

В соответствии с изложенными рекомендациями [5] коэффициент шероховатости определялся по диаметру  $d_{50}$ , где  $d_{50}$  — диаметр, мельче которого в данной смеси содержится 50 % частиц.

Из рис. 1 следует, что хорошее совпадение с опытными данными дает результат, рассчитанный по формуле (6). Такая же картина наблюдается и в других 30 опытах, которые были проведены на русловой площадке и в гидравлическом лотке на моделях из песчаных грунтов с диаметром частиц  $d \leq 0,5$  мм. Высота моделей — 0,4...1,1 м. Расхождение опытных и расчетных данных при применении формулы (6) составляет до 10...15 % относительно продолжительности второй стадии.

Для песчаных грунтов  $d > 0,5$  мм степень совпадения опытных и расчетных данных для первой стадии лучше при применении формулы (7). Вероятно, это объясняется некоторыми различиями в характере транспорта твердого стока — более крупные частицы тяготеют к влекомому движению. Кроме того, коэффициент шероховатости, вероятно, нельзя считать постоянным. По некоторым данным [4] он зависит не только от физической шероховатости, определяемой в данном случае крупностью частиц грунта, но и от состояния потока (мутность, глубина, характер движения твердого стока и др.). В рассматриваемом случае коэффициент шероховатости выражается более сложной зависимостью, учитывающей характеристики потока. Нахождение ее составит предмет дальнейших исследований. Полученный же в данной работе результат можно использовать в настоящее время с достаточной для практики точностью (см. выше).

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Богославчик П.М., Филиппович И.В. К расчету размыва однородной плотины из песчаных грунтов при переливе через гребень / Изв. вузов СССР. Сер. Энергетика, 1983. — № 2. — С. 100–105.
2. Богославчик П.М. Резервные водосбросы с размываемыми грунтовыми вставками на малых водохранилищах и прудах гидромелиоративных систем. Автореферат дис. канд. техн. наук. Мн., 1986. — 22 с.
3. Гончаров В.Н. Динамика русловых потоков. — Л., 1962. — 373 с.
4. Лапшенков В.С. Прогнозирование русловых деформаций в бьефах речных гидроузлов. — Л., 1979. — 239 с.
5. Караушев А.В. Теория и методы расчета речных наносов. — Л., 1977. — 272 с.

УДК 627.8.034+627.18

В.Е. ЛЕВКЕВИЧ

### ВЛИЯНИЕ ГРУНТОВЫХ ВОД НА УСТОЙЧИВОСТЬ АБРАЗИОННЫХ БЕРЕГОВ ВОДОХРАНИЛИЩ БЕЛОРУССИИ

Наряду со многими факторами, уменьшающими устойчивость берегов водохранилищ, прудов, откосов дамб и т.д., определенное влияние может оказывать режим грунтовых вод в береговой зоне водоемов [1, 2].

В связи с тем что данный вопрос в литературе освещен недостаточно, нами на водохранилищах республики были проведены исследования с целью

оценки воздействия грунтовых вод на устойчивость берегов и определения ширины зоны влияния водных объектов на подтопление территорий.

В период 1977–1986 гг. было проведено несколько экспедиций, в результате которых получены данные о положении уровня грунтовых вод в береговой зоне водохранилищ Заславское, Дрозды, Криницы, Волковичи, Вяча, Петровичское, Смолевичское, Солигорское, Локтыши, Млынокское, Бобруйковское и др. (всего более 30 объектов). Для оценки режима подземных вод в береговой зоне водохранилищ производился выбор характерных (в морфологическом и геологическом смысле) участков, на которых выполнялась разбивка створов с отрывкой шурфов (глубина до 2 м) или бурением скважин (глубина 7,5...8 м) с последующей регистрацией положения водоносного горизонта и состава пород.

Обследования проводились на водохранилищах севера и северо-запада республики, берега которых представлены суглинками, супесями, песками, мелкообломочным материалом; в центральном районе с распространением моренных отложений и в районе Белорусского Полесья с преобладанием аллювиальных отложений. Детальные исследования по оценке влияния подземных вод на устойчивость склонов выполнялись на водохранилище Волковичи в период его полного опорожнения (1983 г.). Наблюдения осуществлялись по всему периметру водохранилища со съемкой ситуации на берегах, подвергающихся переработке, в частности на левом берегу (участок 2) по контрольным поперечникам с порядковыми номерами 1...11. Длина обследованного участка – 2,5 км. Берег сложен песчаными и супесчаными отложениями, в некоторых местах с прослоями гравия. Высота абразионного уступа – 2,6...16,0 м, а ширина подводной части береговой отмели – 3,0...5,0 м (табл. 1).

Грунт абразионного берега по условиям фильтрации может находиться в различных состояниях, которым соответствуют четыре зоны [3]:

первая – подводная часть склона, в которой фильтрационный поток направлен перпендикулярно к поверхности отмели. При высачивании воды в пределах подводной части отмели наблюдается (при наличии несвязных грунтов) фильтрационное взвешивание частиц;

вторая – охватывает участок высачивания, расположенный над урезом на высоте от 0,10...0,15 м (водохранилище Криницы) до 0,5...1,0 м (водохранилище Бобруйковское). Верхняя линия тока – кривая депрессии, выходит на откос под минимальным углом, что вызывает также взвешивание частиц грунта с последующим их выносом;

третья – соответствует участку капиллярного насыщения водой грунта; четвертая – характеризуется естественной влажностью грунта.

Потеря общей устойчивости берегового склона наиболее часто регистрировалась в первых двух зонах, где совместное воздействие волнового и грунтового потоков вызывает развитие абразии склона, его суффозию, разжижение и оплывание грунта. Классификация гидродинамических условий в береговой зоне водохранилищ показала, что возможны два случая: при фильтрации в водохранилище (рис. 1, а) или же из водоема (рис. 1, б). Невыгодным является первый случай, когда уровень грунтовых вод превышает уровень воды в водохранилище и кривая депрессии имеет уклон в сторону водоема. Величина градиентов зависит от геологических и гидрологических условий и изменяется от 0,0013 до 0,13 (табл. 2). Если градиент напора в несвяз-

Характеристики абразионных берегов водохранилища Волковичи  
(участок 2)

Номер створа	Грунт	Переработка		Высота обрыва $H_6, \text{м}$	Ширина отмели $B_{\text{пт}1}, \text{м}$
		линейная $S_r, \text{м}$	объемная $Q_r, \text{м}^3/\text{пог.м}$		
1	Мелкий песок*	23,5	38,0	16,0	3,0
2	То же	20,5	31,5	13,0	4,3
3	”	20,0	19,6	9,2	4,0
4	Средний песок*, морена	7,5	13,5	5,3	3,5
5	Мелкий песок*, морена	22,0	37,5	12,0	3,0
6	То же	29,0	40,3	15,5	5,0
7	Средний песок	14,0	22,5	5,0	5,0
8	То же	6,0	6,3	2,6	3,5
9	Мелкий песок	14,0	21,0	3,6	3,5
10	То же	18,0	15,3	10,0	3,5
11	”	18,0	22,5	9,5	3,0

\*Имеются включения мелкого гравия, а также глинистые прослои.

ных грунтах  $I_0$  в зоне выхода фильтрационного потока превышает  $I_{\text{кр}}$  [4] —

$$I_0 > I_{\text{кр}} \geq 0,3, \quad (1)$$

наблюдается суффозионный вынос грунтов из берегового склона. При значительной слоистости грунтов, чередовании песчаных несвязных отложений с песчано-гравийными включениями при градиенте фильтрационного потока

$$I_0 > I_{\text{кр}} \geq 1,3 \quad (2)$$

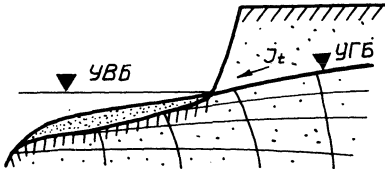
происходит контактный размыв с выносом мелкозернистого материала.

На режим грунтовых вод в береговой зоне водохранилищ наряду с составом водоносных грунтов значительное влияние оказывает характер и скорость сработки уровней в водоеме [5].

Понижение уровня верхнего бьефа в водохранилище относительно нормального подпорого уровня (НПУ) более чем на 2,0 м приводит к тому, что в береговых массивах происходят резкие изменения в гидродинамическом режиме.

При быстрой сработке водохранилища Волковичи выход кривой депрессии грунтовых вод на поверхность склона оказался выше или в некоторых случаях на линии уреза (рис. 2, а). В результате фильтрации воды из откоса создается гидродинамическое давление, равное при крутизине откосов  $30^\circ$  —  $0,5 \text{ г/м}^2$  [1]. На некоторых створах (9, 10, 11) в результате увеличения скоростей фильтрационного потока это привело к суффозионным выносам

а



б

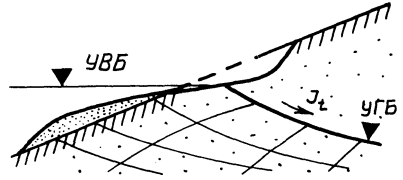


Рис. 1. Классификация гидродинамических условий в береговой зоне водохранилищ: а – подпор грунтовых вод; б – фильтрация из водохранилища.

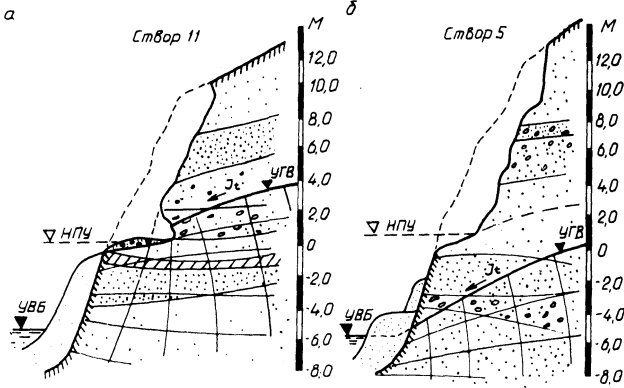


Рис. 2. Разрушение береговой отмели под действием грунтовых вод на водохранилище Волковичи:

а – створ 11, суффозионный вынос грунта; б – створ 5, оползание аккумулятивной части отмели.

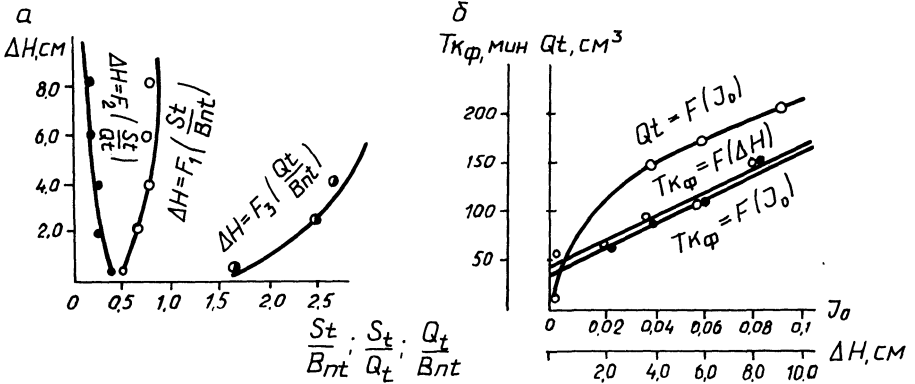


Рис. 3. Влияние грунтовых вод на устойчивость берегов водохранилищ:

а – графики вида:  $\Delta H = F_1 \left( \frac{St}{Bnt} \right)$ ;  $\Delta H = F_2 \left( \frac{St}{Qt} \right)$ ;  $\Delta H = F_3 \left( \frac{Qt}{Bnt} \right)$ ; б – графики ви-

да:  $T_{к\phi} = F(\Delta H)$ ;  $Q_t = F(J_0)$ ;  $T_{к\phi} = F(J_0)$ .

Т а б л и ц а 2

## Характеристики берегов обследованных водохранилищ

Водохранилище	Вид регулирования	Амплитуда колебаний уровней в безливневый период $A_{\text{бл}}, \text{ м}$	Берег, тип грунта	Схема фильтрации	Градиент фильтрационного потока $I_0$
Заславское	Сезонное	1,20	Правый, крупный песок	I	0,008
Криницы	То же	0,20	Левый, крупный песок	I	0,007
Волковичи	”	0,20	Левый, средний песок	I	0,08
Петровицкое	”	0,70	Левый, мелкий песок	I	0,09
Солигорское	Многолетнее	1,0	Правый, мелкий песок	I	0,0028
Краснослободское	То же	1,0	Левый, мелкий песок	I	0,0025
Локтыши	Сезонное	1,0	Правый, мелкий песок	II	0,0013
Меркуловичи	То же	0,40	То же	I	0,03
Бобруйковское	Глубокое сезонное	0,30	Левый, мелкий песок	I	0,05
Млынокское	То же	0,20	Правый, мелкий песок	I	0,03
Лешня	Сезонное	0,40	То же	I	0,05
Загатье	То же	0,50	”	II	0,225
Красное озеро	”	0,40	Левый, мелкий песок	II	0,07
Головчицкое	”	0,40	То же	II	0,02
Коммунар	”	0,50	То же	II	0,13
			Правый, средний песок		

Т а б л и ц а 3

## Особенности подтопления побережий малых водохранилищ

Группа водохранилища по колебанию уровней в ВБ в безливневый период. $A_{\text{бл}}, \text{ м}$	Полный объем, млн $\text{м}^3$	Площадь, $\text{км}^2$	Протяженность подтопленных берегов, % [10]
Группа I, $A_{\text{бл}} \geq 0,5 \text{ м}$	20–60	10–40	30–50
Группа II, $A_{\text{бл}} < 0,5 \text{ м}$	до 20	до 10	до 20

грунта в основании абразионного берега. Аналогичная картина наблюдалась на водохранилище Криницы. В случае высокого положения водопора водоносный горизонт не испытывал подпора со стороны водохранилища и поэтому по склону наблюдался свободный выход грунтовых вод.

Данные съемок, выполненных на контрольных створах до понижения уровня в водохранилище, а затем их сравнение с материалами, полученными после опорожнения, позволили установить, что разрушение берегового склона происходит как в зоне выхода депрессионной кривой на поверхность отмели, так и ниже по склону. Так, на створах 1...5 и 8 выход грунтовых вод в аккумулятивной части отмели привел к тому, что при резкой сработке водохранилища произошло оплывание аккумулярованного в береговой зоне материала абразии, что вызвало уменьшение ширины отмели (рис. 2, б), а в ряде случаев — и ее полное разрушение.

Натурные и лабораторные исследования [2] показали — с увеличением уровня грунтовых вод (УГВ) в прибрежной зоне водохранилища возрастает как объем  $Q_t$ , так и величина линейной переработки берега  $S_t$ . Причем в условиях размываемой модели откоса, сложенной песками средней крупности ( $d_{50} = 0,35$  мм), с изменением УГВ наблюдается изменение соотношения морфометрических элементов профиля ( $S_t/B_{пт}$ ,  $S_t/Q_t$ ,  $Q_t/B_{пт}$ ,  $B_{пт}$  — ширина отмели), рис. 3, а. Увеличение размыва берегового склона при наличии перепада уровней сказывается на характере развития процесса переработки во времени (рис. 3, б). В частности, время выработки профиля равновесия  $T_{кф}$  значительно возрастает с увеличением градиента напора  $I_0$ , причем объем переработки увеличивается в 3,8 раза [2]. Следует также отметить, что на  $T_{кф}$  оказывают влияние и начальные уклоны кривой депрессии:

$$T_{кф} = F(I_0); \quad (3)$$

$$T_{кф} = 0,133I_0. \quad (4)$$

Данные натурных обследований также показывают, что увеличение сроков переработки и стабилизации абразионных берегов водохранилищ зависит как от волнового режима, так и режима сработки и наполнения водохранилища, вызывающего в свою очередь разрушение того равновесия в береговой зоне, которое складывается при стабилизации процесса. Пример опорожнения водохранилища Волковичи показал, что и на других водных объектах республики также недопустима быстрая сработка объема водоема, что, к сожалению, не принимается во внимание службой эксплуатации. Ибо, как показывают обследования других водоемов (Петровичское, Млыновское, Бобруйковское, Вяча), процесс переработки после наполнения начнет проявляться вновь с повышенной интенсивностью.

При оценке общей устойчивости береговых склонов водохранилищ необходимо прежде всего охарактеризовать режим грунтовых вод и распространение подпора в прибрежной зоне водоема. В условиях водохранилищ Белоруссии величина подпора зависит от грунтов, складывающих побережья. Так, на севере и в центральной части республики ширина зоны влияния водохранилищ

на уровень грунтовых вод ( $B_{\text{УГВ}}$ ), по данным съемок, а также анализу косвенных признаков (подтопление, заболачивание и т.д.), составляет 0,2...1,5 км. В районе Полесья – юга республики – зона влияния водоемов на уровень грунтовых вод 1,5...3,0 км [6]. Ширина зоны подпора для этих условий

$$B_{\text{УГВ}} = \sqrt{\frac{2\pi k_{\Phi} H_0 T_{0,t}}{\mu}}, \quad (5)$$

где  $\pi = 3,14$ ;  $k_{\Phi}$  – коэффициент фильтрации грунта, м/сут.

Если береговой склон представлен грунтами с количеством слоев не более 10, определяется средневзвешенный коэффициент фильтрации [7], значение которого затем подставляется в (5):

$$\bar{k} = \frac{k_{\Phi 1} m_1 + k_{\Phi 2} m_2 + \dots + k_{\Phi n} m_n}{m_1 + m_2 + \dots + m_n}. \quad (6)$$

где  $k_i$ ,  $m_i$  – коэффициенты фильтрации и мощности  $i$ -го слоя;  $H_0$  – положение уровня грунтовых вод в незарегулированном источнике, м;  $T_{0,t}$  – время от начала повышения уровня, сут;  $\mu$  – коэффициент водоотдачи грунта.

Материалы наблюдений за колебанием УГВ на Заславском и Краснослободском водохранилищах, а также Локтыши и Красная Площадь показали, что в прибрежной зоне изменение уровней в водоеме (до 0,5...1,5 м) вызывает колебания УГВ асинхронно в три-четыре дня. Таким образом, практически одновременное изменение уровней в водохранилище и в береговом склоне в незначительных пределах указывает на установившийся характер фильтрации на территориях, примыкающих к малым водохранилищам. В связи с этим величина напора  $H_{0,t}$  в любой точке определяется по формулам П.Г. Каменского для условий установившейся фильтрации [8].

В результате повышения УГВ в прибрежной зоне водоемов происходит изменение природных условий, режима образования почвогрунтов, свойств почв, состава травянистой и древесной растительности, микроклимата и т.д. В зависимости от характера регулирования и режима колебания уровней в водоеме [9] по площади подтопления выделяются две группы водохранилищ (табл. 3). Площадь подтопления на водохранилищах первой группы составляет до 30 % от площади водоема (Заславское, Краснослободское и др.), у водоемов второй группы – 5...10 % (Осиповичское, Волковичи, Млынокское, Бобруйковское и др.).

Таким образом, вопрос влияния грунтовых вод на устойчивость берегов водохранилищ не нашел достаточно полного отражения в современных исследованиях. Недостаток информации указывает на необходимость дальнейшего изучения комплексного влияния волнения и фильтрационных сил на устойчивость берегов. Одним из путей исследований несомненно будут натурные обследования конкретных объектов с возможно более широким спектром геологических, морфологических и гидрогеологических условий.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Качугин Е.Г. Геологическое изучение динамики берегов водохранилищ. – М., 1975. – С. 147.
2. Левкевич Е.М. Лабораторные исследования реформирования

неукрепленных откосов земляных плотин под действием волн и фильтрационных сил / Известия высших учебных заведений. — Мн., 1971. — Вып. 8. — С. 98–102. 3. С о б о л е в с к и й Ю.А. Устройство откосов мелиоративных каналов. — Мн., 1965. — С. 212. 4. Гидротехнические сооружения. Справочник проектировщика. — М., 1983. — С. 543. 5. А в а к я н А.Б., Ш а р а п о в В.А. Водохранилища гидроэлектростанций СССР. — М., 1968. — С. 384. 6. Б у л а в к о А.Г., Я н к о в с к и й К.Ф. Определение ширины зоны влияния мелиоративной системы на горизонты грунтовых вод / Вопросы водохозяйственного строительства. — Мн., 1970. — С. 13–20. 7. К р у г л о в Г.Г. Методические указания к фильтрационным расчетам несовершенной придамбовой дрены. — Пинск, 1979. — С. 40. 8. Г а р м о н о в И.В., К о л о т о в И.Б., К р а ш и н И.И. Прогноз влияния равнинных водохранилищ на подпор, ресурсы и запасы подземных вод. — М., 1984. — С. 160. 9. Л е в к е в и ч В.Е. Уровненный режим водохранилищ БССР и его влияние на переработку берегов / Тр. конференции молодых ученых геологического факультета ПГУ. — Пермь, 1983 (Деп. ВИНТИ № 3696-83 от 6.07.83 г.), — С. 5. 10. Ш и р о к о в В.М., Л о п у х П.С. Формирование малых водохранилищ гидроэлектростанций. — М., 1986. — С. 144.

УДК 627.41

Е.М. ЛЕВКЕВИЧ, В.Н. МЕХЕДЬКИН

### КРЕПЛЕНИЕ НАПОРНОГО ОТКОСА ГРУНТОВОЙ ДАМБЫ ИЗНОШЕННЫМИ АВТОПОКРЫШКАМИ

Для крепления откосов грунтовых сооружений, берегов рек и водохранилищ, подвергающихся воздействию течений и волн [1–3], находят применение покрытия из бывших в употреблении автопокрышек. И хотя такие крепления сулят значительный экономический эффект, их внедрение в практику пока ограничено, так как еще не установлены достаточно точно условия, в которых они наиболее эффективны. Недостаточна также информация об опыте применения этих креплений.

Крепления из использованных автопокрышек были применены при строительстве грунтовой ограждающей дамбы на р. Даугава для защиты напорного откоса в соответствии с предложением проектной организации (рис. 1). Периодические наблюдения за работой крепления и специальные обследования в период паводка 1985 г., во время которых измерялись скорости потока у берега, брались пробы грунта на разных по высоте точках откоса, вскрывались крепления на некоторых участках и т.д., позволили выявить как положительные стороны этого способа защиты, так и его недостатки.

Дамба (рис. 1, а) отсыпана из мелкого песка, расположена вдоль русла реки; состоит из прямолинейной части длиной около 300 м и верховой и нижней частей, сопрягающих ее с коренным берегом. Ширина по гребню 10,0 м, заложение верхового откоса 1:3, низового — 1:2 (рис. 1, б). Крепление (рис. 1, в) состоит из автопокрышек, уложенных на откос и связанных друг с другом капроновым шнуром диаметром 5 мм. Для предотвращения сползания верхний ряд должен был крепиться к откосу через 1,0 м анкерами (стальной двенадцатимиллиметровый прут длиной 1,0 м). При строительстве от анкеров отказались в связи с наличием у подошвы дамбы горизонтального участка, на котором укладывалось четыре-пять рядов покрышек. Все покрышки-