаметра частиц.

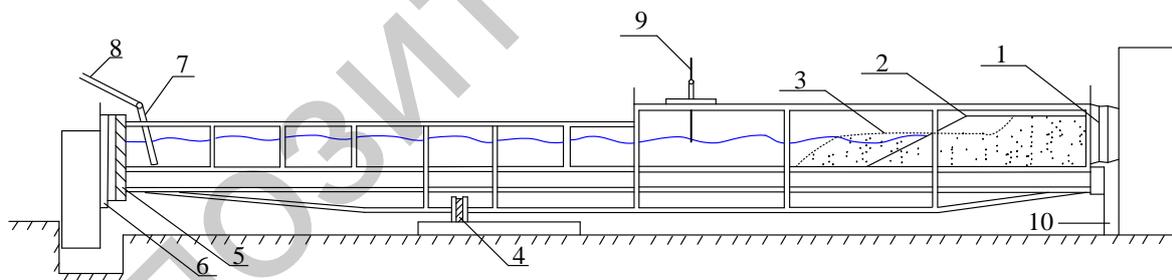
Все характеристики заносились в базу данных, которая по мере накопления информации преобразовывалась в альбом природных аналогов.

В третьей главе с целью изучения закономерностей механизма развития и протекания деформации береговых склонов при трансформации уровневого режима в гидравлической лаборатории Белорусского национального технического университета производились лабораторные исследования.

Задачи лабораторных исследований состояли из:

- изучения совместного воздействия при повышении уровня воды и различных высот волны на интенсивность деформации берегового склона с фиксацией параметров размывающего берегового склона;
- изучения совместного воздействия при понижении уровня воды и различных высот волн на интенсивность деформации берегового склона с фиксацией параметров размывающего берегового склона;
- определения характеристик профиля равновесия, возникающего при воздействии волнения на фоне изменения положения уровня воды.

Волны воспроизводились с помощью волнопродуктора. Размываемая модель берегового склона представляла собой откос с заложением 1:3, отсыпанный из среднезернистого несвязанного грунта с коэффициентом неоднородности $\eta = 1,2 \div 2,4$ (рисунок 6). Фиксация поднятия или опускания уровня воды осуществлялась при помощи мерных игл, установленных на волновом лотке. Опыты производились при глубине воды в лотке 0,4...0,5 м, высоте волны 0,04; 0,06 и 0,08 м и длине волны 1,02 м.



- 1 – заглушка; 2 – модель с заложением откоса 1:3; 3 – модель для серии опытов № 2-4;
4 – домкрат; 5 – затвор-жалюзи; 6 – отпусковой затвор; 7 – волновой щит;
8 – тяга к редуктору; 9 – мерная игла; 10 – опора

Рисунок 6 – Схема волнового лотка

Моделирование ветровых волн в волновом лотке выполнялось по Фрудру без искажения линейного масштаба с учетом законов гравитационного подобия:

$$n_h = n_\lambda = n_B = n_\Gamma, \quad (1)$$

где n_h – масштаб высоты волны; n_λ – масштаб длины волны; n_B – вертикальный масштаб модели; n_T – масштаб глубины волны.

Соблюдение критерия динамического подобия и обеспечения условий автомодельности (явления в природе и на модели происходят в квадратичной зоне обтекания), выполнялась с учетом рекомендаций А.С. Офицера, Е.М. Левкевича, В.Е. Левкевича, Е.С. Цайтца, В.Л. Максимчука.

С учетом возможностей лабораторной установки при проведении исследований масштабный коэффициент волновых показателей и модели был равен 1:10.

$$n_h = \frac{h_n}{h_m} = \frac{0,8 \text{ м}}{0,08 \text{ м}} = 10, \quad (2)$$

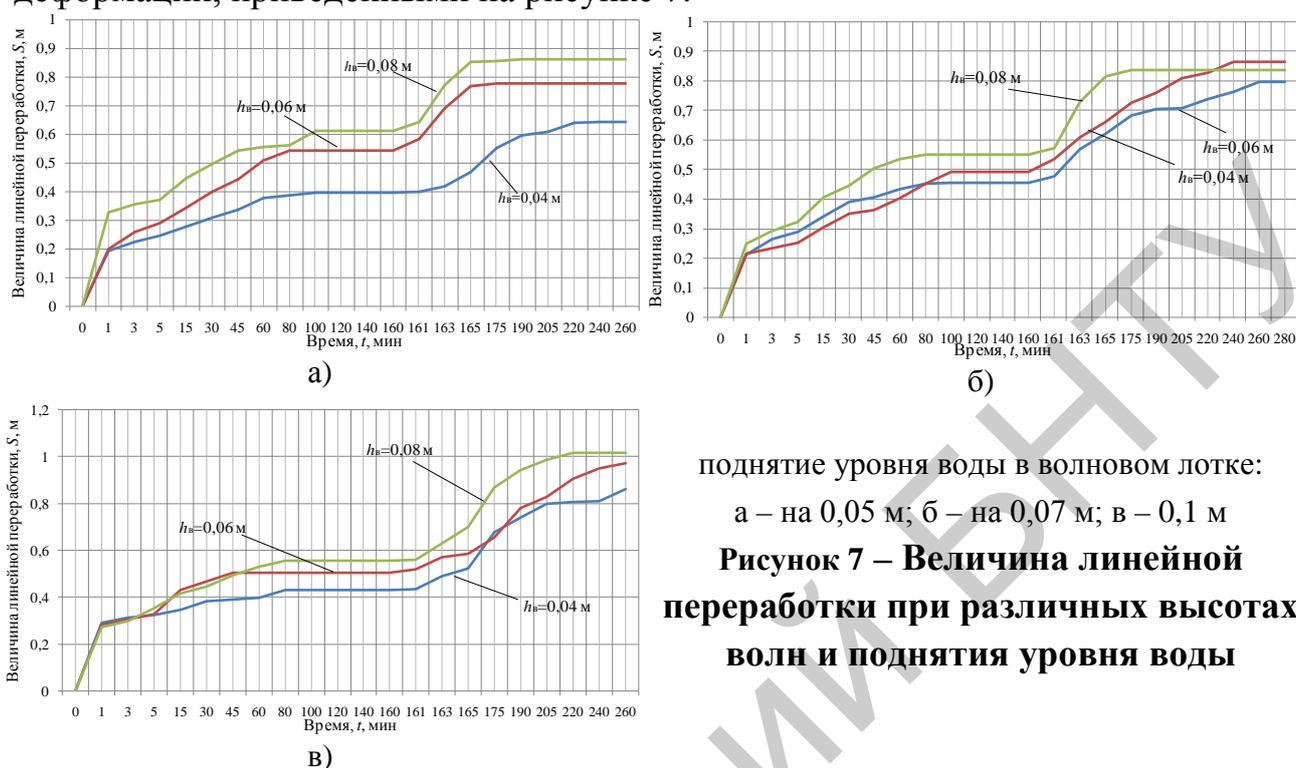
где h_n – высота волны на глубокой воде в натуральных условиях, м; h_m – высота волны в тех же условиях на модели, м.

Продолжительность опытов составляла от 30 до 120 минут. Результаты фиксировались графическим способом и фотографированием. Интервал фиксации профиля модели составлял $t = 1, 3, 5, 15, 30, 45, 60$ минут и далее через каждые 20 минут до окончательной стабилизации процесса. Обработка результатов измерений состояла в определении величины линейной переработки откоса модели на различных промежутках времени. Для решения поставленных задач было произведено четыре серии опытов.

Первая серия опытов и последующие проводились с целью определения степени влияния изменения уровня режима при различных высотах волн на интенсивность и масштабы деформации тела модели. Изначально производился размыв профиля откоса заложением 1:3 при высоте волны 0,04 м. После достижения статического равновесия профиля (разница между последующим и предыдущим замерами деформаций не превышала 5 мм) осуществлялось плавное поднятие (понижение) без остановки волнопродуктора уровня воды в лотке на 0,05 м. Опыт прекращался после выработки профиля равновесия при установленном положении уровня воды – количество выносимого грунта из тела модели практически равнялось нулю, а разрушения не наблюдалось. В таком порядке исследования проводились и для волн высотой 0,06 и 0,08 м. Вторая и третья серии опытов различались высотой поднятия уровня воды в волновом лотке, которые составляли 0,07 и 0,10 м. Высота волн и состав грунта при этом не изменялись.

Четвертая серия опытов была направлена на изучение влияния понижения уровня воды на 0,05 м для волн высотой 0,04; 0,06 и 0,08 м на динамику и масштабы деформации тела модели.

Переработка берегового склона при различных высотах волн и поднятия уровня воды характеризовалась графиками изменения величины линейной деформации, приведенными на рисунке 7.



поднятие уровня воды в волновом лотке:
а – на 0,05 м; б – на 0,07 м; в – 0,1 м

Рисунок 7 – Величина линейной переработки при различных высотах волн и поднятия уровня воды

Результаты опытов, представленные в таблице 1, указывают на то, что уменьшение времени стабилизации и достижения стадии равновесия профиля зависит от величины уровня поднятия воды.

Таблица 1 – Деформация модели при различной высоте волны и уровне воды

Номер опыта	Количество опытов	Высота волны, м	Увеличение уровня воды, м	Величина деформации, м	Время наступления равновесия, мин
1.1б	3	0,04	0,05	0,25	80
1.2б		0,06		0,23	30
1.3б		0,08		0,25	30
2.1б	3	0,04	0,07	0,34	100
2.2б		0,06		0,38	80
2.3б		0,08		0,4	80
3.1б	3	0,04	0,10	0,43	100
3.2б		0,06		0,47	100
3.3б		0,08		0,46	60

Для характеристики деформации тела модели по результатам лабораторных исследований был предложен коэффициент разрушения, который вычислялся по зависимости вида (3). Значение данного коэффициента представлено в таблице 2.

$$k_p = S_1 / S_2, \quad (3)$$

где S_1 – величина линейной переработки до изменения уровня режима, м;
 S_2 – величина линейной переработки после изменения уровня режима, м.

Для применения данного критерия при изменении гидрологических характеристик водохранилищ в природных условиях в таблице 2 представлены его значения.

Таблица 2 – Коэффициент отступления тела модели для применения его в природных условиях

Величина линейной переработки в лабораторных условиях, м		Значение коэффициента
До поднятия уровня на 0,05 м	После поднятия уровня на 0,05 м	2,4
0,52	0,24	
До поднятия уровня на 0,07 м	После поднятия уровня на 0,07 м	1,35
0,5	0,37	
До поднятия уровня на 0,1 м	После поднятия уровня на 0,1 м	1,11
0,5	0,45	

Обработка результатов четвертой серии опытов свидетельствует о том, что сработка уровней на деформацию тела модели не влияет, а изменения происходят только в подводной части модели с увеличением ее ширины по мере изменения высоты волны (таблица 3).

Таблица 3 – Характеристики профиля подводной части отмели при сработке уровня воды

Номер опыта	Количество опытов	Высота волны, м	Сработка уровня, м	Ширина подводной части, м
4.1	3	0,04	0,05	0,45
4.2	3	0,06		0,71
4.3	3	0,08		0,87

В четвертой главе уточнены и дополнены берегоформирующие факторы и условия, влияющие на развитие и активизацию абразионных процессов в связи с трансформацией гидрологического режима некоторых водохранилищ и озер. В основу анализа положены данные по четырем водохранилищам (Заславское, Осиповичское, Лепельское, Краснослободское и др.), на которых были определены характерные участки абразии коренных берегов с разбивкой их на створы и поперечники. Количество последних составляло более 15

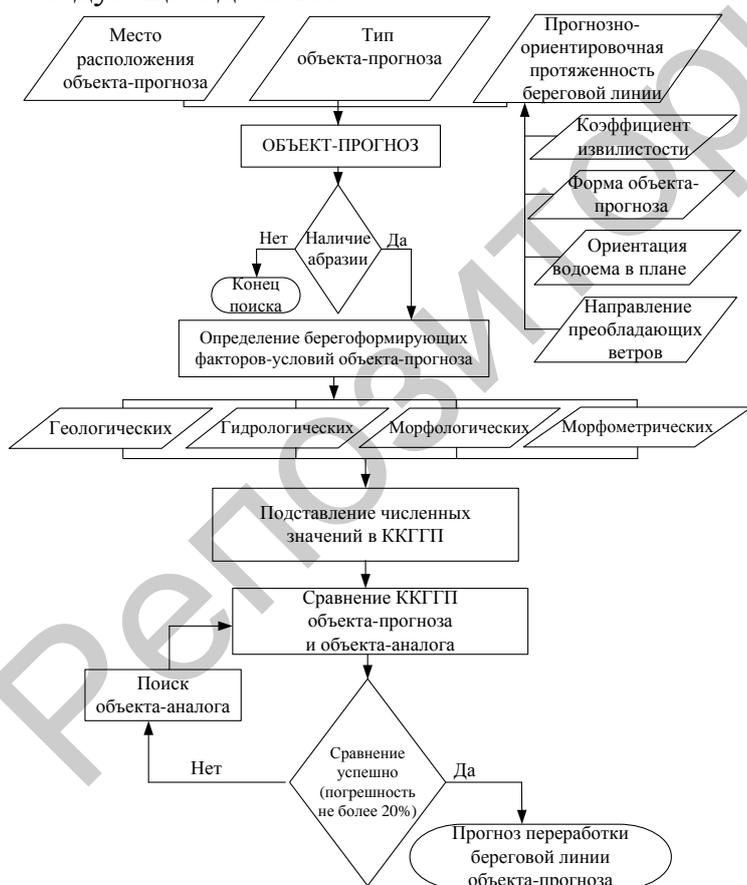
единиц по каждому водоему. Расчеты коэффициентов корреляции и тесноты связей между факторами-условиями и параметрами разрушаемого склона производились с помощью стандартного программного обеспечения. Результаты обработки натуральных данных установили, что характеристики профиля, в дополнение к существующим, хорошо коррелируют с обеспеченностью активных уровней и поднятием уровня воды.

На основании берегоформирующих факторов и условий для прогнозирования абразионных процессов методом природных аналогов (МПА) разработаны комплексный критерий гидролого-геоморфологического подобия (ККГТП) и альбом природных аналогов.

Предложены МПА и алгоритм прогнозирования переработки береговых склонов с использованием ККГТП, который выполняется в строго последовательных действиях, поэтапно сменяющих друг друга (рисунок 8).

1. Оценка расположения объекта-аналога и объекта-прогноза.

При составлении алгоритма прогноза переработки береговых склонов МПА первоначальным является определение прогнозно-ориентировочной протяженности береговой линии, подверженной процессам абразии, на основе следующих данных:



- а) месторасположение водоема;
- б) коэффициент извилистости береговой линии объекта-прогноза;
- в) ориентация водоема в плане;
- г) преобладающее направление ветров;
- д) форма объекта-прогноза.

2. Установление наличия или отсутствия переработки береговых склонов на объекте-прогнозе.

3. При наличии абразии производится учет гидрометеорологических факторов и условий для прогноза: определение параметров уровня режима (обеспеченности «активных» уровней) и повторяемости ветров преобладающего направления.

Рисунок 8 – Алгоритм прогноза переработки береговых склонов МПА

Оценка морфометрических, гидрологических характеристик и геоморфологических показателей берегового склона объекта-прогноза. Для характеристик ветро-волнового режима при прогнозе переработки МПА определяются длина разгона волны (D_p), средняя глубина водохранилища по длине разгона ($\overline{h_D}$), высота волны 1%-й обеспеченности в режиме ($h_{1\%}$). К морфологическим характеристикам берегового склона относят его высоту ($H_{СК}$), ширину подводной части отмели ($B_{П}$) и глубину на внешнем краю отмели ($H_{ГЛ}$). Геологическое строение разрушаемого берегового склона характеризуется коэффициентом неоднородности (η) и средневзвешенным диаметром (d_{50}).

4. Подставление полученных численных значений в ККГП (безразмерный показатель).

5. Сравнение ККГП.

Условие подобия при прогнозировании переработки береговых склонов МПА между объектом-аналогом и объектом-прогноза записывается в следующем виде:

$$F_A(x_1^a, x_2^a, x_3^a, x_4^a, x_5^a, x_6^a, x_7^a, x_8^a, x_9^a, x_{10}^a) \in F_{\Pi}(x_1^{\Pi}, x_2^{\Pi}, x_3^{\Pi}, x_4^{\Pi}, x_5^{\Pi}, x_6^{\Pi}, x_7^{\Pi}, x_8^{\Pi}, x_9^{\Pi}, x_{10}^{\Pi}), \quad (4)$$

где x_i – характеристики, формирующие переработку берегового склона, а их сочетания являются критериями подобия (морфометрические, гидрологические, геоморфологические); а – индекс объекта-аналога; Π – индекс объекта-прогноза.

Полученные численные значения ККГП объекта-прогноза сравниваются с имеющимися значениями объекта-аналога. В случае выполнения необходимых условий по формуле (5) определяются возможные масштабы переработки берегового склона, а также ущербы, способы защиты и т. д.

$$q = \frac{\sum F_{A_i}^{кр} - \sum F_{\Pi_i}^{кр}}{\sum F_{A_i}^{кр}} \geq 20 \% . \quad (5)$$

При невыполнении данных требований следует заново провести поиск объекта-аналога с последующим определением требуемых характеристик и условий, необходимых для прогнозирования абразионных процессов берегов МПА.

В таблице 4 представлены необходимые граничные условия для прогнозирования абразионных процессов береговых склонов для участков береговой линии.

Таблица 4 – Необходимые условия для соблюдения подобия при применении МПА для участков береговой линии

Тип водоема	Значение критериев подобия, входящие в ККГП										Линейная переработка, м, S_t	
	Морфометрические		Гидрологические				Геоморфологические					
	M_{KH}	M'_{KH}	M_{KA}	M'_{KA}	M_{KG}	M'_{KG}	M_{Kd}	M_{KB}	M_{Kc}	M'_{KB}		
Русловое	1	433÷761	–	$(0,56÷3,46) \cdot 10^{-3}$	$0,49÷0,62$	$0,61÷1,28$	–	$(3,91÷1140) \cdot 10^3$	$3,46÷16,7$	$0,16÷14,24$	–	3,3÷10,9
	2	761	–	$(0,26÷0,57) \cdot 10^{-3}$	$0,84÷1,37$	$0,32÷0,75$	–	$(4,6÷1340) \cdot 10^4$	$10,8÷22,5$	$0,16÷13,03$	–	1,3÷3,3
Озерное		163,7÷428	107,7÷282	$(2,5÷3,5) \cdot 10^{-4}$	$0,86÷1,27$	$0,9÷1,35$	$0,17÷0,18$	$(1,88÷216,5) \cdot 10^4$	$3,7÷10$	$1,1÷55,6$	$0,5÷1,36$	7,3÷23,3

Примечание – 1 – до изменения гидрологических условий; 2 – после изменения гидрологических условий.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные научные результаты диссертации

1. Разработана методика проведения стационарных и рекогносцировочных натурных наблюдений за абразионными процессами коренных береговых склонов в условиях водохранилищ Республики Беларусь с трансформированным уровенным режимом [2].

2. На базе материалов проведенных стационарных многолетних натурных наблюдений и рекогносцировочных обследований тестовых водоемов за абразионными процессами установлено, что в настоящее время происходит разрушение коренных берегов более чем на 80 % обследованных водных объектах с общей протяженностью береговой линии около 25 км. Стационарные наблюдения проводились на четырех тестовых водохранилищах различного типа, характерных для Республики Беларусь: Осиповичском (7 створов), Лепельском (9 створов), Заславском (14 створов) и Краснослободском (3 створа), которые имеют сеть стационарных наблюдений и характеризуются трансформированным уровенным режимом, вызванным изменением условий эксплуатации. Установлено, что активизация и развитие процессов переработки зависят от трансформации гидрологического режима водоема, характеризуемого колебанием уровня воды в условиях измененных отметок верхнего бьефа (НПУ) и увеличением обеспеченности активных уровней [3, 4, 13, 17]. Уточнена карта районирования Республики Беларусь по развитию абразионных процессов на водохранилищах [3, 20].

3. Установлены различия в динамике развития и характере протекания процесса абразии береговых склонов в условиях водохранилищ руслового и озерного типов с измененным (трансформированным) уровенным режимом. У озерных водохранилищ переработка берегов наблюдается по всему

периметру водоема (Лепельское водохранилище). У водохранилищ руслового типа четко выражена дифференциация береговых процессов по масштабам и интенсивности в зависимости от гидрологических зон. Наибольшей переработке склонов подвергаются берега, находящиеся в приплотинной плесовой части водоема [5, 14].

4. Получены основные закономерности распределения во времени деформаций и характеристик размываемого тела модели при различных высотах волн: 0,04; 0,06 и 0,08 м и соответствующем поднятии уровня воды на 0,05; 0,07 и 0,1 м, а также уменьшении последнего на 0,05 м при тех же высотах волн [4, 6, 15].

В результате лабораторных исследований установлено:

- совместное воздействие волнения и изменения уровня воды в волновом лотке (в случае подъема уровня) ведет к наибольшей интенсивности и линейным масштабам деформации тела модели;

- уменьшение времени разрушения и стабилизации модели берегового склона зависит от высоты поднятия уровня;

- уменьшение положения уровня воды при различных высотах волн не приводит к деформации надводной части тела модели, а затрагивает лишь подводную;

- предложен коэффициент разрушения берегового склона для его учета в натуральных условиях при изменении гидрологического режима водохранилища или естественного водного объекта – озера, численное значение которого составляет при повышении уровня воды на 0,5 м – 2,4; на 0,7 м – 1,35 и на 1,0 м – 1,11 [4, 6].

5. Методом парной корреляции установлена степень воздействия берегоформирующих факторов-условий на активизацию и протекание процессов переработки незакрепленных коренных береговых склонов с учетом изменения гидрологических характеристик русловых водохранилищ и естественных озер до и после трансформации последних в водохранилища озерного типа. Последнее характеризуется в условиях естественных озер поднятием уровня воды (Лепельское водохранилище), а применительно к существующим водохранилищам руслового типа – увеличением обеспеченности активных уровней (Осиповичское, Заславское, Краснослободское водохранилища) [7, 10, 17].

6. Разработан метод природных аналогов для прогнозирования абразионных процессов в условиях водохранилищ Республики Беларусь при трансформации уровня режима. Применение полученного метода на основе комплексного критерия гидролого-геоморфологического подобия позволяет прогнозировать развитие и протекание процессов абразии незакрепленных коренных берегов на водохранилищах Республики Беларусь

при вводе в эксплуатацию новых и в случае изменения гидрологических условий существующих водохранилищ [11, 16, 18, 19].

7. Разработаны критерии подобия, совокупность которых позволила получить вероятностно-статистическую модель – комплексный критерий гидролого-геоморфологического подобия для прогнозирования переработки коренных берегов водохранилищ. Установлены численные значения критериев, входящие в состав ККГГП, и граничные условия их применения для прогнозирования абразионных процессов в условиях водохранилищ Республики Беларусь [7, 9–11].

8. Предложены «Методические рекомендации по прогнозированию деформаций (переработки) берегов проектируемых и находящихся в эксплуатации водохранилищ Беларуси методом природных аналогов», которые могут быть использованы органами и подразделениями по чрезвычайным ситуациям, а также заинтересованными при мониторинге прилегающих территорий в целях предупреждения чрезвычайных ситуаций на водных объектах страны [20].

Рекомендации по практическому использованию результатов

1. Разработанный метод природных аналогов, методические рекомендации и альбом аналогов могут быть использованы в органах и подразделениях по чрезвычайным ситуациям при прогнозировании переработки коренных берегов водохранилищ с указанием возможных масштабов, а также при разработке мероприятий по ликвидации и предупреждению чрезвычайных ситуаций природного характера на данных водных объектах и прилегающей территории.

2. Результаты экспериментальных лабораторных исследований устойчивости откосов от ветрового волнения использовались при проектировании объекта: «Инженерные мероприятия по строительству Хотомельского перепуска Столинского района Брестской области» (РУП «Белгипроводхоз», Минск, 2010).

3. При реконструкции Гомельской, Браславской, Богинской, Жемьльславской гидроэлектростанций (проекты реконструкции ООО «Гидроэнергопроект», Минск, 2011) по водохранилищам проведен расчет переработки незакрепленных коренных берегов на основе разработанного метода природных аналогов с использованием критериев подобия.

4. «Методические рекомендации по прогнозированию деформаций (переработки) берегов проектируемых и находящихся в эксплуатации водохранилищ Беларуси методом природных аналогов» могут быть использованы в учебном процессе при подготовке специалистов соответствующей квалификации.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ

Статьи, опубликованные в рецензируемых журналах

1. Кобяк, В.В. Оценка ущерба от абразионных риск-процессов на водных объектах Республики Беларусь / В.В. Кобяк [и др.] // Вестн. Команд.-инженер. ин-та МЧС Респ. Беларусь. – 2008. – № 2 (8). – С. 69–73.
2. Кобяк, В.В. Методика проведения натуральных наблюдений за процессами деформации (абразии) коренных берегов водохранилищ / В.В. Кобяк, М.С. Кукшинов // Вестн. Команд.-инженер. ин-та МЧС Респ. Беларусь. – 2011. – № 2 (13). – С. 55–61.
3. Кобяк, В.В. Активизация береговых деформаций на водохранилищах Беларуси как фактор возникновения чрезвычайных ситуаций / В.Е. Левкевич, В.В. Кобяк, М.С. Кукшинов // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация. – 2011. – № 1 (29). – С. 64–76.
4. Кобяк, В.В. Результаты лабораторных и натуральных исследований береговых процессов водохранилищ Беларуси / В.В. Кобяк // Вестн. Команд.-инженер. ин-та МЧС Респ. Беларусь. – 2011. – № 1 (13). – С. 15–22.
5. Кобяк, В.В. К методике оценки абразионного риска на водохранилищах Республики Беларусь / В.В. Кобяк [и др.] // Вестн. Команд.-инженер. ин-та МЧС Респ. Беларусь. – 2007. – № 1 (5). – С. 56–63.
6. Кобяк, В.В. Расчет коэффициента разрушения на основе результатов лабораторных и натуральных исследований профиля равновесия берегового склона / В.Е. Левкевич, В.В. Кобяк // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация. – № 2 (32). – С. 69–76.
7. Кобяк, В.В. Моделирование процесса переработка береговых склонов водохранилищ мелиоративного назначения созданных на базе озер / В.В. Кобяк // Науч.-практ. журн. «Мелиорация». – 2010. – № 2 (64). – С. 70–78.
8. Кобяк, В.В. Причины нарушения устойчивости защитных сооружений на искусственных водных объектах / В.Е. Левкевич, В.В. Кобяк, А.В. Бузук // Науч.-практ. журн. «Мелиорация». – 2009. – № 1 (61). – С. 79–85.
9. Кобяк, В.В. Применение критериев подобия для оценки абразионных рисков на водохранилищах мелиоративного назначения, созданных на базе естественных озер / В.Е. Левкевич, В.В. Кобяк // Науч.-практ. журн. «Мелиорация». – 2009. – № 1 (61). – С. 72–79.
10. Кобяк, В.В. Прогнозирование абразионных процессов водохранилищ Республики Беларусь методом природных аналогов / В.В. Кобяк // Вестн. Команд.-инженер. ин-та МЧС Респ. Беларусь. – 2010. – № 2 (12). – С. 47–58.
11. Кобяк, В.В. Разработка алгоритма прогноза деформации береговых

склонов водохранилищ Беларуси с использованием альбома природных аналогов / В.В. Кобяк // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация. – 2011. – № 2 (30). – С. 107–118.

12. Кобяк, В.В. Показатели подобия абразионных процессов на искусственных и естественных водных объектах / В.Е. Левкевич, В.В. Кобяк // Вестн. Команд.-инженер. ин-та МЧС Респ. Беларусь. – 2008. – № 1 (7). – С. 13–18.

Материалы и доклады конференций

13. Левкевич, В.Е. Оценка влияния процессов переработки береговых склонов на возникновение гидродинамических аварий / В.Е. Левкевич, С.М. Пастухов, В.В. Кобяк // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация: сб. докл. IV Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 6–8 июня 2007 г. / НИИ ПБ и ЧС МЧС Респ. Беларусь, редкол.: Э.Р. Бариев [и др.]. – Минск, 2007. – С. 160–166.

14. Левкевич, В.Е. Двухфазная модель развития деформации береговых склонов водохранилищ при трансформации гидрологического режима / В.Е. Левкевич, В.В. Кобяк // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация: сб. тез. докл. VI Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 8–9 июня 2011 г.: в 2 т. / НИИ ПБ и ЧС МЧС Респ. Беларусь, редкол.: А.Ю. Лупей [и др.]. – Минск, 2011. – Т. 1. – С. 410–412.

15. Кобяк, В.В. Моделирование абразионных процессов водохранилищ Республики Беларусь / В.В. Кобяк, В.Е. Левкевич // Чрезвычайные ситуации: теория, практика, инновации: сб. материалов науч.-практ. конференции, Гомель, 27–28 мая 2010 г.: в 2 ч. / Гомельский инженер. ин-т; редкол.: А.А. Поташкин. – Гомель, 2010. – Ч. 1. – С. 112–113.

16. Касперов, Г.И. Оценка возникновения абразионных риск-процессов на водохранилищах Беларуси / Г.И. Касперов, В.Е. Левкевич, В.В. Кобяк, С.М. Пастухов // ГЕОРИСК–2009: материалы Междунар. науч.-практ. конф., Москва, 21 мая 2009 г.: в 2 т. / РУДН; редкол.: В.Н. Бурова. – М., 2009. – Т. 2. – С. 95–96.

Тезисы докладов

17. Левкевич, В.Е. Закономерности развития береговой зоны озер и водохранилищ озерного типа Беларуси / В.Е. Левкевич, В.В. Кобяк, А.В. Бузук // Озерные экосистемы: биологические процессы, антропогенная трансформация, качество воды: материалы междунар. науч. конф., посвящ.

90-летию геогр. фак. БГУ, Минск, 12–17 сент. 2011 г. / Белорус. гос. ун-т, Белорус. геогр. о-во; редкол.: Т.М. Михеева [и др.]. – Минск, 2011. – С. 201.

18. Левкевич, В.Е. Применение метода аналогий при прогнозировании абразионных-риск процессов на водных объектах Республики Беларусь / В.Е. Левкевич, В.В. Кобяк // Природная среда Полесья: особенности и перспективы развития: сб. тез. докл. IV Междунар. науч. конф., Брест, 10–12 сент. 2008 г. / Полесский аграрно-эколог. ун-т; редкол.: Н.В. Михальчук (отв. ред.), А.А. Волчек, Н.М. Шпендик. – Брест, 2008. – С. 256.

19. Левкевич, В.Е. Прогнозирование абразионных риск-процессов на водных объектах Республики Беларусь / В.Е. Левкевич, В.В. Кобяк // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация: сб. тез. докл. V Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 8–10 июля 2009 г.: в 2 т. / НИИ ПБ и ЧС МЧС Респ. Беларусь, редкол.: Э.Р. Бариев [и др.]. – Минск, 2009. – Т. 2. – С. 182–184.

Учебно-методические материалы

20. Левкевич, В.Е. Методические рекомендации по прогнозированию деформации (переработки) берегов проектируемых и находящихся в эксплуатации водохранилищ Беларуси методом природных аналогов / В.Е. Левкевич, В.В. Кобяк. – Минск: «Право и экономика», 2011. – 46 с.

РЭЗІЮМЭ

Кабяк Валерый Віктаравіч

ПРАГНОЗ АБРАЗІЙНЫХ ПРАЦЭСАЎ НА ВАДАСХОВІШЧАХ З ТРАНСФАРМАВАНЫМ УЗРОЎНЕВЫМ РЭЖЫМАМ

Ключавыя словы: вадасховішча, аб'ект-прагноз, аб'ект-аналаг, абразіў, перапрацоўка берагавых склонаў, дэфармацыя берагоў, прагноз, берагавая лінія, метады прыродных аналагаў, крытэрыі падабенства.

Мэта работы. Павышэнне дакладнасці прагнозу перапрацоўкі неабароненых берагавых схілаў на вадасховішчах Рэспублікі Беларусь.

Метады даследавання і апаратура. Агульная метадалогія работы ўключае спалучэнне натуральных назіранняў і лабараторных даследаванняў за абразіяй берагоў вадасховішчаў з трансфармаваным узроўневым рэжымам. Для рэгістрацыі параметраў пры правядзенні натуральных і лабараторных даследаванняў выкарыстоўваліся: валнамерная рэйка, нівелір, анемометр чашачны, камплект фізічных, гідралагічных і баціметрычных карт, лінейка, лазерны дальнамер, рулетка, мерныя іголки, фота- і відэакамера.

Атрыманыя вынікі і іх навізна. Праведзена ацэнка маштабаў і дынамікі працэсаў дэфармацыі берагоў на вадасховішчах Рэспублікі Беларусь, якая ўлічвае змены рэжыму іх эксплуатацыі. Атрыманы значэнні дэфармацыі берагавых схілаў на аснове эксперыментальна ўстаноўленых у лабараторных умовах вопытаў, з улікам сумеснага ўздзеяння хвалевага і ўзроўневага рэжымаў. Распрацаваны комплексны крытэрыі гідралага-геамарфалагічнага падабенства, які ўлічвае змяненне гідралагічных умоў, марфаметрычных і марфалагічных характарыстык вадасховішча і дэфармаванага берагавага схілу, які з'яўляецца асновай метадыкі прагнозу перапрацоўкі берагоў метадам прыродных аналагаў. Распрацавана метадыка прагнозу абразійных працэсаў на вадасховішчах з трансфармаваным узроўневым рэжымам з выкарыстаннем альбома прыродных аналагаў.

Рэкамендацыі па выкарыстанні. Вынікі дысертацыйнага даследавання могуць быць выкарыстаны ў праектных арганізацыях для прагназавання дэфармацыі берагоў вадасховішчаў з паказваннем магчымых маштабаў, а таксама пры распрацоўцы мерапрыемстваў па ліквідацыі і папярэджанню негатыўных наступстваў ад працякання абразійных працэсаў на дадзеных водных аб'ектах і тэрыторыі, якая прылягае.

Галіна выкарыстання. Праектна-канструктарскія арганізацыі, вышэйшыя навучальныя ўстановы, органы і падраздзяленні Міністэрства па надзвычайных сітуацыях.

РЕЗЮМЕ

Кобяк Валерий Викторович

ПРОГНОЗ АБРАЗИОННЫХ ПРОЦЕССОВ НА ВОДОХРАНИЛИЩАХ С ТРАНСФОРМИРОВАННЫМ УРОВНЕВЫМ РЕЖИМОМ

Ключевые слова: водохранилище, объект-прогноз, объект-аналог, абразия, переработка береговых склонов, деформация берегов, прогноз, береговая линия, метод природных аналогов, критерии подобия.

Цель работы. Повышение достоверности прогноза переработки незащищенных береговых склонов на водохранилищах Республики Беларусь.

Методы исследования и аппаратура. Общая методология работы включает сочетание натурных наблюдений и лабораторных исследований за абразией берегов водохранилищ с трансформированным уровневый режимом. Для регистрации параметров при проведении натурных и лабораторных исследований использовались: волномерная рейка, нивелир, анемометр чашечный, комплект физических, гидрологических и батиметрических карт, линейка, лазерный дальномер, рулетка, мерные иглы, фото- и видеокамера.

Полученные результаты и их новизна. Проведена оценка масштабов и динамики процессов деформации берегов на водохранилищах Республики Беларусь, учитывающая изменения режима их эксплуатации. Получены значения деформации береговых склонов на основе экспериментально установленных в лабораторных условиях опытов с учетом совместного воздействия волнового и уровневого режимов. Разработан комплексный критерий гидролого-геоморфологического подобия, учитывающий изменения гидрологических условий, морфометрических и морфологических характеристик водохранилища и деформируемого берегового склона, являющийся основой методики прогноза переработки берегов методом природных аналогов. Разработана методика прогноза абразионных процессов на водохранилищах с трансформированным уровневый режимом с использованием альбома природных аналогов.

Рекомендации по использованию. Результаты диссертационного исследования могут быть использованы в проектных организациях для прогнозирования деформации берегов водохранилищ с указанием возможных масштабов, а также при разработке мероприятий по ликвидации и предупреждению негативных последствий от протекания абразионных процессов на данных водных объектах и прилегающей территории.

Область применения. Проектно-конструкторские организации, высшие учебные заведения, органы и подразделения Министерства по чрезвычайным ситуациям.

SUMMARY

Valery Kabiak

The forecast of abrasion processes on the reservoir with the transformed level regime

Keywords: storage reservoir, artificial water body, object-forecast, object-analogue, abrasion, deformation of the coastal slopes, forecast, coastline, method of natural analogues (counterparts), criteria of similarity.

Objective: increasing the reliability of the forecast destruction of unprotected coastal slopes in reservoirs of The Republic of Belarus.

Research methods and equipment. The general methodology of work includes a combination of natural observations and laboratory studies of the coast slopes deformation processes of reservoirs in the transformation of their hydrological mode. To register parameters during natural and laboratory research and data processing were used: wave staff, batter level, cup-tip wind meter, set of physical, hydrological and bathymetric maps, ruler, laser range finder, tape measure, measuring needles, photo and video camera.

Obtained results and novelty. The assessment of the extent and dynamics of the processes of the shores deformation on reservoirs of The Republic of Belarus, taking into account changes in the mode of their exploitation was held. The values of the deformation of the coastal slopes based on experimentally established in the laboratory experiments, taking into account the combined effects of wave and level mode was received. The complex criterion of hydrologo-geomorphological similarity considering change of hydrological conditions, morphometric and morphological characteristics of the reservoir and the deformable coastal slope, being a basis of a technique of the forecast change of coast was developed by the method of natural analogs. The technique of the forecast of abrasion processes on reservoirs with the transformed level regime with usage of an album of natural analogs was developed.

Recommendations for use. The results of dissertation research can be used by design organizations in the design of new reservoirs and bank facilities, as well as in the bodies and departments in the development of operational and long-term forecasts of natural origin emergencies of water bodies.

Field of application. Design organizations, universities, agencies and departments of emergency situations.

Кобяк Валерий Викторович

**ПРОГНОЗ АБРАЗИОННЫХ ПРОЦЕССОВ НА ВОДОХРАНИЛИЩАХ
С ТРАНСФОРМИРОВАННЫМ УРОВЕННЫМ РЕЖИМОМ**

Автореферат диссертации
на соискание ученой степени кандидата технических наук
по специальности 05.23.07 – гидротехническое и мелиоративное строительство

Подписано в печать 02.04.2013.
Формат 60x84 1/16. Бумага офсетная.
Гарнитура Таймс. Печать цифровая.
Усл. печ. л. 1,3. Уч.-изд. л. 1,1.
Тираж 60. Заказ 101-2013.

Полиграфическое исполнение:
Государственное учреждение образования
«Командно-инженерный институт»
Министерства по чрезвычайным ситуациям
Республики Беларусь
ЛИ № 02330/0552551 выд. 15.09.2009 г.
ЛП № 02330/419 выд. 16.07.2012 г.
Ул. Машиностроителей, 25, 220118, Минск.