

УДК 556.53

НАВОДНЕНИЯ В БАССЕЙНЕ КАМЫ И МЕРОПРИЯТИЯ ИНЖЕНЕРНОЙ ЗАЩИТЫ ПО ПРЕДОТВРАЩЕНИЮ ИХ НЕГАТИВНЫХ ПОСЛЕДСТВИЙ НА ПРИМЕРЕ ГОРОДА КУНГУР

© 2010 г. С.А. Двинских, А.Б. Китаев, А.В. Михайлов

Пермский государственный университет, г. Пермь

Ключевые слова: наводнение, водные объекты, защитные сооружения.

Рассмотрены условия формирования наводнений на водных объектах Пермского края. Дан пространственно-временной анализ развития наводнений на реках. Показана возможность использования защитных и берегоукрепительных сооружений на примере рек Сылва, Ирень, Шаква в районе города Кунгур.



С.А. Двинских



А.Б. Китаев



А.В. Михайлов

В России районами, где часто наблюдаются наводнения, являются Северный Кавказ, Приморский край, Сахалинская и Амурская области, Забайкалье, Средний и Южный Урал, Нижняя Волга [1—6]. На реках Пермского края (бассейн р. Кама) гидрологический риск связан в основном с наводнениями.

Наводнения в бассейне р. Кама

Причиной высоких половодий в бассейне р. Кама являются весеннее снеготаяние при экстремально больших запасах снега и (или) дружный характер весны. За последние 100 лет печальную извест-

Водное хозяйство России № 3, 2010

Водное хозяйство России

ность приобрели 1902, 1914, 1926, 1957, 1965, 1969, 1979, 1990, 1991 гг., когда во всем Камском бассейне наблюдались половодья, вызывавшие затопления берегов, населенных пунктов и предприятий. Большой ущерб принесло чрезвычайно высокое весеннее половодье в 1979 г., от него в Пермском крае пострадали 11 городов и 86 небольших населенных пунктов. Вода местами поднималась на 5—11 м, было затоплено 7200 жилых домов, разрушены мосты, размыто 338 км дорог, 11 км дамб, 11 км канализационных сетей, 16 км водопровода, 11 км линий электропередач.

Зажоры еще более характерны для рек Верхней и Средней Камы и приводят к большим подъемам уровня воды. На Верхней Каме подъемы уровней достигают 2,0—2,5 м; на Пильве, Кутиме, Язьве, Колве, Яйве, Велве, Обве и на других реках — от 0,5 до 2,0—2,5 м. Наивысшие подъемы уровня отмечены на реках Чусовая у пос. Кын (2,8 м), Ирень у пос. Шубино (2,7 м) и Сылва у с. Подкаменное (3,4 м). Часто возникают заторы льда в зонах выклинивания подпора Камских водохранилищ на притоках р. Кама.

Наледеи на реках, благодаря мощному снежному покрову, обычно отсутствуют или бывают небольшими. Однако при возникновении погодных условий в начале зимы (1928, 1937, 1947, 1949, 1966 гг.) они могут резко проявить себя и представлять опасность для гидротехнических сооружений. Такими условиями являются сильные понижения температуры воздуха при незначительном снежном покрове, что приводит к перемерзанию малых и средних рек в отдельных участках и к выходу воды на лед. Так, зимой 1966—1967 гг. перемерзли почти все малые реки бассейна Камы. Насколько коварными могут быть даже самые малые реки, воочию убедились жители городов Пермь, Чусовой, Лысьва, Чернушка. Толщина наледей на отдельных участках достигала 1,5—4 м, заполнив русло реки, лед разрушал мосты.

В 2006 г. паводковые явления начались 5—11 апреля с подъемом уровня на реках Мулянка, Большой Танып и Буй. На Камском и Воткинском водохранилищах половодье началось 16 апреля, очищение ото льда осуществилось 9—11 мая, что близко к средним срокам. С 11 мая на Камской ГЭС начались холостые сбросы, с 22 мая сбросы увеличились до 5000 м³/с. Максимальная величина расхода воды в нижний бьеф Камской ГЭС зарегистрирована 30 мая и составила 5773 м³/с. Максимальный уровень в нижнем бьефе гидроузла 91,57 м наблюдался 1 июня, это на 4,88 м ниже критической отметки. На Воткинской ГЭС максимальный расход в нижний бьеф 6907 м³/с зарегистрирован 31 мая. Максимальный приток в Камское и Воткинское водохранилища составил, соответственно, 9080 и 5905 м³/с. Половодье

на реках края в этот период носило двух- и трехпиковый характер. Максимальные уровни воды на реках отмечались в период с 13 по 19 апреля (на юге) и с 13 по 27 мая на реках севера и левобережья Камского водохранилища. Величина максимальных уровней на 0,4—1,8 м была ниже среднееголетних значений, а верховьях Вишеры близка к среднему. При прохождении весеннего ледохода на семи реках Пермского края образовались ледовые заторы. На одном из них на р. Вильва в целях защиты мостового перехода были проведены предупредительные подрывные работы, остальные заторы самоликвидировались, подтопления территории не произошло.

В 2007 г. начало активного половодья на территории Пермского края было зарегистрировано 30 марта. Половодье на реках проходило несколькими пиками. Максимальные уровни воды в верхнем течении р. Кама, а также реках Колва, Сылва и малых реках юга достигли максимальных показателей 19—26 мая. Величина максимальных уровней в реках Яйва, Велва, Усьва и Сылва превысила среднее значение на 0,5—0,9 м, в других реках максимальные уровни воды были ниже средней многолетней величины. Уровни воды достигали неблагоприятной отметки на реках Вишера 24 мая, Яйва — 20 мая, Чусовая — 13 мая, Сылва — 1 мая, в Воткинском водохранилище в районе г. Пермь — с 29 апреля по 29 мая, в районе г. Краснокамск — 14—25 мая. Подтопление жилых домов наблюдалось в г. Александровск, с. Усть-Качка, д. Гама и других населенных пунктах. В г. Пермь был подтоплен цех ОАО «Пиломатериалы», в ряде районов краевого центра талые воды достигли фундаментов домов.

Характеристика района исследований

Наиболее часто высокие весенние половодья в Камском бассейне наблюдаются в районе г. Кунгур, который возник в месте слияния р. Сылва и трех крупных ее притоков — Ирень, Шаква и Бабка. Происхождение этого речного узла связано с длительным развитием карста и тектоническими движениями земной коры [7].

Река Сылва — левый приток р. Чусовая находится в юго-восточной части Пермского края. Территория бассейна относится как к горной (Урал, Предуралье), так и к равнинной степной и лесостепной зоне Южного Урала и части Среднего Урала. Рельеф бассейна в основном равнинный, на востоке находятся отроги южного и среднего Урала. В бассейне р. Сылва насчитывается свыше 300 прудов, около 400 озер с суммарной площадью зеркала 20 км², 120 болот общей площадью 66 км².

Речная сеть изучаемой территории принадлежит бассейну Каспийского моря.

Климат территории имеет ряд особенностей, проявляющихся в распределении температуры воздуха, атмосферных осадков и других метеорологических элементов, что обусловлено влиянием Уральских гор.

По водному режиму реки рассматриваемой территории относятся к типу с четко выраженным весенним половодьем, летне-осенними дождевыми паводками и длительной устойчивой зимней меженью. В питании водотоков преимущественное значение имеют снеговые воды. Доля талых вод в суммарном стоке достигает 85—90 % в южных лесостепных районах. Значительно меньше (60—65 %) — в пределах наиболее возвышенных частей горного Урала, где наряду с твердыми осадками в питании рек велика роль дождей (до 40 %). В среднем примерно 25—35 % годового стока формируется подземным путем.

Весеннее половодье на р. Сылва начинается в первой декаде апреля. Расход воды в реке на расстоянии 5 км возрастает почти вдвое, ширина русла увеличивается от 100 до 150 м.

Пик половодья наступает во время ледохода, длящегося 1—5 суток. В это время в окрестностях г. Кунгур снеготаяние уже заканчивается (рис. 1). Перед весенним подъемом наблюдается быстрое кратковременное снижение уровня до минимальных отметок, когда русло реки в пре-



Рис. 1. Пик половодья на р. Сылва, г. Кунгур.

делах города очищается ото льда. В случае ранней весны начало паводка отмечается в конце марта (1961, 1978, 1981, 1983, 1984, 1986), а при запаздывании снеготаяния паводковый подъем уровня начинается во второй половине апреля и продолжается интенсивно в первой декаде мая. Максимальной высоты уровень воды в реке достигает, в зависимости от температурного режима, в разное время. По данным за 1934—1997 гг. пики весенних паводков наступали в промежутке от 3 апреля (1961) до 21 мая (1940). Спад уровня воды после максимума происходит значительно медленнее, чем подъем. Он обычно растягивается на 1—1,5 месяца и в зависимости от времени наступления максимума заканчивается в первой (1975, 1977) и второй (1976, 1980, 1982, 1983) половине мая, а в отдельные годы и в первой половине июня (1934, 1935, 1956, 1978, 1979, 1981, 1985, 1986) и даже в июле (1984). Кратковременные похолодания погоды в период снеготаяния приводят к расчленению уровня графика на двух-, трехпиковые и более сложной формы. Тип паводка по уровенному режиму определяет его максимальную высоту. Так, если однопиковые паводки (1979, 1981, 1987) характеризовались величиной подъема уровня до 7 м и более, то двухпиковые (1959, 1968, 1980) имели подъем до 4,5—5,5 м, а трехпиковые (1935, 1961, 1984) — не более 3,5 м. Угрозу катастрофических наводнений в г. Кунгур создают лишь однопиковые паводки с максимальными отметками в конце апреля или в начале мая [8, 9].

Выбор берегозащитных сооружений

Защитные дамбы должны быть достаточно высокими для того, чтобы не допустить перелива через гребень. В качестве укрепления применяют железобетонные, сборные и монолитные бетонные плиты, каменные наброски, гибкие тюфячные покрытия, каменное мощение, габионы, асфальтные плиты, одерновку, посадку кустарников, лесопосадки и посев трав и др. Берегозащитные сооружения подвергаются воздействиям текущей воды, волн, ледоходов и атмосферных осадков. Тот или иной тип укрепления выбирают в зависимости от степени воздействия на откосы текущей воды, волн и ледоходов.

От затопления паводковыми водами город защищают дамбы общей протяженностью около 28 км, высотой до 10 м, шириной по гребню до 6 м, заложение откосов от 1:0,5 до 1:1,5. Защитные дамбы были построены в середине 60-х гг. XX в. в условиях сильно стесненной городской застройки методом «народной стройки», когда за предприятиями и организациями города были закреплены участки городской территории и им



Рис. 2. Варианты каменной наброски для защитных дамб на р. Ирень, г. Кунгур.

требовалось обеспечить защиту города от наводнения, поэтому тело построенных дамб очень разнородно по своему составу. В дамбы укладывались отходы работы предприятий, глиняный грунт, обломки бетонных конструкций, использование различных вариантов каменной наброски для защитных дамб представлено на рис. 2. Эксплуатация дамб до середины 90-х гг. велась хаотично, работы проводились только в период весеннего половодья.

Основные работы по наращиванию, уширению, укреплению защитных дамб были проведены в 1998—1999 гг. В результате появилась возможность свободного проезда автомобилей по гребню дамб.

Но, несмотря на применяемые меры, ежегодно на спаде половодья происходит обрушение и оползание откосов дамб на неустойчивых участках. Причиной может быть и некачественный материал тела дамб, и их большая высота, и крутое заложение откосов.

В качестве мероприятия по предотвращению этих негативных явлений было принято решение о проведении работ по закреплению откосов дамб и, начиная с 2000 г., дамбы г. Кунгур превратились в «полигон» для апробации различных типов их креплений. Так, впервые для Пермского края для укрепления откосов дамб были применены:

- габионные конструкции (рис. 3);
- геоинъекционные закрепления склонов дамб;
- различные биологические материалы (сетка из волокна кокоса, биоматы и др.) (рис. 4);
- устройство волногасящего парапета [10].

Габионные конструкции были спроектированы по технологии итальянской компании «Габионы Маккаферри». При закреплении оползневых склонов дамб использовался метод геоинъекций, предложенный Пермской компанией «Габионы». Для «мокрого» откоса он применен впервые. На дамбах нашего региона также успешно применяются биоматы фирмы «Габионы Маккаферри», которые в настоящее время являются одним из основных материалов для закрепления невысоких откосов насыпей, размываемых преимущественно поверхностными водами. Эти биологические материалы нашли свое применение во многих странах мира [11].

Примером укрепления защитной противопаводковой дамбы может служить дамба на р. Ирень в г. Кунгур, построенная в 2005 г. Протяженность дамбы 330 м. Она обеспечивает защиту от наводнений 531 домов с населением 3000 человек. Предотвращенный ущерб — 332 млн руб. Техничко-экономические показатели работ по укреплению левого берега р. Ирень от ул. Павлика Морозова, д. 7 до ул. Береговая в г. Кунгур



Рис. 3. Укрепление габионными конструкциями дамбы на р. Сылта.



Рис. 4. Использование биотекстиля для укрепления берегов р. Сылва, г. Кунгур.

представлены в таблице. Однако эти мероприятия полностью проблемы не решают.

Наиболее эффективными являются мероприятия не по борьбе с наводнениями, а по ликвидации причин, их вызывающих. Это означает создание в речном бассейне условий, благоприятствующих выравниванию процессов стекания воды по поверхности водосбора и притокам в главную реку, что требует комплексного научного подхода, так как изменение одного компонента природной системы приводит к изменению других. Поэтому при проведении таких мероприятий необходимо учитывать как позитивные, так и негативные их последствия, и следовательно, принимать меры по их устранению. В то же время все возрастающая степень хозяйственного освоения территории и ее природных ресурсов с одной стороны и угроза, создаваемая наводнениями с другой, вызывает необходимость разработки мероприятий по борьбе с наводнениями, предотвратить которые пока невозможно. К числу таких мероприятий относят следующие: сооружение защитных дамб; изменение русла; создание противопаводковых водохранилищ. В качестве основных, на наш взгляд, могут быть рассмотрены два: руслорегулирующие работы и противопаводковые водохранилища.

Таблица. Техничко-экономические показатели работ по укреплению левого берега р. Ирень от ул. Павлика Морозова, д. 7 до ул. Береговая в г. Кунгур (ОАО «Пермгипроводхоз», 2004 г.)

<i>Показатели, единицы измерения</i>	<i>Количество</i>
Берегоукрепительные работы	
Класс сооружения	П
Назначение — предотвращение размыва дамбы	—
Расчетный уровень (1 % обеспеченности в створе № 00), М. Б. С.	120,10
Отметка верхней границы крепления, М. Б. С.	120,84
Протяженность участка крепления, м	330
Тип крепления — откосное	—
Материал крепления — каменная наброска, ПГС, геотекстиль	—
Укрепление гребня дамбы — камень фракций 70—120 мм, м ³	269
Установка контрольных марок, шт.	5
Экономические показатели	
Продолжительность строительства, мес.	3
Общая стоимость строительства в ценах 2003 г. с НДС, тыс. руб., в т.ч. СМР с НДС	3403,83 2927,21
Стоимость 1-го погонного метра в ценах 2003 г. тыс. руб.	10,31

Руслорегулирующие работы

На практике находит применение такой способ защиты от наводнений, как очищение речных русел. На водопрпускную способность р. Сылва оказывает влияние отложения древесного, а также песчано-илистого материала, вследствие чего река сильно мелеет. Очистка русла снижает уровень паводков, уменьшает размыв берегов и зарастание отмелей, улучшает качество речной воды. Но в этом случае можно ожидать и негативных последствий. Так, в практике известны случаи, когда в результате подобных работ понижался базис эрозии — уровень нижележащего водоема, изменялся водный режим на выше и ниже расположенных участках. Для р. Сылва углубление русла тоже может привести к нежелательным последствиям: усилению подпора от плотины Камской ГЭС у г. Кунгур, а выше по течению это может интенсифицировать как углубление, так и обмеление, изменить высоту уровня грунтовых вод и т. д. Предложения по проведению руслорегулирующих работ и оценка их эффективности на водотоках вблизи г. Кунгур представлены в работах [12—13]. Из них следует, что регулирование русла позволит снизить вероятность наводнений в районе, повышая рейтинг города

как крупного туристического центра. Однако полностью согласиться с полученными выводами возможно только после проведения тщательных полевых и лабораторных исследований.

Регулирование стока водохранилищами

Специально создаваемые для борьбы с наводнениями водохранилища имеют плотины различной высоты и протяженности. Для их устройства используются также естественные котловины и другие понижения местности, отстоящие на некотором удалении от реки. Между рекой и котловиной сооружается канал, по которому воды реки в половодье направляются в водохранилище, а в межень — обратно. На канале должны быть сооружения для регулирования его пропускной способности. На реках с широкими затопляемыми долинами создаются противопаводочные водохранилища — речного или озерно-речного типа, или ряд водохранилищ — на главной реке и ее притоках. При проектировании обязательна разработка различных вариантов их расположения, отметок горизонтов воды, режимов эксплуатации для определения наиболее оптимального варианта, при котором достигается эффект уменьшения наводнений. Отрицательные последствия создания водохранилищ — наименьшие.

Для р. Сылва предложено два варианта проектирования водохранилищ. В 40-х гг. XX в. проектным институтом «Гидропроект» разрабатывалась схема создания средних гидроэлектростанций на р. Сылва (Шумковская и Кишертская ГЭС) с напором 7—10 м. Но их создание привело бы к затоплению обширных пойменных земель и в тоже время не дало заметного эффекта по срезки пика половодья [9]. В верхнем течении р. Сылва достаточно половодна и по своим орографическим условиям в большей степени подходит для создания водохранилища.

Второй вариант — сооружение плотины с напором в 25 м в Суксунском районе выше с. Агафонкова. Объем водохранилища при этом составит примерно 250 млн м³, что позволит срезать пик половодья у Кунгура 1 % обеспеченности примерно на 0,6 м и снять, таким образом, опасность перелива внешних вод через существующие защитные дамбы [8].

При всей эффективности противопаводковых водохранилищ они могут стать причиной новых негативных процессов — карстовых, эрозийных, гидрохимических, гидробиологических, изменяющих естественно развивающуюся природную систему. Поэтому и в этом случае необходима тщательная проработка вопросов формирования и развития природного комплекса не только на участке р. Сылва в районе г. Кун-

гур, но и на территории всего ее бассейна. Любая попытка обособленного решения проблемы обречена на неудачу, так как она либо не снимает угрозу наводнений, либо ее усиливает, либо приводит к новым негативным последствиям.

Выводы

1. Причиной высоких половодий в бассейне р. Кама является весеннее снеготаяние при экстремально больших запасах снега и (или) дружный характер весны. Угрозу катастрофических наводнений в г. Кунгур создают лишь однопиковые паводки с максимальными отметками в конце апреля или в начале мая.

2. Защитные дамбы не стали кардинальным средством защиты города от наводнения. В качестве временного укрепления защитных противопаводковых дамб применены железобетонные, сборные и монолитные бетонные плиты, каменные наброски, гибкие тюфячные покрытия, каменное мощение, габионы, асфальтные плиты, одерновка, посадка кустарников, лесопосадки, посев трав и др. Лучшие результаты дают габионные конструкции.

3. Заслуживают внимание два вида защитных сооружений: обоснованные А.П. Лепихиным с соавторами [13] руслорегулирующие работы и создание водохранилищ, расположенных в верховьях рек Сылва и Ирень. Уменьшение паводковых расходов при этом может быть достигнуто путем перераспределения стока во времени.

4. При выборе любого проекта защитных сооружений необходим своевременный и качественный гидрологический прогноз, учитывающие сложные местные особенности — наличие карстующихся пород.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Акимов В.А., Лесных В.В., Соколов Ю.И. Риски катастрофических наводнений на территории России в начале XXI века: анализ и управление // Оценка и управление природными рисками: материалы Всероссийской конференции «Риск-2003». М.: Изд-во Российского университета дружбы народов, 2003. Т. 1. С. 293—298.
2. Воробьев Ю.Л., Акимов В.А., Соколов Ю.И. Катастрофические наводнения начала XXI века: уроки и выводы. М.: Изд-во ООО «ДЭКС-ПРЕСС», 2003. 352 с.
3. Курбатова А.С., Мягков С.М., Шныпарков А.Л. Природный риск для городов России. М.: Изд-во НИИПИ экологии города, 1997. 240 с.
4. Нежиховский Р.А. Наводнения на реках и озерах. Л.: Гидрометеоздат, 1988. 184 с.
5. Таратутин А.А. Наводнения на территории Российской Федерации. Екатеринбург: Изд-во Аэрокосмоэкология, 2000. 375 с.
6. Энов А.Б. Аварии, катастрофы и стихийные бедствия в России. М.: Финиздат, 1994. 341 с.
7. Кадебская О.И., Пятунин М.С. Применение ГИС-технологий при прогнозировании

- паводка в г. Кунгуре Пермской области // Оценка и управление природными рисками: материалы Всероссийской конференции «Риск-2003». М.: Изд-во Российского университета дружбы народов, 2003. Т. 2. С. 14—19.
8. *Комлев А.М., Дробышев А.Д., Назаров Н.Н., Пермяков Ю.А., Черных Е.А.* Стихийные гидрометеорологические явления в Пермской области // Вопросы физической географии и геоэкологии Урала. Пермь: Изд-во Перм. ун-та, 1996. С. 105—112.
 9. *Комлев А.М.* Весеннее половодье в бассейне р. Сылвы и наводнения в г. Кунгуре // Эколого-водохозяйственный вестник. Екатеринбург, 2001. Вып. 5. С. 95—100.
 10. *Михайлов А.В., Китаев А.Б.* Защитные и берегоукрепительные сооружения Пермского края. Учебное пособие. Пермь: Перм. ун-т, 2008. 175 с.
 11. *Михайлов А.В., Китаев А.Б.* Защитные и берегоукрепительные сооружения Пермского края. Учебное пособие (2-е изд.). Пермь: Изд-во «ОГ и ДО», 2009. 142 с.
 12. *Лепихин А.П.* К оценке эффективности применения дамб для снижения рисков затопления при прохождении экстремально высоких паводков // Водное хозяйство России. 2006. № 6. С. 27—31.
 13. *Лепихин А.П., Перепелица Д.И., Тиунов А.А.* Анализ и обоснование возможных схем защиты г. Кунгура от наводнений // Водное хозяйство России. 2006. № 2. С. 80—93.

Сведения об авторах:

Двинских Светлана Александровна, д. г. н., профессор, кафедра гидрологии и охраны водных ресурсов, Пермский государственный университет, 614990, г. Пермь, ул. Букирева, 15; e-mail: hydrology@psu.ru;

Китаев Александр Борисович, к. г. н., доцент, кафедра гидрологии и охраны водных ресурсов, Пермский государственный университет, hydrology@psu.ru;

Михайлов Александр Владимирович, старший преподаватель, кафедра гидрологии и охраны водных ресурсов, Пермский государственный университет, hydrology@psu.ru.