

ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОЛОГИЯ

Ф. П. САВАРЕНСКИЙ, член-корреспондент Академии Наук СССР

**ВЛИЯНИЕ ПОДПОРНЫХ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ НА  
РЕКАХ НА ПЕРЕРАБОТКУ БЕРЕГОВ**

Возведение плотин с большим подпором воды на Волге, Каме и других реках ставит на очередь вопрос о том, как может отразиться этот подпор на строении речных берегов. До последнего времени при гидротехническом проектировании принималось, что к «полосе отчуждения» относится, кроме площади непосредственного затопления, зона берега, определяющаяся высотой 2 м над горизонтом водохранилища и 4 м в случаях наличия сооружений или ценных земель, которая может подвергаться подтоплению и разрушению, т. е. перейти в категорию неудобных земель. Действительность, однако, показывает, что разрушение берегов при подпоре может достигнуть значительных размеров. Так, на водохранилищах системы канала Москва—Волга разрушение берегов началось уже в первый год жизни водохранилища, и высота подмыва достигала местами 3—4 м, а ширина полосы разрушения—10 м и более. В конце второго года разрушение берега дошло до некоторых сельских строений. На большом Ленинском водохранилище на Днестре выше Днепрогэса полоса размыва и обрушения берегов, сложенных лёссом, достигает местами ширины 147 м.

Вопрос о переработке берегов в естественных условиях в литературе освещался, главным образом, для морских побережий<sup>(1)</sup> или для озер<sup>(3)</sup>. Что же касается переработки речных берегов при подпоре рек гидротехническими сооружениями, то данных по этому вопросу чрезвычайно мало<sup>(3,4)</sup>.

При возведении плотины естественный режим речного стока нарушается существенным образом. Скорости уменьшаются и становятся столь малыми, что река не в состоянии переносить взвешенные наносы и тем более перекатывать их по дну. Образующиеся водохранилища приобретают скорее озерный, чем речной режим водоема. В то время как при естественном режиме реки живая сила текущей воды производит работу по размыванию берегов, в водохранилище этот фактор эрозии теряет свою силу. Таким образом должно прекратиться перемещение русла в сторону правого берега согласно закону Бера, которое наблюдается на Волге и других реках и подтверждается наличием древнего русла под левым берегом, иногда в расстоянии нескольких километров от современного русла, а также тем, что лишь медленным, но постоянным подмывом правого берега объясняется строение крутых обнаженных коренных берегов. Там, где река отошла от коренного берега, обнаженные крутые берега теряют свой характер, становятся положе, покрываются делювием, почвой и растительностью, т. е. на смену эрозионному процессу приходит делювиальный. Таким обра-

зом, крутые коренные берега обязаны своим существованием работе речного потока, поддерживающего условия предельного равновесия для обнаженных и выветривающихся пород берега.

Наряду с потерей скорости потока на смену ему приходит другой фактор, игравший сравнительно меньшую роль в реке,—работа ветровой волны. При устройстве водохранилищ шириной до 25 км возможно образование волн значительной высоты.

Согласно формуле Стевенсона

$$h = 0,4 \sqrt{D} + 0,8 - 0,3 \sqrt[3]{D},$$

где  $h$ —высота волны в м,  $D$ —длина пути разгона ветра по водной поверхности в км. Для  $D=25$  км получим высоту волны более 2 м. Такая волна обладает большой энергией и при набеге на берег способна производить значительную абразионную работу, подмывая берег и смывая рыхлые продукты выветривания горных пород, слагающих берег, смещающиеся к подножию берега.

Строение подмываемого рекой коренного берега при естественном режиме реки характеризуется следующими элементами (см. фигуру): склоном к долине ( $ab$ ), бровкой ( $b$ ), собственно коренным берегом или откосом ( $bc$ ) и бичевником ( $c$ ). Склон к долине обыкновенно покрыт делювиальными отложениями. Собственно коренной берег сложен коренными породами берега, срезанными по плоскости естественного откоса. Бичевник же представляет собой более полого наклонную поверхность, спускающуюся под уровень воды. Откос коренного берега подвержен влиянию агентов атмосферного выветривания, и его поверхность все время обновляется за счет механического выветривания и скатывания продуктов выветривания к подножию берега. Бичевник же в течение года то покрывается водой при высоких горизонтах реки, то обнажается при меженном уровне реки и тогда подвергается тем же процессам выветривания, как и коренной берег, а также действию течения и волны. Откос обыкновенного коренного берега, сложенного однородной породой на всю высоту, имеет угол наклона к горизонту, вполне определенный, соответствующий данной породе и предельному равновесию ее при субаэральном выветривании. Угол же наклона к горизонту бичевника, значительно меньший, соответствует естественному углу для породы, то погружающейся под уровень реки, то попадающей в условия субаэрального выветривания и воздействия волн. Граница между откосом коренного берега и бичевника ( $c$ ) соответствует горизонту наиболее высокого стояния реки. Таким образом, граница бичевника по высоте определяется разностью наивысшего и наинизшего горизонта реки, а его ширина, кроме того, углом наклона бичевника к горизонту ( $\beta$ ), также вполне определенным для той или другой породы или комплекса пород.

В. А. Ширямовым (Институт геологических наук Академии Наук) замерены углы наклона откоса коренного берега и бичевника для коренного правого берега Волги в ее среднем и нижнем течении (см. таблицу).

Величина естественного угла откоса для той или другой горной породы или комплекса пород представляет интерес не только для темы данной статьи, но и для решения вопроса об угле искусственных откосов в различного рода выемках, в частности железнодорожных. Природные углы откосов обнаженных пород указывают на предел углов заложения искусственных откосов и в этом отношении дают более надежное основание для расчета, чем углы, определяемые с помощью различных более или менее обоснованных формул и построений, в которые входят величины трения и сцепления породы, определяемые лабораторными способами, весьма несовершенными и далекими от природных условий.

На основе определения естественных углов откоса была предложена (<sup>5</sup>) классификация горных пород по устойчивости их в откосах, которая, однако, не имела успеха, поскольку автор учитывал лишь некоторые известные ему в Америке породы.

При подпоре реки и повышении ее уровня вода на большом протяжении водохранилища войдет в соприкосновение с берегами на более высоких отметках, чем при естественном режиме реки во время паводков. Подготовленная выветриванием и напитанная водою порода коренного берега на линии уреза воды не сможет выдерживать первоначального откоса.

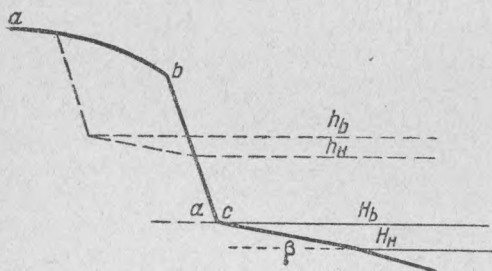
Под действием волн в откосе сначала будет выработываться нишеобразное углубление, а затем вышележащая порода, лишаясь опоры снизу, будет постепенно обрушиваться вниз, в виде обвалов, осыпи или даже оползней. Таким образом начнется разрушение коренного берега.

Уровень воды в водохранилище, однако, не будет постоянным, а будет колебаться в течение года в зависимости отчасти от гидрологического режима стока, отчасти от сработки воды на гидростанциях и шлюзах и попуска воды для питания нижнего бьефа. Разность наиболее высокого и наиболее низкого горизонтов воды при этом не будет достигать таких размеров, какие имеет река при естественном режиме во время весеннего паводка и летней межени, но все-таки может быть значительной и достигать 6—8 м.

Поэтому разрушение берега распространится на зону берега в несколько метров по высоте. В результате разрушения берега и работы ветровой волны в пределах этой зоны будет разрабатываться пляж или новый бичевник (см. фигуру), ограниченный по высоте наиболее высоким и наиболее низким горизонтами воды в водохранилище. Угол наклона этого бичевника к горизонту будет приблизительно таким же, как у прежнего бичевника, если он сложен теми же породами.

Таким образом, зная углы естественного откоса коренного берега и бичевника для определенной породы или комплекса пород, можно сделать прогноз переработки берега, сделав построение, понятное из фигуры.

Породы	Угол откоса коренного берега ( $\alpha$ )	Угол наклона бичевника ( $\beta$ )	Ширина бичевника в метрах
Известняки и доломиты верхнего карбона Самарской Луки ( $C_3$ ) . . . . .	70—80°	10—24°	30—40
Известняки и доломиты с гипсом казанского яруса близ устья Камы ( $P_2kz$ ) . . . . .	70—80°	8—18°	50
Мергели и глины татарского яруса в районе Чебоксар ( $P_2tat$ ) . . . . .	55—60°	5—14°	65
Опоки и опоковидные песчаники сызранского яруса в районе Камышина ( $Pg_1sz$ ) . . . . .	60—65°	8—18°	55
Глины верхней юры и нижнего мела между Самарской Лукой и Казанью ( $Mz$ ) . . . . .	35—40°	4°	75
Пески рисской высокой террасы около Белого Яра ( $Q_{1al}$ ) . . . . .	35—45°	6—14°	60



Ширина полосы нового бичевника, а, стало быть, и ширина переработки берега приблизительно определяется формулой (°):

$$l = L \frac{h_b - h_H}{H_b - H_H},$$

где  $L$ —ширина бичевника при естественном режиме реки,  $H_b$  и  $H_H$ —высший и низший горизонты реки при естественном режиме,  $h_b$  и  $h_H$ —то же при подпертом уровне в водохранилище.

Переработке подвергнутся не только крутые, обнаженные берега, но и более пологие склоны, если горизонт водохранилища войдет с ними в соприкосновение и если наклон склона будет меньше угла бичевника.

Построение нового контура берега показывает, что ширина зоны переработки в некоторых случаях может достигать 400 м и более, что подтверждается наблюдениями на Днепре.

Все приведенные рассуждения справедливы для берегов, не осложненных оползневыми процессами, для которых переработка берегов будет проходить сложнее, и в каждом отдельном случае требует особого исследования берега.

Сектор инженерной геологии  
Института геологических наук  
Академии Наук СССР

Поступило  
16 III 1940

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- <sup>1</sup> J. Brown, Proc. Am. Soc. of Civil Eng., January (1939). <sup>2</sup> L. R ü g e r, Die Tätigkeit des fließenden Wassers, Handbuch der Bodenlehre, I Band (1929). <sup>3</sup> Ф. П. Саваренский, Сборн. «Гидрогеология и инженерная геология», № 1 (1935). <sup>4</sup> Б. В. Поляков, Гидрологический режим водохранилищ, Сборн. Нижневолгопроекта, вып. VIII (1938). <sup>5</sup> H. R i e s a. T h. W a t s o n, Engineering Geology, p. 371 (1925). <sup>6</sup> Ф. П. Саваренский, Инженерная геология (1939).