

РАСЧЕТ ВОЗНИКНОВЕНИЯ РИСКОВ ПРИРОДНОГО ХАРАКТЕРА НА ВОДОХРАНИЛИЩАХ БЕЛАРУСИ С УЧЕТОМ ГЛОБАЛЬНОГО ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА

Касперов Г.И.¹, Левкевич В.Е.², Пастухов С.М.³, Мильман В.А.⁴

¹*Белорусский государственный технологический университет,
г. Минск, Беларусь. E-mail: borki1959@mail.ru*

²*Белорусский национальный технический университет, г. Минск,
Беларусь. E-mail: eco2014@tut.by*

³*Университет гражданской защиты МЧС Республики Беларусь,
г. Минск, Беларусь. E-mail: plamennyj98@gmail.com*

⁴*Объединенный институт проблем информатики Национальной
академии наук Беларуси, г. Минск, Беларусь.
E-mail: milman@newman.bas-net.by*

На интенсивность развития абразионных процессов на водохранилищах в значительной степени влияют климатические и метеофакторы: продолжительность безледного периода и периода ледостава. Длительность периода ледостава для условий Белоруссии в среднем составляет 4,5 месяца. Вскрытие водоемов обычно происходит во второй половине марта, а полностью его поверхность освобождается ото льда в первой половине апреля. Наименьшие толщины льда приурочены верховьям (0,20–0,35 м), наибольшая мощность ледового покрова наблюдается в приплотинной части водоема (0,55–0,70 м).

Ледоставу соответствует понижение (сработка) уровней в водохранилищах. В этот период лед лежит ниже береговой отмели и не оказывает никакого воздействия на берег и крепления откосов. Учитывая тенденции глобального потепления климата, установленные Институтом глобального климата и экологии Росгидромета и РАН, наблюдается изменения температурного режима Европейского континента и Белорусского региона в частности, который ведет к уменьшению периода ледостава и, соответственно, к увеличению времени воздействия ветрового волнения на берег с развитием абразионного риска прилегающим территориям (рис. 1).

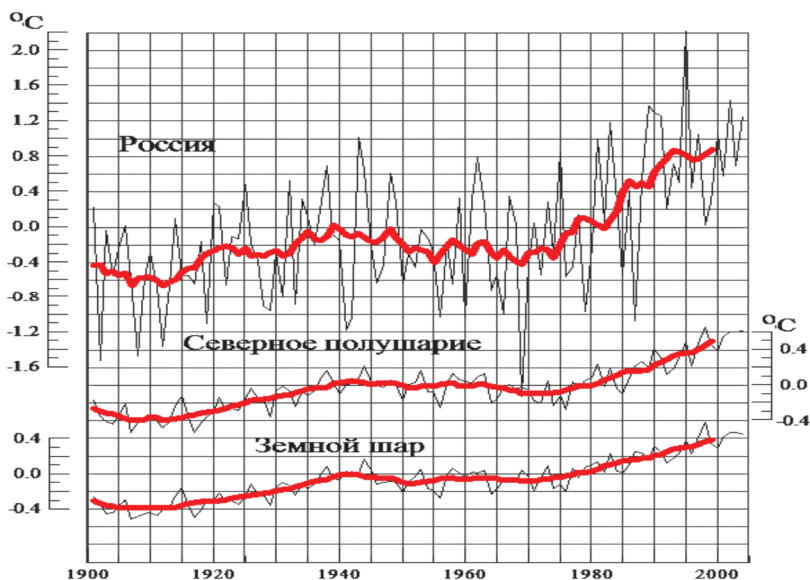


Рис. 1. Средненные аномалии среднегодовой температуры приземного воздуха для территории России, Северного полушария и земного шара

Под термином «абразионный риск» понимается произведение вероятности развития процесса абразии на конкретном водохранилище на возможный ущерб от данного процесса за промежуток времени, равный 1 году, либо за период наблюдений.

В общем виде абразионный риск определяется:

$$R = \sum P_{\phi_i}^n U, \quad (1)$$

где P_{ϕ_i} – вероятность возникновения i -го рискообразующего фактора на рассматриваемом водном объекте, 1/год; n – количество рискообразующих факторов; U – возможный ущерб от процесса абразии, тыс. руб.

Применительно к процессу абразии или переработки береговых склонов на водохранилищах понятие «риск» относится к возможным воздействиям на объект и его реакции на эти воздей-

ствия. В качестве объекта принимается береговой склон водохранилища либо верховой незакрепленный откос дамбы или земляной плотины. Под воздействиями понимаются основные факторы и условия, приводящие к переработке (абразии) берега.

Согласно разработанному алгоритму [1,2] предварительно определяются: критерии абразионной опасности. К основным критериям абразионной опасности относятся: величина линейной переработки S_b , интенсивность переработки Q_b и скорость переработки берега V_{Sr} . В случае, когда значения параметров процесса абразии меньше порогового, то для них оценка риска не требуется, а производится лишь определение времени стабилизации процесса.

Для большинства искусственных водных объектов Беларуси значения критериев абразионной опасности превышают минимальные пределы, поэтому для таких водоемов необходимо проводить анализ и оценку риска и ущерба с проведением долгосрочного прогноза переработки берегов на конечный срок эксплуатации водоема и разработкой предложений по берегозащите.

Определение вероятности (частоты) возникновения абразии производится на основании статистических данных об рискообразующих факторах. Согласно разработанному алгоритму *на I этапе определяются критерии абразионной опасности*, т.е. значения параметров, характеризующих профиль переработки при котором процесс абразии приобретает рискообразующие масштабы.

На проектируемых водоемах и водоемах, находящихся в стадии ввода в эксплуатацию, необходимо разрабатывать предложения по недопущению возникновения абразионных процессов с учетом предварительного прогноза переработки, оценки риска и только потом принимать управленческие решения по берегозащите.

Ко *II этапу оценки риска* относится определение вероятности (частоты) возникновения абразии на основании статистических данных об рискообразующих факторах, а также определение возможного ущерба от рассматриваемого процесса. По результатам выполненного этапа проводится типизация процесса абразии

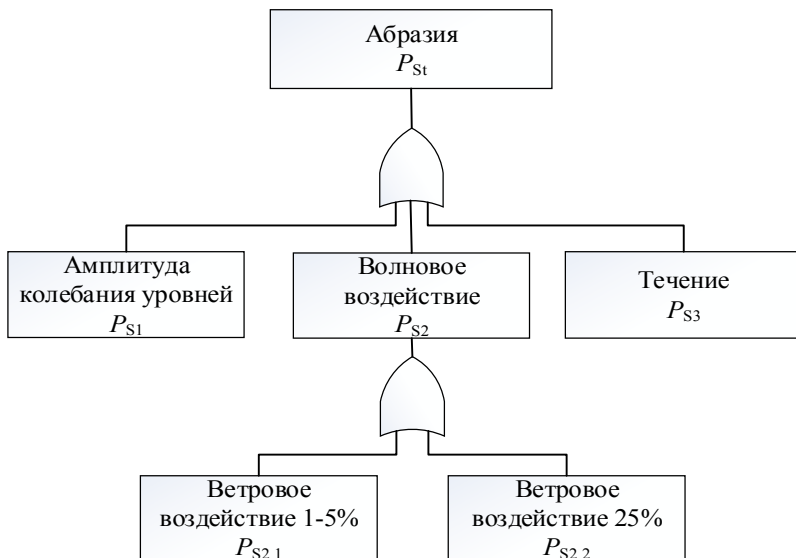
по полученным значениям вероятности возникновения, а также разрабатывается комплекс мероприятий и предложений, направленных на снижение абразионного риска.

Параллельно с оценкой вероятности от процесса абразии выполняется долгосрочный прогноз переработки берегов на конечный срок эксплуатации водоемов. На основе оценки статистической информации определяется вероятность возникновения рискообразующих факторов: ветрового воздействия, ветрового волнения, колебания уровней воды, перемещения наносов, воздействие течений.

При наличии данных строится графоаналитическая зависимость («дерево отказов») по расчету вероятности в зависимости от причин, вызывающих процесс абразии. Построение схемы по оценке вероятности представлено на рис. 2. Из представленной схемы видно, что основополагающим фактором в формировании берегов абразионного типа является ветровое воздействие, которое генерирует возникновение волновых колебаний различной обеспеченности. Процесс переработки берега в зависимости от сочетания факторов может развиваться по трем сценариям.

Сценарий 1 – на развитие абразии влияет *только амплитуда колебания уровней воды* в водохранилище, остальные факторы являются незначительными. Данный сценарий развития абразии наиболее характерен для средних водохранилищ сезонного и суточного регулирования стока.

Сценарий 2 – на развитие процесса в первую очередь оказывает влияние *ветровое воздействие, которое вызывает возникновение волн* различной обеспеченности, которые, в свою очередь, способствуют размыву подводной и надводной частей береговой отмели и верховых откосов дамб и плотин. Вследствие размыва грунта, образующего берег (откос), происходит движение наносов в продольном и поперечном направлении, в результате чего возможно образование аккумулятивных береговых форм (пересыпей, фестонов, кос и т.д.). Данный сценарий наиболее характерен для большинства водохранилищ Республики Беларусь.



– логический знак «ИЛИ», означающий, что выходное событие происходит в том случае, если случается любое из входных событий

Рис. 2. Схема дерева отказов для оценки вероятности возникновения абразии-переработки береговых склонов [3]

Сценарий 3 – на процесс абразии оказывает влияние *только вдольбереговое и стоковое течение*, остальные факторы существенного влияния не создают. Данный сценарий характерен для водохранилищ преимущественного руслового типа, вытянутой формы в плане, в которых течения играют основную берегоформирующую роль.

Конечная вероятность возникновения рассматриваемого процесса переработки в общем виде определяется по следующей формуле:

$$P(S_i) = P_{S1} + P_{S2} + P_{S3} - P_{S1} P_{S2} - P_{S2} P_{S3} - P_{S1} P_{S3} + P_{S1} P_{S2} P_{S3}, \quad (2)$$

где $P(S_i)$ – вероятность возникновения процесса абразии берега, 1/год; P_{S1} – частота (обеспеченность) амплитуды колебания уров-

ней, 1/год; 1/год P_{S2} – вероятность возникновения (обеспеченность) ветрового воздействия ($P_{S2} = P_{2.1} + P_{2.2} - P_{S1.2} P_{S2.2}$), 1/год; P_{S3} – вероятность возникновения (обеспеченность) стоковых течений в водохранилище, 1/год; $P_{S2.1}$ – вероятность возникновения (обеспеченность) волн 1%-ной обеспеченности, 1/год; $P_{S2.2}$ – вероятность (обеспеченность) волн 25%-ной обеспеченности, 1/год.

Для качественной оценки развития абразионного риска был проведен анализ фактических данных по каждому рискообразующему фактору, полученному для условий водохранилищ Минской области. Для этого были введены показатели, которые учитывают влияние гидрометеорологических явлений, которые в соответствии с оказывают активное воздействие на развитие берегов водохранилищ [3,4].

По рассчитанным показателям с помощью пакета *MapInfo* была построена карта развития абразионного риска на водохранилищах Минской области.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Левкевич, В.Е.* Динамическая устойчивость берегов водохранилищ Беларуси: автореф. дис. ... докт. техн. наук : 05.23.07 / В.Е. Левкевич; Белорус. национальный технич. ун-т. – Минск, 2017. – 51 с.
3. *Кобяк, В.В.* Прогноз абразионных процессов на водохранилищах с трансформированным уровнем режимом : автореф. ... дис. канд. техн. наук : 05.23.07 / В.В. Кобяк ; Белорус. нац. техн. ун-т. Минск, 2013. – 22 с.
4. *Левкевич, В.Е.* Динамическая устойчивость берегов водохранилищ Беларуси. Минск: Право и экономика, 2015. – 307 с.
5. *Левкевич, В.Е.* Методические рекомендации по оценке устойчивости креплений верховых откосов дамб, плотин и берегов водохранилищ Беларуси / В.Е. Левкевич, А.А. Новиков, А.В. Бузук / Команд.-инженер. ин-т МЧС Респ. Беларусь. Минск, 2015. – 54 с.