

*Н.Б. Барышников, А.О. Пагин, М.В. Соболев*

## ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ РИСКИ

*N.B. Baryshnikov, A.O. Pugin, M.V. Sobolev*

## HYDROLOGICAL RISKS

*Выполнен анализ гидрологических рисков, возникающих при проектировании и строительстве гидротехнических сооружений и водохозяйственных мероприятий за счет гидрологической информации и антропогенного фактора.*

*Ключевые слова: гидрологические риски, максимальные расходы воды, донные наносы, антропогенный фактор.*

*An analysis is made of hydrological risks involved in the design and construction of hydraulic structures and water management activities caused by hydrological data and the anthropogenic factor.*

*Key words: hydrological risks, maximum water discharges, bottom load, anthropogenic factor.*

При проектировании и строительстве гидротехнических сооружений и водохозяйственных мероприятий одной из основных составляющих является гидрометеорологическая, геологическая и другая информация о природных процессах. Гидрологическая информация, в частности, основана на вероятностных процессах, что, безусловно, является одной из основных причин гидрологических рисков. В данной статье выполнен анализ некоторых рисков, с которыми сталкиваются проектировщики гидротехнических сооружений.

Наиболее капитальными сооружениями являются плотины ГЭС. Для ГЭС, сооружённых на равнинных и горных реках, риски существенно отличаются. Рассмотрим риски, возникающие при проектировании ГЭС на равнинных реках, из-за гидрологического фактора. Основными расчётными гидрологическими характеристиками являются максимальные расходы воды, а так же их средне-многолетние и минимальные значения. В зависимости от значимости сооружения они рассчитываются на расходы воды 1; 0,33 и даже 0,1% обеспеченности. При этом дополнительно вводятся различные коэффициенты запаса. Как правило, водосбросные сооружения, служащие для пропуска вод паводков и половодий, справляются с поставленными перед ними задачами. Исключением из этого, может быть несовершенство технических решений и антропогенный фактор. Действительно, при пропуске половодий и паводков по техническим причинам могут не сработать (заклинить) те или иные затворы. В качестве примера можно привести Саратовскую ГЭС, где при пропуске половодья произошла задержка включения ряда затворов на водосливных сооружениях. Это привело к сосредоточенному размыву нижнего бьефа. В результате был смыт резервный запас грунта, объёмом в несколько миллионов кубометров. Для предотвращения дальнейшего размыва берега и его укрепления в воду было сброшено несколько десятков тысяч тонн бетонных конструкций. Более сложным является оценка

рисков при затоплении и подтоплении территорий при создании водохранилищ и разрушении их берегов.

В качестве примера можно привести каскад Волжских ГЭС, который должен был решить комплекс проблем: производство электрической энергии, судоходство, орошение и другие. Если проблема энергетики практически решена, то проблема судоходства до сих пор находится в стадии решения. Действительно, планировалось обеспечить с помощью регулирования речного стока водохранилищами минимальную транзитную глубину в 4 м на всей длине Волги и её притоков от Москвы до Астрахани и Ростова на Дону. Сложности возникли на участке длиной 54 км от г. Городец до г. Нижний Новгород. Это обусловлено тем, что водохранилище Чебоксарской ГЭС заполнено не полностью и только до отметки 63 м, вместо 68 м. Выполненные расчёты показали, что при дальнейшем заполнении водохранилища резко увеличиваются площади затопления и особенно подтопления. В частности, помимо плодородных сельскохозяйственных угодий в эти зоны попадают отдельные районы Нижнего Новгорода. Таким образом, вопросы энергетики и судоходства вошли в противоречие с градостроительством и сельскохозяйственным использованием земель. Действительно, на участке Городец – Нижний Новгород транзитные глубины уменьшались до 2,3–2,5 м, землечерпательные работы на участке, достигающие 11,0 миллионов кубометров аллювия в год, не эффективны, так как уменьшение отметок дна компенсируется посадками уровней на ту же величину. Поэтому пропуск судов, имеющих значительно большую осадку, до 4 м, осуществляется на гребнях попусков, т.е. за счёт сброса больших объёмов воды, минуя турбины. Таким образом, не дополучаются сотни тысяч киловатт энергии.

Какие же пути решения этой проблемы? В настоящее время рассматривается два из них: первый, как указывалось, основан на заполнении водохранилища до проектной отметки, но в этом случае велики убытки от затопления и подтопления значительных территорий. Второй путь – основан на предложении сотрудников Нижегородской академии водного транспорта. Суть предложения – строительство на проблемном участке низконапорного сооружения и моста поверх него, расположенных в непосредственной близости от Нижнего Новгорода.

Ещё большие риски возникают из-за несовершенства методов расчётов разрушения берегов водохранилищ. Как правило, жилые посёлки деревни и другие поселения выносятся из зоны затопления и располагаются в непосредственной близости от расчётной границы затопления. К сожалению, можно привести много примеров, когда вновь построенные поселения вынуждены были переносить из-за увеличения зоны разрушения существенно, превышающей расчётную величину. В качестве примера можно привести Братское и особенно Краснодарское водохранилища, где процессы разрушения берегов продолжают-ся и в настоящее время.

К гидрологическим рискам следует отнести и последствия того, что чаши водохранилищ не расчищались перед их затоплением. В качестве примера мож-

но привести водохранилища Братской и Саяно-Шушенской ГЭС, где были затоплены лесные массивы. Более того, когда «топляки» начали выводить из строя суда и мешать судоходству были созданы специальные подразделения, которые занимались выпиливанием (под водой) затопленных деревьев. Можно привести ещё один пример – Рыбинское водохранилище. Оно заполнялось водой в сложных предвоенных условиях и условиях начала Отечественной войны. Вследствие этого чаша водохранилища не была вычищена. Под водой осталось несколько поселений и значительные заболоченные территории. В результате в водохранилище в последующий период образовались торфяные острова, площадью в десятки квадратных километров и толщиной более десяти метров. Эти острова пришлось разрезать на части и с помощью буксиров вытаскивать на мелководья.

Сложная ситуация, резко увеличивающая гидрологические риски, часто складывается в нижних бьефах ГЭС. Особенно остро обстоит дело, когда в нижних бьефах организуются большие русловые карьеры.

В процессе реформирования русел, обусловленных резким колебанием уровней воды из-за попускового режима работы ГЭС и поступления осветленной воды, обычно наблюдается обрушение берегов (боковая эрозия). Приток наносов в русло за счет такой боковой эрозии значительно увеличивается, что приводит к увеличению заносимости перекатов. Однако зона боковой эрозии русла постепенно смещается вниз по течению, что в совокупности с другими факторами приводит к постепенной стабилизации участков русел, примыкающих к гидроузлам.

В руслах рек, не подпертых гидроузлами, наблюдаются посадки уровней, которые особенно четко прослеживаются при анализе кривых расходов воды, полученных за ряд лет. Так, по данным расчетов, выполненных А. Б. Векслером и В. М. Доненбергом, их значения на ряде участков рек Оби и Волги за период до 25 лет достигли 0,5–1,5 м.

Интересные данные приводит В.В. Дегтярев, исследовавший ряд сибирских рек с целью обеспечения благоприятных судоходных условий на них. В частности, он приводит данные по нижнему бьефу Новосибирской ГЭС. Посадка межени уровней и изменение характера деформаций произошли здесь в результате как зарегулированности стока, так и забора из русла аллювия. Заложенные в проект ГЭС прогнозы предела максимальных деформаций в нижнем бьефе не оправдались. В проекте предусматривалось, что (за 50 лет эксплуатации ГЭС) зона активного размыва от створа гидроузла не распространится более чем на 3–4 км при посадке уровня на верхней границе участка до 0,5 м. Фактически уже через 25 лет после строительства ГЭС эта зона размыва распространилась на 40 км, понижение проектного уровня в створе гидроузла составило 1,6 м, а по Новосибирскому гидрологическому посту (ниже на 20 км) – примерно 0,4 м. Развитию зоны размыва сопутствует перемещение района отложений.

Зона отложений в 1959–1962 гг. находилась примерно в 20 км ниже ГЭС; в 1963–1967 гг. – в 35–40 км ниже ГЭС, а к 1986 г. – переместилась на участок, расположенный в 130–140 км ниже гидроузла.

В этой зоне из-за интенсивного отложения наносов наблюдается повышение уровней воды при расходах аналогичных тем, которые наблюдались до строительства ГЭС. После смещения зоны вниз по течению кривые расходов воды на некоторое время стабилизируются. Затем после распространения до этого створа зоны размыва начинается посадка уровней воды.

Таким образом, распространение зоны размыва на р. Оби многократно превысило проектные расчеты. Вместо 20 км она достигла 130 км и продолжает продвигаться вниз по течению. Этому также способствовали путевые работы и карьерные разработки. Все указанные выше русловые деформации и сопровождающие их процессы особенно резко проявляются при пропуске паводков редкой обеспеченности.

Уменьшение отметок уровней в нижнем бьефе приводит к снижению базиса эрозии притоков, русла которых также интенсивно размываются.

Все расчётные гидрологические характеристики имеют вероятностный характер. Поэтому нормативные документы обычно рекомендуют принимать для расчётов гидрологические характеристики определённой обеспеченности. Последние зависят от класса и значения данного сооружения. Так, для мостовых переходов при расчётах максимальных расходов воды рекомендуется нижеследующая таблица коэффициентов для переходов от одной обеспеченности к другой (табл. 1).

*Таблица 1*

**Значения коэффициента  $\beta$**

P, %	0,1	0,33	1	2	4	10
$\beta$	1,12	1,07	1,0	0,97	0,92	0,86

Однако в этом случае основным риском является появление за расчётный период гидрологического параметра более редкой обеспеченности. Например, ряд конструкций мостов рассчитывается на максимальный расход 1% обеспеченности, но за расчётный период в 100 лет может наблюдаться максимальный расход, но 0,1 или 0,33 % обеспеченности. Это, как правило, должно привести к разрушению моста или отдельных его конструкций.

Однако расчётные значения максимальных расходов воды регламентируются различными в основном ведомственными нормативными документами. Можно привести множество примеров, когда рассчитанные по этим документам мосты, были разрушены при пропуске высоких паводков. Одним из них является катастрофический паводок на р. Висле 2010 г., когда были не только разрушены несколько мостов, но даже были разрушены дамбы ограждения, что привело к затоплению или подтоплению ряда городов Польши, в том числе и Варшавы.

Значительно сложнее и менее определёнными являются расчёты, а точнее прогнозы зажоров и заторов, русловых процессов и донных наносов. Все эти процессы осложняют проектирование гидротехнических сооружений и увеличивают риски их разрушений. Действительно, методики прогнозов заторов и зажоров несовершенны. При их возникновении создаются подпоры, приводящие к значительным подъёмам уровней воды и соответственно большим площадям затопления не только пойм, но и других прилегающих к рекам, пониженных территорий. В качестве примера можно привести последствия зазора на реке Лене, в результате которого были затоплены значительные территории Якутии, включая город Ленск и другие селения. Ещё большую опасность представляют прорывы этих заторов и зажоров, вследствие чего образуются волны прорыва движущиеся с большими скоростями и несущие массы воды и битого льда и причиняющие большой материальный ущерб. В качестве примера можно привести прорыв зазора, образовавшегося на реке Неве в С.-Петербурге выше железнодорожного моста. В результате были срезаны верхние части 40-метровых железобетонных свай-оболочек, используемых при строительстве одной из опор моста Александра Невского.

Следует отметить, что зазоры и заторы обычно образуются в местах расположения перекатов и особенно лимитирующих. Последние, при интенсивном судоходстве обычно разрабатываются, т.е. углубляются, тем самым ликвидируются условия образования зажоров. Причиной же катастрофы на р. Лене явилось то, что в период «перестройки» резко уменьшилось судоходство и из-за отсутствия финансирования Бассейновые управления перестали разрабатывать перекаты.

Другой пример касается попусков из Красноярского водохранилища. Как известно, наибольшее потребление энергии, особенно в Сибири, происходит в зимний период. Поэтому, когда из Красноярского водохранилища через турбинные тракты был сброшен наибольший расчётный расход воды в  $4500 \text{ м}^3/\text{с}$ , на нижней кромке полыньи образовался зазор. Прорыв последнего привёл к образованию волны прорыва, затопившей несколько деревень и посёлков при температуре воздуха ниже  $-20 \text{ }^\circ\text{C}$ , что привело к большому материальному ущербу.

Встаёт вопрос, возможен ли в таких случаях достоверный прогноз, который мог бы в значительной степени уменьшить материальный ущерб и в ряде случаев сохранить человеческие жизни? Считаем, что ответ может быть положительным, но при наличии достаточной сети гидрологических и метеорологических постов. К сожалению, ведомственная сеть постов Росгидромета не удовлетворяет этим требованиям, к тому же она недостаточно обеспечена высококвалифицированными кадрами, в частности, инженеров-гидрологов.

Важными для расчётов русловых деформаций, обеспечивающих надёжность работы многих гидротехнических сооружений, являются сведения о расходах донных наносов и, в частности, для расчётов деформаций общего и мест-

ного размывов при проектировании и строительстве мостов, водозаборов и других сооружений. К сожалению, необходимая надёжная информация о них фактически отсутствует. Это обусловлено тем, что наблюдения за стоком донных наносов на сети Росгидромета не производятся. Точнее, они были прекращены в середине 60-х годов прошлого столетия из-за отсутствия надёжных методов и приборов для их измерения. Высокая потребность в информации о них и отсутствие надёжных натуральных данных обусловило разработку свыше 200 формул и методов для расчётов расходов донных наносов [Копалиани и др., 2004]. Эти формулы были получены по данным лабораторных экспериментов в узких лотках. Учитывая, что большинство рек России равнинные, имеющие широкие поймы, служащие для пропуска половодий и паводков, основная масса наносов на них проходит именно в периоды паводков и половодий. При движении таких потоков возникает, так называемый эффект взаимодействия руслового и пойменного потоков [Барышников, 2007], приводящий к значительной трансформации полей скоростей взаимодействующих потоков. К сожалению, этот эффект, вскрытый в 50-х годах прошлого столетия, не учитывается ни в одной из расчётных формул. Именно это является одной из причин их низкой эффективности.

Необходимо отметить ещё один из факторов риска, который можно проиллюстрировать на примере разрушения одной из опор моста через реку Кубань (в 7 км от г. Черкесска) при пропуске паводка близкого к 1 % обеспеченности. Пролёты между несколькими опорами моста были забиты различными, поступающими сверху объектами (20 метровые стволы деревьев, карчи и др.). В результате образовался сосредоточенный поток, с расходом воды в 345 м<sup>3</sup>/с, превышающий расчётный ( $\approx 200$  м<sup>3</sup>/с) примерно в 1,7 раза, направленный на одну из опор моста (№ 6). Это привело к разрушению основания опоры и, как следствие, к её просадке примерно на 0,4 м и соответственно к разрушению полотна дороги (см. рисунок).

По-видимому, в этом случае ответственность за разрушение опоры моста в основном ложится на антропогенный фактор. Действительно, обслуживающие службы должны были принять соответствующие меры по очистке пролетов моста. Вторым фактором следует считать то, что в данном случае максимальный расход воды, составлявший 1700 м<sup>3</sup>/с, на 400 м<sup>3</sup>/с превышал величину расчётного 1 % расхода.

В то же время катастрофический паводок 2002 г., имевший по данным сотрудников ГГИ значительно больший максимальный расход воды, существенного вреда мосту не причинил. Это ещё раз подтверждает ответственность антропогенного фактора.

Особенно большие риски возникают при разработке русловых карьеров. Последние служат для добычи аллювия, состоящего из песка, гальки, гравия и др. и, как правило, располагаются в непосредственной близости от строящихся объектов и довольно часто непосредственно на территории городов и посёлков. При этом создаётся большая экономия на транспортных расходах. В то же вре-

Разработка карьеров сопровождается и негативными процессами. Основным из них является посадка уровня, величина которой может достигать нескольких метров. Так, на р. Томи у г. Томска величина посадки уровня достигла 2,8 м, а на р. Стрый – 5 м [Барышников, 2008]. Обычно разработка карьера начинается с выпуклых форм рельефа речного русла (перекатов, островов, осередков, побочней и др.), представляющих существенное сопротивление движению речного потока. Только после их сработки происходит разработка пониженных частей русла, т.е. его дна. При этом формируется углубление на дне русла, которое в силу гидравлических условий его обтекания и частичного занесения донными наносами, перемещается вниз по течению реки.



Фрагмент моста через р. Кубань. Вид на опору № 6 после катастрофического паводка в июле 2008 г.

Эти два негативных фактора обычно приводят к большим экономическим ущербам за счёт обнажения водозаборов и водовыпусков, ухудшения судоходных условий, разрушения набережных, пристаней и др. Особенно большой вред наносится экологии окружающей среды. В качестве примера можно привести ранее экологически чистую набережную р. Томи в районе г. Томска, когда после обнажения водовыпуска, все сбросы канализации отлагались на берегу реки.

Особенно острой проблема гидрологических рисков стала в последние 20-25 лет, когда из-за изменения климата и глобального потепления резко увеличилась циклоническая деятельность над Европейским континентом, следствием чего стало усиление мощности и числа катастрофических паводков. Последние наблюдались на реках почти всех Европейских государств, в том числе и на юге России.

Работа выполнена в рамках мероприятия 1.3.1 Федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 годы (государственный контракт № П1385 от 2 сентября 2009 г.) по направлению «Снижение риска и уменьшение последствий природных и техногенных катастроф».

***Литература***

1. *Барышников Н.Б.* Динамика русловых потоков. – СПб.: изд. РГГМУ, 2007. – 347 с.
2. *Барышников Н.Б.* Русловые процессы. – СПб.: изд. РГГМУ, 2008. – 438 с.
3. *Дегтярёв В.В.* Улучшение судоходных условий Сибирских рек. – М.: Транспорт, 1987. – 175 с.
4. *Копалиани З.Д., Костюченко А.А.* Расчёты расхода донных наносов // Сб. работ по гидрологии. № 27. – СПб.: Гидрометеиздат, 2004, с. 25-40.

Работа выполнена в рамках мероприятия 1.2.1 Федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 годы (государственный контракт № П1079 от 24 августа 2009 г.) по направлению «География и гидрология суши».