

## ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ СТАЦИОНАРНЫХ ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ АБРАЗИОННО-ЭРОЗИОННЫХ ПРОЦЕССОВ НА ВОДОХРАНИЛИЩАХ БССР

Длина береговой линии водохранилищ Белоруссии (без учета прудов), по данным [1], составляет около 1200 км. Как показало обследование, размыву (абразии) подвержено около 30 % всей береговой линии. В ряде случаев развитие абразионных процессов вызывает также активизацию некоторых вторичных отрицательных явлений — овражной и поверхностной эрозии, осовов, оползней, а в некоторых случаях — суффозионных выносов.

Известно, что на некоторых водохранилищах БССР уже проводились исследования явления абразии [2, 3]. Однако отсутствие полных данных о динамике абразионных и эрозионных процессов явилось основанием для длительных стационарных геоморфологических наблюдений, проведенных ЦНИИКИВР с 1976 по 1986 г. на опорных водохранилищах с различными периодом и условиями эксплуатации [4]. Были оборудованы стационары, закреплены контрольные створы, выполнены шурфы и прикопки, осуществлен анализ физического состава размываемых грунтов.

В данной работе излагаются основные результаты многолетних наблюдений, которые могут быть использованы как при проектировании новых объектов, так и при эксплуатации существующих водоемов.

Предварительные рекогносцировочные обследования берегов ряда водохранилищ, расположенных в различных районах республики с разнообразным рельефом и геологическими условиями, позволили типизировать береговую линию по преобладающему процессу на разделе вода—материк. В основу типизации было положено наличие или проявление экзогенных процессов, причем их регистрация осуществлялась как визуально, так и с помощью обмеров, нивелирования, плановых съемок. Стационарные наблюдения подтвердили, что в условиях водохранилищ республики возможно развитие берегов абразионного, аккумулятивного, эрозионного типов с обязательным наличием нейтральных и защищаемых (искусственных пляжей, дамб и плотин). Абразионный тип берега имеет три подтипа в зависимости от комплекса геологических условий. При наличии несвязных, песчаных грунтов абразионный берег развивается либо по абразионно-осыпному, либо по абразионно-обвальному типу. При преобладании связных грунтов развитие склона может идти как по абразионно-обвальному типу, так и по абразионно-оползневому.

Следует отметить, что предлагаемая типологическая схема, изображенная на рис. 1, несколько отлична от предложенных ранее в работах [5, 6]. Это объясняется тем, что наши наблюдения касались водоемов с объемом до 100 млн м<sup>3</sup>, где динамика и особенности процесса, а также его масштабы несколько отличны от рассмотренных в источниках [2, 3], охватывающих средние и крупные водохранилища страны.

В общем случае в условиях водоемов республики развитие абразионных процессов наблюдается в наиболее широкой, приплотинной части водохранилищ, а эрозионных — в верховьях. Прослеживается определенная связь между

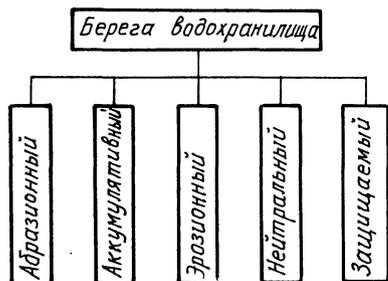


Рис. 1. Классификация берегов малых водохранилищ

протяженностью берегов, подверженных абразии, и извилистостью береговой линии. Данная взаимосвязь может быть выражена зависимостью вида [7]:

$$L_{\text{абр}} = 0,470L_1/k_{\text{из}}, \quad (1)$$

где  $k_{\text{из}} = L_1/L_2$  — коэффициент извилистости береговой линии;  $L_1$  и  $L_2$  — длина соответственно по прямой и реальной береговой линии.

Наряду с плановыми особенностями развития процесса переработки берега имеются особенности и в профиле абразии. Анализ профильных съемок показал, что в отличие от крупных водохранилищ, где профиль абразии имеет развитую подводную часть (аккумулятивную отмель), на водохранилищах республики приурезовая зона более компактна и обжата. Профиль абразионного берега различных подтипов состоит из надводной части с обрывом и подводной береговой отмели с незначительной аккумулятивной составляющей (рис. 2). Как правило, надводная часть отмели, характеризуемая, как и подводная, шириной  $B_n$ , отсутствует или же имеет очень малые значения — от 0,5 до 1,5 м.

Наиболее часто абразионно-осыпные берега встречаются на водохранилищах, расположенных в центральной и южной частях республики. К таким водоемам относятся водохранилища: Лепельское (участок 1), Заславское (3), Дрозды (2), Чижовское (2), Вяча (4), Волковичи (1), Осиповичское (профили 1, 2), Солигорское и ряд других.

Берега абразионно-обвального типа получили распространение на водохранилищах: Лепельском, Чижовском, Осиповичском, Криницы, Волковичи, Петровичи.

Абразионно-оползневые берега встречаются реже других подтипов на Лепельском, Чижовском и Дубровском водохранилищах. На рис. 2 показаны типичные профили абразионно-осыпного, абразионно-обвального и абразионно-оползневого берегов. В табл. 1 приводятся их характеристики, а в табл. 2 — параметры размываемых грунтов и исходных береговых склонов.

Наличие значительного объема фактического материала позволило рассчитать обеспеченность размывов, характеризующихся линейной переработкой  $S_t$  и  $Q_t$ . На рис. 3 приводятся кривые обеспеченности значений  $S_t = F(P)$  и  $Q_t = F(P)$ . Максимальные значения  $S_{t\text{max}}$  и  $Q_{t\text{max}}$ , которые были зарегистрированы, отражены в табл. 1.

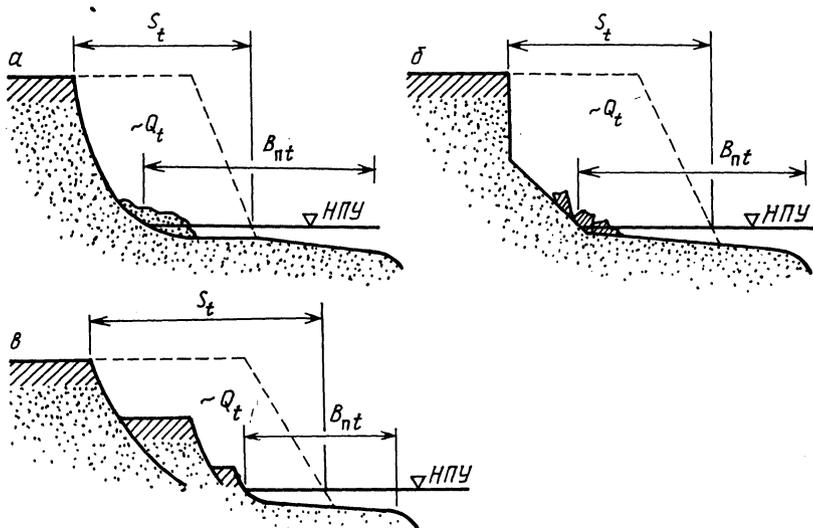


Рис. 2. Типы абразионных берегов:

а — абразионно-осыпные; б — абразионно-обвальные; в — абразионно-оползневые

Табл. 1. Характеристики абразионных берегов водохранилищ

Водохранилище	Участок	Линейная переработка $S_{t, \text{ м}}$		Объем переработки $Q_t, \text{ м}^3/\text{м пог.}$		Ширина отмели, $B_{\text{п}}, \text{ м}$	Уклон отмели $I_{\text{п}}$
		средняя	наибольшая	средней	наибольшей		
<b>Абразионно-осыпные</b>							
Заславское	3	10,2	15,0	11,7	17,0	14,0	0,06
Криницы	4	6,2	7,5	5,3	8,3	7,5	0,05
Дрозды	4	5,3	6,8	2,5	4,0	8,5	0,07
Волковичи	2	17,5	29,0	25,0	40,5	5,0	0,15
Вяча	2	9,0	12,0	7,1	11,5	5,0	0,09
Чижовское	1	12,5	14,5	22,7	28,0	8,0	0,05
Острошицкое	1	13,0	16,0	24,0	37,0	5,5	0,05
Петровичи	1	7,0	8,0	7,5	10,0	8,5	0,07
Головное	1	1,5	2,0	0,7	0,9	3,0	0,12
<b>Абразионно-обвальные</b>							
Вяча	4	3,8	5,3	1,7	3,2	5,5	0,07
Волковичи	1	21,5	23,5	28,0	38,0	4,5	0,07
Осиповичское	1	3,0	11,5	20,7	32,0	13,0	0,08
Лепельское	2	9,0	10,0	27,0	94,0	30,0	0,03

Табл. 2. Параметры размываемых берегов водохранилищ республики

Водохранилище	Участок наблюдений берег	Форма исходного профиля берега	Тип грунта	$d_{50}$ , мм	$\eta$
Заславское	3—П	Пологая	р/з песок, гравий	1,01	4,28
Лепельское	2—Л	Обрывистая	м/з песок	0,15	3,6
Солигорское	1—Л	Пологая	"	0,17	3,2
Осиповичское	1—Л	Обрывистая	р/з песок, супесь	0,30	4,1
Криницы	4—П	Пологая	к/з песок	0,47	3,3
Дрозды	4—П	"	"	0,60	7,0
Чижовское	1—П	"	м/з песок	0,16	4,0
Волковичи	2—П	"	м/з песок, супесь	0,14	4,4
Вяча	2—П	Обрывистая	м/з песок	0,16	3,4
Петровичи	1—Л	"	к/з песок, гравий	0,65	4,7

Примечание. П — правый берег; Л — левый.

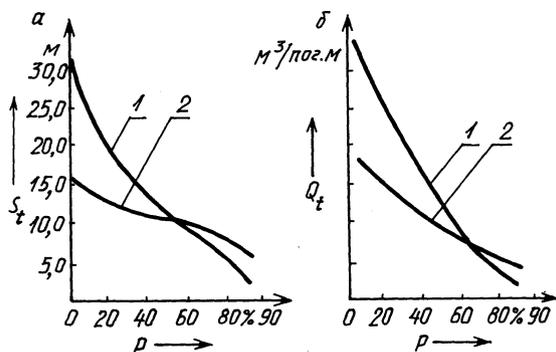


Рис. 3. Зависимость вида:  
 $a - S_t = F(P)$ ,  $b - Q_t = F(P)$ .  
 Водохранилища: 1 — Лепельское, 2 — Осиповичское

Наблюдения показали, что процесс абразии является стохастическим [8], и в этом случае все морфометрические характеристики можно представить в виде суммы неслучайной величины — так называемого "тренда" ( $S'$ ) и случайной составляющей, или "флюктуации" ( $k_s P$ ), т.е.

$$S_t = S' + k_s P. \quad (3)$$

Следует отметить, что значение тренда является средневзвешенной величиной морфометрической характеристики  $S$ . Случайная составляющая определяется модульным коэффициентом

$$k_s = \bar{S} / S_i, \quad (4)$$

где  $\bar{S}$  — средняя величина из выборки,  $S_i$  — значение морфометрической характеристики по конкретному створу.

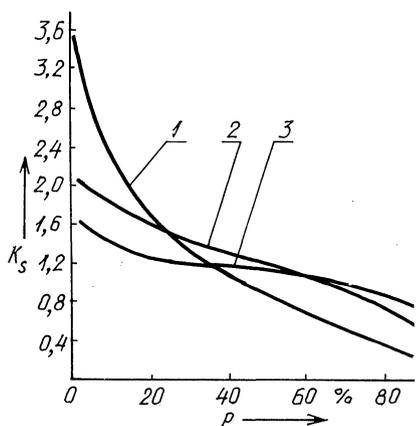


Рис. 4. Зависимость  $K_s = F(P)$ .  
Водохранилища: 1 — крупные; 2 — Лепельское, 3 — Осиповичское

Для водохранилищ Белоруссии распределение модульных коэффициентов флюктуации характеристики  $S$  в зависимости от обеспеченности  $P\%$  выполнено на примере водохранилищ Лепельское и Осиповичское. Распределение модульных коэффициентов приведено в виде графика  $K_s = F(P)$ , представленного на рис. 4. Характер кривых подтверждает незначительность отклонений от средних значений, и этот факт имеет большое значение, особенно при прогнозе процесса абразии.

Кроме абразии берегов, наблюдается развитие эрозионной деятельности вод в верховьях водохранилищ, где режим течений близок к режиму незарегулированного водотока, скорости течений достигают значений 0,3–0,6 м/с и близки к критическим. В связи с этим эрозионный тип берегов получил распространение лишь на русловых водохранилищах, имеющих вытянутую в плане форму с извилистыми верховьями. Эрозионные процессы особенно интенсивно развиваются на водохранилищах Криницы, Дрозды, Комсомольское озеро, Волковичи, Ключегорское, Волпянское, Гезгальское и на ряде других объектов, по наблюдениям, величина размывов на участках развития эрозионных процессов достигает 2,5–3,5 м, а объем вымытого грунта — до 2,5 м<sup>3</sup>/пог. м. При размыве берегового склона в приурезовой зоне в подводной части профиля происходит образование бичевников шириной 1,2–2,7 м, которые сложены крупнозернистыми и среднезернистыми песками, реже галькой.

Таким образом, из всех типов берегов, имеющих место на малых водохранилищах, наиболее активными в гидродинамическом плане являются абразионные, развитие которых наносит ощутимый урон сельскому хозяйству за счет потерь как сельхозугодий, так и урожая. В связи с этим необходимо про-

водить активную защиту абразионных и эрозионных берегов. Наличие количественных данных по существующим водохранилищам позволит оценить деформации склонов на проектируемых объектах и разработать мероприятия по берегозащите.

### Л и т е р а т у р а

1. Широков В.М., Попух П.С. Формирование берегов малых водохранилищ Белоруссии // Морфогенез на территории Белоруссии. — Минск, 1983. — С. 71—81.
2. Левкевич Е.М. Некоторые результаты наблюдений за переработкой берегов малого водохранилища // Тр. совещ. по динамике берегов морей и водохранилищ. — Одесса, 1959. — С. 19—21.
3. Левкевич Е.М. К вопросу переработки берегов малых водохранилищ // Изв. высш. уч. завед. Сер. Энергетика. — Минск, 1964. — № 12. — С. 99—104.
4. Левкевич В.Е. Закономерности развития абразии берегов малых водохранилищ // Вопросы эксплуатации осушительно-увлажнительных систем. — Минск, 1983. — С. 110.
5. Финаров Д.П. Динамика берегов и котловин водохранилищ гидроэлектростанций СССР. — Л., 1974. — 241 с.
6. Попух П.С. Типизация берегов малых водохранилищ Белоруссии // Тез. докл. Всесоюз. научн.-техн. совещ. по динамике берегов водохранилищ, их охране и рациональному использованию. — Черкассы, 1979. — Кн. 2. — С. 49—52.
7. Левкевич В.Е. Рекомендации по прогнозированию переработки абразионных берегов малых равнинных водохранилищ, сложенных несвязными грунтами. — Минск, 1984. — 40 с.
8. Максимчук В.Л. Рациональное использование и охрана берегов водохранилищ. — Киев, 1981. — 112 с.

УДК 624.131.52

С.В. СОБОЛЕВСКИЙ,  
В.В. ПАВЛОВЕЦ (БПИ)

### К ВОПРОСУ О НАЧАЛЬНОМ НАПРЯЖЕННОМ СОСТОЯНИИ АНИЗОТРОПНОГО ВОДОНАСЫЩЕННОГО ОСНОВАНИЯ

В общепринятой постановке задачи о начальном напряженном состоянии водонасыщенного основания используется допущение о передаче нагрузки в начальный момент загрузки полностью на воду [1,2]. В известной степени данное допущение удовлетворяет постановке задачи о начальном напряженном состоянии изотропного водонасыщенного основания. Если же рассматривать с этим допущением анизотропное водонасыщенное основание, то исследователь сталкивается с противоречиями как в теоретическом, так и в экспериментальном плане, в частности с невозможностью получить аналитическое решение для касательных напряжений, удовлетворяющих условию на поверхности основания  $\tau_{xy/y=0} = 0$  при  $\sigma_{x/y=0} = \sigma_{y/y=0} = 0$ . С другой стороны, экспериментально подтверждено, что поверхностная нагрузка воспринимается и грунтовой водой и скелетом основания. Учет этого фактора позволяет более точно судить о напряженном состоянии основания и допуске нагружения.

В данной статье рассмотрим начальное напряженное состояние ортотропного водонасыщенного основания при восприятии нагрузки водой и скелетом