

ФАКТОРЫ ФОРМИРОВАНИЯ ЗАТОРОВ ПРИ ЛЕДОХОДЕ И ИХ УЧЕТ ДЛЯ ОБОСНОВАНИЯ МЕРОПРИЯТИЙ ПО ПРЕДОТВРАЩЕНИЮ НАВОДНЕНИЙ НА УЧАСТКЕ р. ТОМИ У г. ТОМСКА

Д.К. Замараев

АО «Томская судоходная компания», Томск, Россия

Актуальность работы обусловлена существенным антропогенным прессингом на русло и пойму р. Томь, который усугубил существующие угрозы катастрофических наводнений. Определены наиболее эффективные способы защиты населения, застроенных территорий и инфраструктуры поселений от угроз, обусловленных катастрофическими наводнениями на р. Томи у г. Томска. Произведен анализ процессов взаимодействия основного русла и речных пойм, их морфологических особенностей при наступлении катастрофических наводнений весеннего половодья р. Томи у г. Томска. В нижнем течении р. Томь выходит с гор на равнину, снижаются скорости течения, осаждаются наносы, река разбивается на рукава, появляются острова и многочисленные протоки, плесы и перекаты. Естественные деформации русла и поймы характеризуются двумя типами: русловая и пойменная многорукавность. Образовавшийся в основном русле затор льда, подобно плотине, вызывает подъем уровня воды, происходит выход воды на пойму. По мере подъема уровня на пойме возрастает альтернативный основному руслу поток паводковых вод. Пойменная и русловая многорукавность оказывается способной пропускать выходящие на пойму паводковые воды в обход образующимся заторам в основном русле. За многие тысячелетия на затороопасных участках сформировались пойменные протоки, отводившие воду с поймы в обход заторам. Они действуют подобно аварийным клапанам, сбрасывающим избыток воды. Борьба с наводнениями от заторов льда должна быть сведена к поддержанию в «действующем» состоянии проток, сбрасывающих паводковые воды, с одновременным обвалованием территорий, затопление которых недопустимо с хозяйственной и экологической точек зрения (жилые массивы, предприятия, коммуникации и др.).

Ключевые слова: заторы льда, пойменная многорукавность, долина реки, пропускная способность русла, русловые процессы.

Введение

Глобальные изменения климата, проявляющиеся в увеличении его экстремальности, обусловили изменения рисков наводнений во время весенних половодий, при дождевых и снегодождевых паводках, ледовых заторах и зажорах [Бузин, Копалиани, 2007; Бузин, 2008; Кононова, 2014]. Особенно благоприятным в отдельные годы для развития экстремально-го паводка на сибирских реках, в том числе и на р. Томи, является последовательное сложение следующих гидрометеорологических условий [Burakov, Avdeeva, Kosmakova, 2007]:

1. Осенью бассейн реки насыщается обильными осадками, влажность почвы может приближаться к уровню максимальной влагоемкости.

2. В такие годы в зиму река уходит с высоким уровнем воды, следовательно, увеличивается площадь водной акватории, что в сочетании с холодной зимой приводит к накоплению больших объемов льда и шуги в руслах рек.

3. Формированию наводнений способствуют поздняя, затяжная весна, холодные март и апрель, часто выпадающие весенние осадки и заметное потепление в конце апреля или в мае, которое в южной части бассейна Томи наступает раньше, чем в ниж-

нем течении. Здесь начинает формироваться первая волна весеннего половодья.

4. В нижнем течении р. Томь выходит на равнину. Здесь река разбивается на рукава, появляются острова и многочисленные протоки, плесы и перекаты. Волна половодья, подходящая сверху, взламывает еще прочный ледяной покров, густой ледоход останавливается на изгибах русла, перед островами, формируя заторы льда, сопровождающиеся катастрофически высокими подъемами уровня воды, наводнениями и разрушениями.

5. Вторая волна половодья, которая формируется в мае за счет снеготаяния, грунтовой составляющей и дождей в горах Кузнецкого Алатау, Салаирского кряжа и Горной Шории, также может вызвать формирование высоких уровней воды и наводнений.

Цель настоящей работы – исследование факторов формирования заторов льда и обоснование нового подхода, позволяющего минимизировать ущерб, связанный с этой стихией на р. Томи в районе г. Томска в условиях русловой и пойменной многорукавности.

Объект исследования

Долина нижней Томи (120-километровый отрезок в пределах Томской области) ориентирована в

субмеридиональном направлении. Она располагается на стыке двух крупных геологических структур – Колывань-Томской складчатой зоны и Западно-Сибирской плиты; в долине реки раздел проходит по линии с. Поросино – с. Иглаково. Геологическая граница одновременно является геоморфологическим и ландшафтным рубежом. В геоморфологическом отношении она служит контактом Западно-Сибирской равнины и северных отрогов Кузнецкого Алатау, в ландшафтном – является разделом физико-географических стран – Западной Сибири и гор Южной Сибири.

В работе [Малолетко, 2008] последовательно рассмотрены этапы формирования современного состояния речных систем Западной Сибири (в том числе Обь-Томского междуречья). Автор наглядно показывает, насколько современный поток зависит от исторически сложившегося геологического основания, неотектонических движений и, как следствие, больших и малых седиментаций, а также от современных географических факторов. Современная сеть региона гетерогенна и гетерохронна. Она состоит из фрагментов разновозрастных речных долин – древних, в пределах обрамления, и молодых, в пределах низменности. Современная речная сеть имеет мало общих черт с неогеновой, за исключением ее участков в пределах обрамления. На территории низменности существенную роль в формировании гидросети сыграли неоднократные оледенения, особенно максимальное (самаровское). Заметное влияние на формирование малых речных систем некоторых районов низменности оказали неотектонические, эрозионные и эоловые процессы.

Современное русло Томи сопровождается крупный меридиональный неотектонический рельефообразующий разлом, по которому в конце неоплейстоцена (но до образования II надпойменной террасы) все правобережье было приподнято по отношению к левобережью с амплитудой не менее нескольких десятков метров. Флювиальный рельеф района представлен долинами р. Томи и ее притоков. Главная артерия гидросети района – р. Томь имеет ширину в межень до 400 м. Долина р. Томи имеет ширину по дну (на уровне высокой поймы – I надпойменной террасы) 3–5 км и до 1 км (у п. Коларово), а с учетом II (боровой) надпойменной террасы, широко развитой на левобережье, – до 12–14 км. Склоны долины осложнены серией надпойменных террас [Гудымович, Рычкова, Рябчикова, 2009].

Бассейн р. Томи достаточно увлажнен. Годовое количество осадков изменяется от 350 до 800 мм. За теплый период (с апреля по октябрь) повсеместно выпадает до 70 %, в холодный период (ноябрь–март) – до 25 % годового количества осадков. Бассейн р. Томи относится к районам, где осадков выпадает больше, чем может испариться.

Томь – река с Алтайским типом водного режима, который характеризуется растянутым, до 3–4 месяцев, весенне-летним половодьем и низкой осенне-зимней меженью. Из-за отсутствия ледникового питания половодье на р. Томи более короткое, чем на других реках с подобным режимом (в среднем со второй половины апреля по вторую половину июля, 75–95 сут). Половодье имеет высокую и острую волну; средняя амплитуда уровней составляет 7–8 м. При часто возникающих ледовых заторах уровни на локальных участках поднимаются на 10–12 м, но вода на максимальных отметках держится не более 2–4 сут. Спад половодья происходит в 2–4 раза медленнее подъема воды (20–30 см/сут против 50–120), но в целом достаточно быстро. В половодье проходит до 70 % годового стока реки, вследствие чего меженные уровни, при отсутствии дождевых паводков, устанавливаются крайне низкие [Беркович и др., 2015].

Водный режим нижней Томи во многом зависит от режима реки приемника (р. Обь), которая создает и регулирует базис эрозии на участке слияния.

Бассейн нижнего течения Томи в районе г. Томска давно приобрел облик глубоко урбанизированной территории. На протяжении последних 400 лет, особенно в XX в., наблюдаются активные антропогенные воздействия на русло и пойму реки в пределах Томской области. Сброс теплых вод городских предприятий и городских ливневых стоков поступает в р. Томь из р. Ушайки, впадающей в центре Томска. В последней четверти XX в. дополнительный слив горячей воды от АЭС ниже г. Томска практически остановил естественный ритм заторов: ниже по течению г. Томска река местами перестала замерзать. В этот же период интенсивная добыча песчано-гравийной смеси из русла Томи в районе г. Томска и его окрестностей привела к падению минимальных уровней и снижению отметок дна реки примерно на 2–3 м [Земцов, Вершинин, Инишев, 2014; Беркович и др., 2015]. Уровни воды в реке понизились не только в межень, но и в половодье. Повторяемость весенних заторов льда в районе Томска в период с 1960 по 1998 г. резко снизилась.

Однако, последовавшее в конце XX – начале XXI в. строительство гидротехнических сооружений (мосты, набережные, причальные стенки и др.) изменили условия для прохождения весеннего ледохода. Вновь построенная сеть дорог, насыпей, жилых массивов частично, а в некоторых местах полностью перекрыла пойму.

Прекращение сброса городских теплых вод в русло реки в зимний период и сброса горячей воды АЭС, приостановка добычи песчано-гравийной смеси и последовавшая аккумуляция наносов в русловых карьерах обусловили возобновление заторов льда и заторных наводнений на р. Томи в районе

областного центра [Земцов, Вершинин, Инишев, 2014].

Постановка проблемы

Затор – это скопление льдин в русле реки во время ледохода, вызывающее стеснение водного сечения и связанный с этим подъем уровня воды (рис. 1). Теоретические представления о заторах разработаны как отечественными [Лисер, 1967; Burakov, Avdeeva, Kosmakova, 2007; Бузин, 2008; Земцов, Вершинин, Инишев, 2014; Кононова, 2014; Беркович и др., 2015], так и зарубежными авторами [Beltaos, Krishnappan, 1982; Bakony, 1988; Lindenschmidt, Sydor, Carson, 2011; Wang, Chen, 2011].

На участке образования затора льда можно выделить (рис. 1):

– зону очага затора (1) – представляет собой сдвинутые вниз по течению ледяные поля, ниже которых может сохраняться еще не нарушенный лед (замок затора);

– головную часть (голову) затора (2) – нагромождение взломанного спрессованного битого льда, имеющего большую мощность и стесняющего живое сечение реки, с навалами льда на берегах;

– хвост (шлейф) затора (3) – верхняя часть заторного участка в основном из однослойных льдин, с подъемом уровня воды ΔH за счет подпора;

– участок (4) с редким ледоходом, или свободный от плывущего льда.

Навалы льда на берегах могут встречаться не только в головной части затора, но и на участках (3) и (4), расположенных выше по течению. Заторы льда разрушают гидротехнические сооружения, приводят к затоплению больших пойменных территорий, нередко застроенных зданиями, сооружениями, целыми жилыми или производственными комплексами, что наносит значительный ущерб как самим хозяйственным строениям, так и всей сопутствующей инфраструктуре. Особенно большие убытки наносятся коммунальному хозяйству крупных населенных пунктов. Например, в Томске вся пойменная часть застройки города постоянно находится под угрозой затопления.

Условия образования и разрушения заторных образований в руслах рек детально описаны в [Pariset, Hausser, Gagnon, 1966; Uzuner, Kennedy, 1974; Донченко, 1987; Mayer, Starosolszky, 1988; Бузин, Зиновьев, 2009]. По характеру разрушения ледяного покрова и очищения реки ото льда Р.В. Донченко [Донченко, 1987] выделяет три основных типа вскрытия рек.

Первый тип характеризуется разрушением ледяного покрова путем таяния льда под влиянием солнечной радиации, теплого воздуха и воды. В этом случае лед тает на месте. Такое вскрытие типично для малых и средних рек.

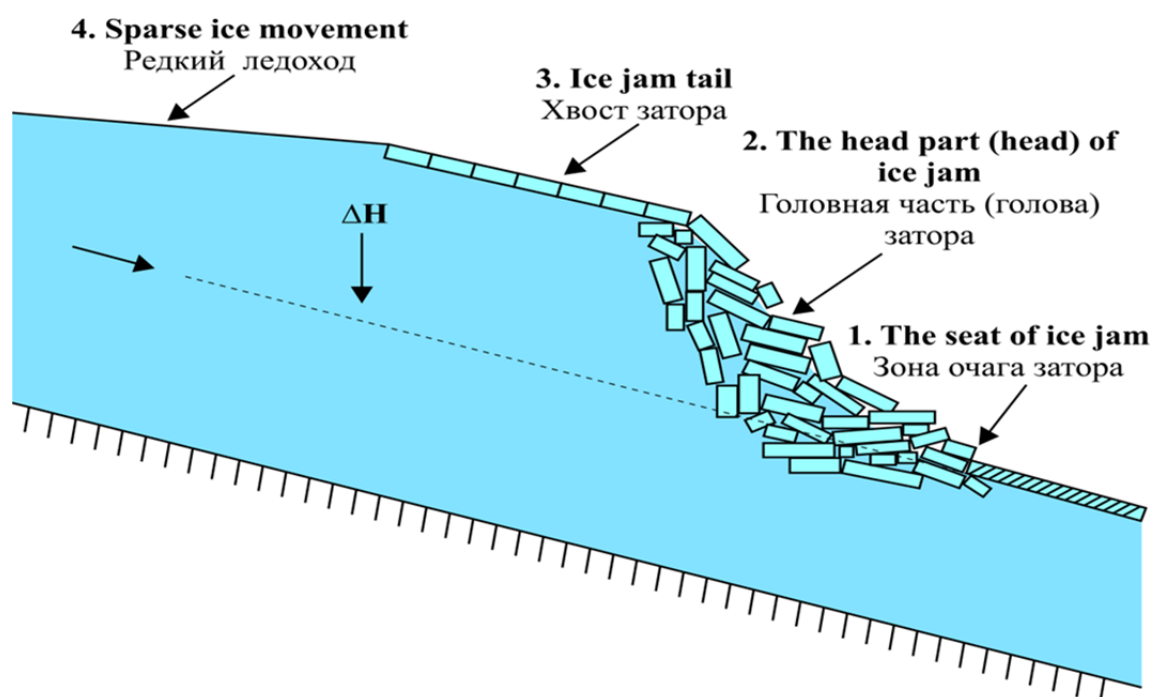


Рис. 1. Положение уровней воды и ледового покрытия при весеннем заторе по [Лисер, 1967; Бузин, 2008]

Fig. 1. Position of water levels and ice cover at spring mash [according to Liser, 1967; Buzin, 2008]

Второй тип вскрытия характеризуется взаимодействием двух процессов разрушения ледяного покрова: 1) в результате его таяния; 2) вследствие механического разрушения под воздействием динамических нагрузок со стороны водного потока и ветра.

Для третьего типа вскрытия определяющим является механическое разрушение ледяного покрова под воздействием паводочной волны. Именно такой тип вскрытия наблюдается на Томи при интенсивном развитии весеннего половодья. В этом случае вскрытие реки сопровождается образованием особенно мощных заторов льда со всеми вытекающими негативными последствиями, наносящими ущерб населению, хозяйственным и жилым объектам.

По данным наблюдений в черте г. Томска и в его окрестностях, заторы могут устанавливаться на срок от 1–2 до 15 сут. Прорыв затора льда и его разрушение наблюдаются, как правило, после подъема уровня воды ΔH , достигающего нескольких метров (см. рис. 1). Скорость движения льдин при прорыве затора может составлять 2–4 м/с. За сдвинувшимся затором следует прорывная волна, которая, продвигая затор, затапливает окрестные пойменные территории.

За период инструментальных наблюдений наивысшие уровни воды весеннего половодья на р. Томи у г. Томска связаны с заторами льда. Согласно [Земцов, Вершинин, Инишев, 2014], вклад заторной составляющей в максимальный уровень здесь составляет 40–70 %, увеличиваясь в годы катастрофических наводнений. Заметим, что точность оценки максимальных расходов воды во время ледохода невысока, что не позволяет надежно оценить указанный вклад. Самый высокий максимальный заторный уровень в Томске наблюдался на посту Томск-пристань в 1947 г. – 1103 см. За последние 40 лет оказался выдающимся и 2010 г.: 29 апреля в южной части Томска у гидроствора (хвост затора) уровень воды поднялся примерно до 10,5 м, на 2 м превысив опасную отметку. В зоне затопления оказался пригородный поселок Черная речка на левом берегу Томи. Здесь под воду ушли 270 жилых домов, эвакуированы 1102 жителя. Средняя дата наступления максимального уровня воды на Томи у Томска – 5 мая; крайние: 17 апреля (2000 г.), 4 июня (1975 г.).

Прогноз образования заторов льда позволяет заблаговременно провести противозаторные мероприятия. В настоящее время Росгидромет ежегодно в последней декаде марта выпускает прогноз высоты максимальных уровней воды у г. Томска [Бураков, Космакова, 2012]. На сегодняшний день в комплекс противопаводковых мероприятий входят в первую очередь [Фалеев, Черных, Старостин, 2014]:

1. Оповещение населения.

2. Ослабление льда путем взрывов, его разрезания и др.

3. Создание гидротехнических (ледо-, водоотводящие, ледорезные) сооружений в русле.

4. Обвалование, наращивание берегов русла с целью предотвращения затопления территории.

5. Проведение дноуглубительных работ на перекатах, где традиционно формируется затор льда.

Ряд авторов считают, что снижение подпора воды на реках может быть достигнуто углублением, расширением или частичным спрямлением русла [Савичев, 2012]. Это эффективно на тех реках, где можно создать на протяженных участках перепад отметок водной поверхности, достаточный для беззаторного пропуска льда. Если же такой перепад создать невозможно вследствие, например, ограниченной высоты базиса эрозии, то углубление дна в лучшем случае лишь переместит участок формирования затора ниже по течению реки, что может создать неблагоприятные последствия на новом участке. К неоднозначности влияния дноуглубительных работ на заторные явления, особенно на участке нижнего течения Томи, где наблюдаются подпорное влияние подъемов уровней на р. Оби во время весеннего половодья, указывает О.Г. Савичев [Савичев, 2012].

Возникает вопрос: существуют ли альтернативные мероприятия по предотвращению разрушительных наводнений и ослаблению вредного влияния, связанных с образованием ледовых заторов в окрестностях г. Томска? Для исследования этого вопроса рассмотрим динамику взаимодействия русловых и пойменных потоков в нижнем течении Томи.

Русловые и пойменные процессы в нижнем течении р. Томи (Томская область)

Русловой процесс, по определению М.А. Великанова [Великанов, 1958], – это процесс взаимодействия потока и русла. Русло управляет потоком, формируя его скоростное поле. Поток своим распределением скоростей течения влияет на форму русла, производит тут или там размывы и намывы и путем переноса и отложения размываемого материала создает себе такое русло, которое соответствует его скоростному полю. Те же законы действуют и в случае с пойменными потоками (протоками).

Процессы формирования русла реки, речной поймы, ее морфологических особенностей обусловлены размывом, транспортом и переотложением наносов. Они неразрывно связаны друг с другом. Поверхностный, подрусовой и подземный сток воды, растворенных веществ, размыв, перемещение и переотложение взвешенных и влекомых наносов формируют русловую, старичную и пойменную фации аллювия, влияют на почвообразующие процессы и растительность. Речные поймы – эти молодые, постоянно изменяющиеся участки суши, неразрывно связанные с природными условиями бассейна реки,

такими как величина и режим его тепловлагообеспеченности, геологическое строение и рельеф.

Физико-географические условия участка речной долины определяют тип руслового процесса, т.е. вид естественных деформаций русла и поймы [Попов, 1965; Каменсков, 1987]. На участках р. Томи в пределах Томской области встречаются два типа руслового и пойменного процесса: русловая многорукавность и пойменная многорукавность. Оба эти типа переходят из одного в другой или существуют одновременно в зависимости от местных уклонов, расстояния между бортами долины, ширины унаследованной поймы, влияния подпорных явлений на рассматриваемых участках.

Признаками русловой многорукавности являются наличие одного широкого русла в период половодья и дробление его на отдельные рукава в период летней межени. Существуют участки как с русловой многорукавностью осередкового типа, так и с русловой многорукавностью островного типа. Структура скоростного поля потока при данном типе руслового процесса весьма сложная. В реке наблюдаются чередование подпоров и спадов водной поверхности, образование водоворотов, свальных течений, расходящихся и сходящихся потоков. Та или иная комбинация течений может вызывать смещение осередков как вниз, так и вверх по течению, а также изменение их поперечных размеров.

В случае с пойменной многорукавностью русло представляет несколько (две и более) протоков, обтекающих острова, либо пойму, расчлененную множеством (две и более) протоков – самостоятельных русел. Существенным условием образования данного типа руслового процесса является наличие достаточно широкой поймы с разновысотными участками поверхности. Пойменные протоки развиваются в вытянутых понижениях, представляющих участки бывшего русла реки. В протоках может развиваться свой тип русловых переформирований, поэтому при исследовании пойменной многорукавности необходимо рассматривать русло каждой протоки, а также участки их слияния и разделения [Попов, 1965; Каменсков, 1987].

Мы рассмотрели общие особенности руслового процесса, которые характерны для нижнего течения Томи. Описание этого участка реки, масштабы добычи песчано-гравийной смеси, воздействие этой добычи на рельеф дна реки, уклоны водной поверхности, посадку уровней воды освещены в [Каменсков, 1987; Беркович и др., 1998; Гудымович, Рычкова, Рябчикова, 2009; Бураков, Космакова, 2012; Беркович и др., 2015; Тарасов, Вершинин, 2015 и др.].

Результаты исследования

Формирование затора начинается с его головы, упирающейся в кромку ледостава или остановившегося ледохода. Подплывающие льдины забивают

русло, образуя тело затора. Ледяная плотина преграждает движение потока в основном русле. Повышается уровень воды, и происходит выход воды на пойму. По мере подъема уровня воды в основном русле на пойме возрастает альтернативный основному руслу поток паводковых вод, который дополняется водой от таяния местного снега и грунтовой водой, подпираемой со стороны вод реки в хвосте затора. Сформированная рекой за многие сотни лет пойменная многорукавность осуществляет пропуск выходящих на пойму паводковых вод в обход образующимся заторам. За тысячелетия существования поймы для каждого затороопасного участка сформировались пойменные протоки, регулярно осуществляющие пропуск вод по пойме в обход сформировавшихся заторов в основном русле, в случае их образования и сброса талых паводковых и дождевых вод, атмосферных осадков – круглогодично. Эти протоки можно сравнить с аварийными, дренажными клапанами, сбрасывающими избыток воды.

На режим заторных наводнений в первую очередь оказывает влияние уклон водной поверхности, существенно зависящий от уклонов дна долины и русла реки. Для оценки уклона водной поверхности р. Томи в нижнем течении (участок реки 75–13,5 км лоцманской карты (ЛК) р. Томи 1990 г.) использованы данные наблюдений за уровнями воды по трем постоянно действующим водомерным постам Западно-Сибирского УГМС (табл. 1). Схема месторасположения использованных водомерных постов представлена на рис. 2.

В табл. 2 и 3 приведены одновременные отметки уровней воды по наблюдениям рассматриваемых водомерных постов Росгидромета на примере 2016 г. в периоды от вскрытия реки (апрель) до ее замерзания (ноябрь). Рассчитаны перепады высот, уклоны водной поверхности в разные фазы водного режима. Анализ перепадов высот при одновременной связке уровней в разные фазы паводка показал следующее:

1. В течение всего года, за исключением периода формирования и разрушения заторов льда, перепад между отметками горизонта воды у водомерного поста Томский гидроствор (выше г. Томска) и водомерного поста с. Козюлино (ниже г. Томска) не превышает 2,0 м. При этом расстояние между постами 61,5 км, уклон водной поверхности в среднем за год не превышает 0,03 промили. Эти параметры существуют независимо от специальных условий протекания воды по руслу, таких как наличие или отсутствие подпора со стороны реки-водоприемника (р. Обь), обножение лимитирующих перекатов в меженный период и др. Наличие малых уклонов водной поверхности на рассматриваемом участке нижней Томи является следствием выхода ее долины из зоны влияния Колывань-Томской складчатости в зону Западно-Сибирской плиты. Малые уклоны водной поверхности обусловлены особенностями неотектоники данного района.

Таблица 1

Взяты за основу участки реки между водомерными постами и их протяженность

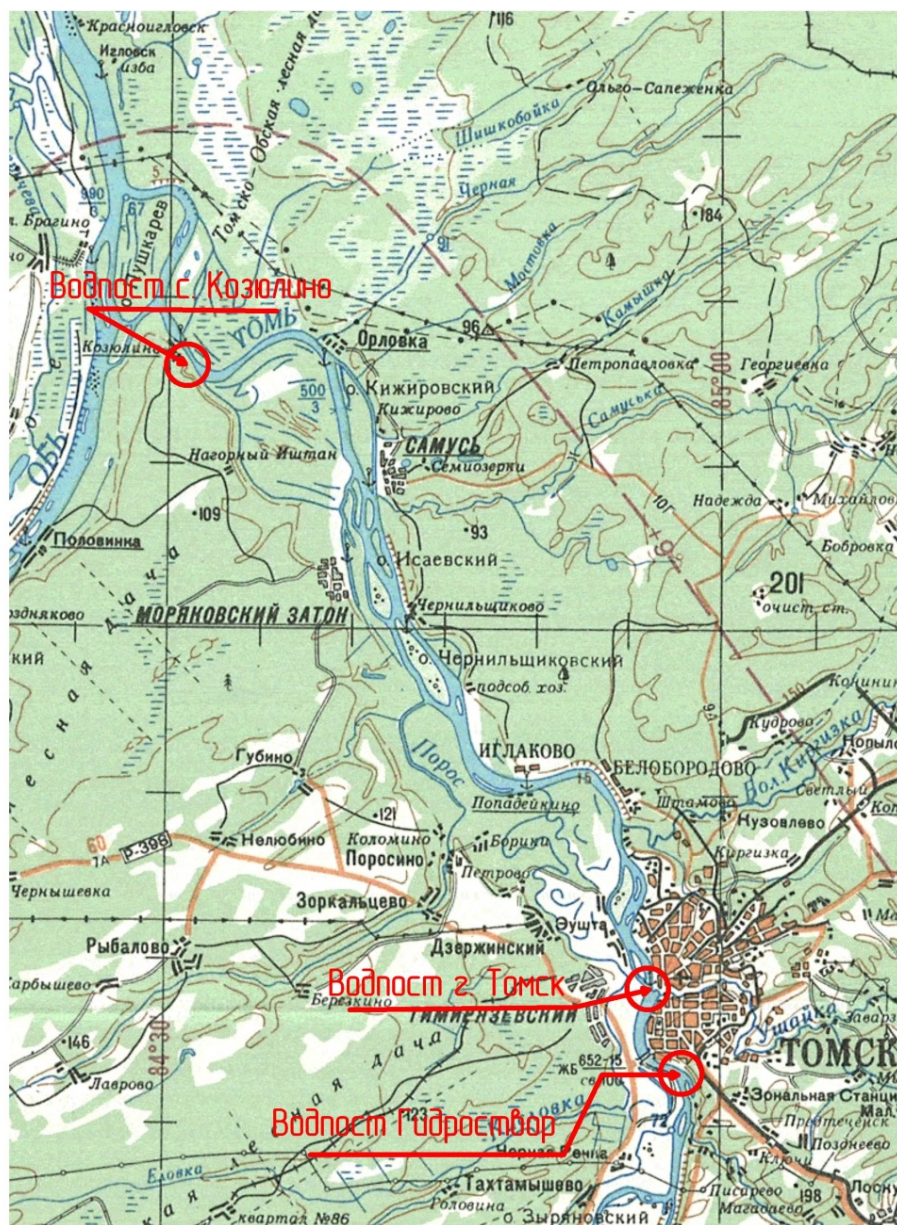
Table 1

Location of water metering posts and distance between them

Верхний водомерный пост	Нижний водомерный пост	Расстояние, км
г. Томск – Гидроствор (75,0 км ЛК)	г. Томск (68,0 км ЛК)	7,0
г. Томск (68,0 км ЛК)	с. Козюлино (13,5 км ЛК)	54,5
г. Томск – Гидроствор (75,0 км ЛК)	с. Козюлино (13,5 км ЛК)	68,0

Примечание: ЛК – лоцманская карта.

Note: LK – pilotage card.



Условные Обозначения:


Водомер с. Козюлино

Рис. 2. Схема расположения водомерных постов

Fig. 2. Scheme of location of water gauge station

Таблица 2

Соотношение одновременных горизонтов воды, уклонов и перепадов высот при прохождении ледохода с 1 по 10 апреля 2016 г.

Table 2

Ratio of simultaneous elevations of water, slopes and elevation difference, slope of the water surface during the passage of the ice from 1 to 10 April 2016

№	Дата 2016 г.	Водомерный пост (в/п)	Уровень	Отметка нуля водомерного поста БС, м	Отметка горизонта воды БС, м	Перепад отметок, м	Уклон водной поверхности в промилях	Примечания
1	01.04	Томск гст.	4	69,98	70,02	1,47	0,210	Ледостав, подъем воды
		Томск в/п	–74	69,29	68,55	0,34	0,001	
		Козюлино	401	64,20	68,21	1,81	0,003	
2	03.04	Томск гст.	75	69,98	71,83	2,89	0,413	Ледостав, подъем воды Подвижки льда Ледостав
		Томск в/п	–35	69,29	68,94	0,51	0,001	
		Козюлино	423	64,20	68,43	3,04	0,045	
3	05.04	Томск гст.	185	69,98	71,83	1,63	0,233	Ледостав, подъем воды Подвижки льда
		Томск в/п	91	69,29	70,20	0,63	0,012	
		Козюлино	526	64,2	69,43	2,40	0,035	
4	06.04	Томск гст.	649	69,98	76,47	5,0	0,71	Затор ниже старого моста Подвижки льда Ледоход 40 %
		Томск в/п	218	69,29	71,47	1,34	0,024	
		Козюлино	593	64,2	70,13	6,34	0,093	
5	07.04	Томск гст.	537	69,98	75,35	0,93	0,133	Ледоход, подвижки Ледоход 80% Ледоход 30%
		Томск в/п	513	69,29	74,42	2,81	0,051	
		Козюлино	741	64,2	71,61	3,74	0,055	
6	08.04	Томск гст.	46	69,98	74,44	0,05	0,007	Затор пошел
		Томск в/п	510	69,29	74,39	1,91	0,035	
		Козюлино	828	64,2	72,48	1,96	0,029	
7	09.04	Томск гст.	451	69,98	74,49	0,29	0,041	
		Томск в/п	491	69,29	74,20	1,16	0,021	
		Козюлино	884	64,2	73,04	1,45	0,021	
8	10.04	Томск гст.	453	69,98	74,51	0,84	0,012	
		Томск в/п	438	69,29	73,67	0,63	0,011	
		Козюлино	884	64,2	73,04	1,47	0,021	

Таблица 3

Соотношение одновременных горизонтов воды, уклонов и перепадов высот в свободном от ледовых явлений состоянии с 16 апреля по 30 сентября 2016 г.

Table 3

Correlation of simultaneous elevations of water, slopes and elevation difference, slope of the water surface after the passage of the ice from April 16 to September 30, 2016.

№	Число 2016 г.	Водомерный пост (в/п)	Уровень	Отметка репера в БС, м	Отметка горизонта воды в БС, м	Перепад отметок, м	Уклон водной поверхности в промилях	Примечания
1	16.04	Томск гст.	383	69,98	73,81	0,95	0,135	Чисто
		Томск в/п	357	69,29	72,86	1,01	0,019	
		Козюлино	765	64,2	71,85	1,96	0,029	
2	25.04	Томск гст.	540	69,98	75,38	0,81	0,115	Чисто
		Томск в/п	528	69,29	74,57	1,59	0,029	
		Козюлино	878	64,2	72,98	2,40	0,035	
3	19.05	Томск гст.	301	69,98	72,99	0,72	0,08	Чисто
		Томск в/п	298	69,29	72,27	1,13	0,0157	
		Козюлино	694	64,2	71,14	1,85	0,0227	

2. По данным Росгидромета и учащенным наблюдениям МЧС, локальные перепады отметок водной поверхности, связанные с заторами льда в районе г. Томска, могут достигать примерно 3–6 м. Именно такие перепады обеспечивают подвижку сформировавшегося затора льда. Очевидно, в этих условиях выход воды на пойму неизбежен.

3. Если на всем рассматриваемом участке падение горизонта воды не превышает 2,0 м, а для срыва затора необходим локальный перепад между его верхним и нижним бьефами 3–6 м, то любое дноуглубление не приведет к смягчению затороопасности ситуации. Любое дноуглубление или расширение русла в транзитной зоне потока не создаст необходимого

перепада (уклона) водной поверхности. Таким углублением или расширением русла, как упомянуто выше, в лучшем случае удастся сместить место формирования головы затора, но выход воды на пойму по-прежнему неизбежен.

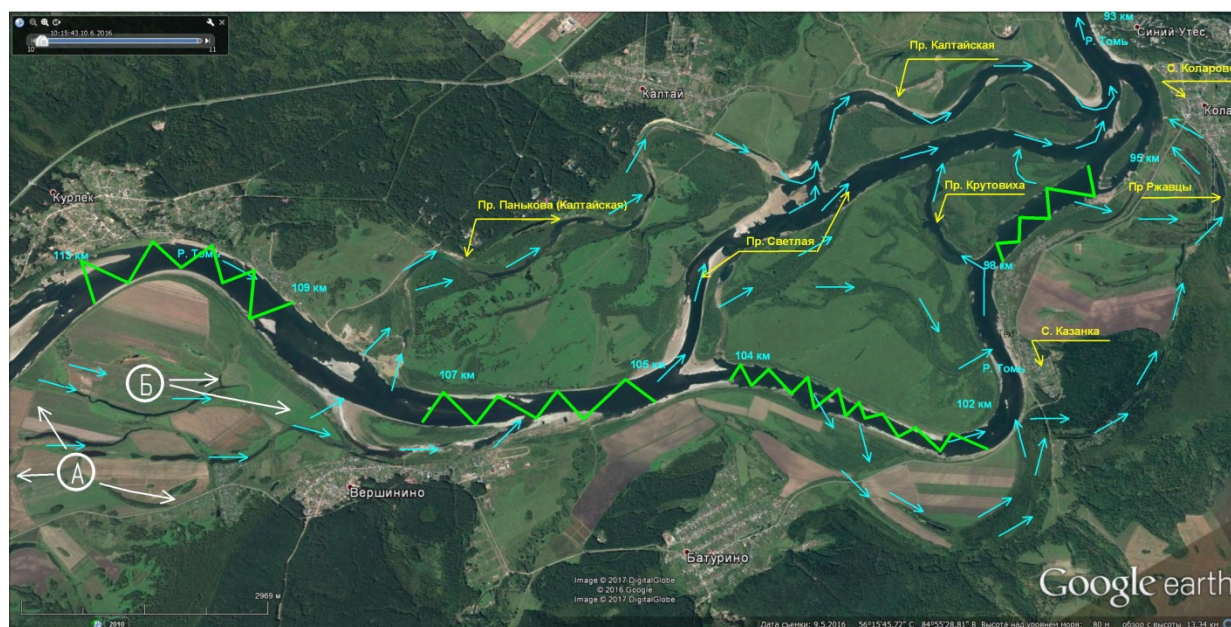
Итак, обезопасить локальные участки поймы от выхода весенних вод можно не только путем их поднятия или обвалования до безопасных высотных отметок, но и одновременного обеспечения стока воды в обход сформировавшихся заторов. С этой целью следует расчистить и при необходимости углубить и расширить пойменные протоки. Подчеркнем, что спуск воды в обход затора обеспечит снижение максимального уровня воды и будет способствовать снижению риска наводнения и затопления ценных территорий. Не потребуется разрушать затор путем его взрывания – он будет разрушен потоком воды на месте, в процессе естественного ослабления прочности льда и под воздействием температуры и напора воды с течением некоторого времени.

В свете вышеизложенного борьба с наводнениями от заторных явлений может быть сведена к поддержанию в «действующем» состоянии пойменных протоков, сбрасывающих паводковые воды в обход

ледяных пробок. И с одновременным обвалованием территорий, затопление которых недопустимо с хозяйственной и экологической точек зрения (жилые массивы, предприятия, коммуникации и др.).

Задача эта выполнимая, хотя и не простая, и дорогостоящая. Потребуются изыскания, моделирование течений и русловых переформирований, проектирование и, наконец, земляные работы. Отметим, что в настоящее время накоплен определенный опыт математического моделирования движения воды в руслах и имитационного моделирования заторов льда на р. Томи в районе г. Томска [Мониторинг ледовой..., 2010; Тарасов, Вершинин, 2015]. Это отдельная тема для обсуждения.

Реальность именно такого подхода можно увидеть на действующих в настоящее время участках долины р. Томи. В качестве примера рассмотрим варианты затопления поймы Томи на разных ее участках в пределах 48–113 км по лоцманской карте р. Томи 1990 г. На рис. 3 представлена действующая в современных условиях схема пропуска воды по пойме в обход сформировавшихся заторов в основном русле. Рассматриваемым участком является участок 93–113 км ЛК р. Томи, менее нарушенный антропогенным влиянием, чем в районе г. Томска.



Условные Обозначения:

Направление затопления пойменных массивов в естественных условиях ненарушенных пойменных массивов при установлении затора



Участок установления головы затора



Направление затопления пойменных массивов в современном нарушенном состоянии при установлении затора



Рис. 3. Схема пропуска воды по пойме в обход сформировавшихся заторов в основном русле на участке 93–113 км лоцманской карты р. Томи

Fig. 3. Scheme of water transmission on the floodplain, bypassing the formed congestion in the main channel on the section 93–113 km of the pilot map of the Tom River



Рис. 4. Навал камней на пойменных лугах, принесенный льдом в период прохождения паводковых вод по пойме

Fig. 4. The flood of stones in floodplain meadows, brought by ice during the passage of flood waters along the floodplain



Рис. 5. Навал камней на пойменных лугах, принесенный льдом в период прохождения паводковых вод по пойме

Fig. 5. Pile of stones in floodplain meadows, brought by ice during the passage of flood waters along the floodplain

Свидетельства прохождения льда и водных потоков по существующей пойме остаются на сельскохозяйственных угодьях (пашня, луга) в виде разбросанных валунистов, гравийных и песчаных гряд и просто навалов гравия. Вследствие того, что на этом участке правобережная пойма представляет пахот-

ные и сенокосные угодья и сеть проток не являются одним сплошным руслом, паводковые воды по этой причине при выходе на пойму затопливают достаточно большие площади, двигаясь широким потоком, при этом поток увлекает за собой массу битого льда и мусора, засоряющего впоследствии все эти

территории, причиняя существенный урон сельскохозяйственным угодьям (см. рис. 4, 5).

При установлении головы затора на участке реки 105–107 км вода идет в обход вдоль левого берега по протоке Панькова, затем по протоке Калтайской с разгрузкой у Синего утеса (с. Коларово).

При установлении головы затора на участке 104–102 км вода его обходит по протоке Светлой, с возможным выходом в Калтайскую, и также с разгрузкой у Синего утеса.

При установлении головы затора на участке реки 98–95 км избыточные воды уходят через протоку Крутовиху и разгружаются в р. Томи через нижнее устье протоки Светлой. При этом последние 10 лет участились случаи освобождения реки ото льда на этом участке по следующей схеме. Голова затора, смещаясь в указанной последовательности, останавливается на 98–95 км и задерживается там практически до прохождения основного объема льда по вышеуказанным протокам. Уже к завершению ледохода изрядно ослабленный течением и температурой лед, сформировавший затор на этом участке основного русла, река размывает и уносит вниз по течению без особых усилий.

Вышеуказанная схема прохождения паводковых вод на данном участке р. Томи работает при различных уровнях воды. Во время перемещения заторных формирований вниз по основному руслу, при особенно больших уровнях воды, когда не хватает пропускной способности действующих протоков, паводковая вода может выходить на пойму (право- и левобережную, а также островную), заполняя и двигаясь по старицам и понижениям в обход заторов.

При мощных заторах, как это было в 2010 г., когда действующие протоки не справлялись с отводом избытка воды, она обходила затор по пойме, вдоль террасы правого берега. При этом были преодолены и размывы автодорожные насыпи как на входе, так и на выходе воды с поймы. В этом случае паводковые воды проходили мимо сел Вершинино, Казанка, Коларово по пойменным протокам (староречьям) Ржавцы и др. Разгрузка пойменных потоков в основное русло происходила у Синего Утёса со стороны с. Коларово. При этом в первую очередь всегда подтапливается территория низкой поймы. Участки (населенные пункты Батурино, Казанка, Коларово), располагающиеся на высокой пойме, практически не страдают. Исключение составляют новостройки, расположенные на низких участках. Если бы на правом берегу был сформирован подготовленный канал, проложенный по имеющимся пойменным протокам, с выходом на протоку Ржавцы и разгрузкой в основное русло у с. Коларово, риск подтопления сел Батурино, Казанки, Вершинино (части сел расположены на невысоких участках поймы) был бы минимален. Подобные обходные протоки сформиро-

ваны рекой на протяжении всего ее течения. К сожалению, в результате хозяйственной деятельности многие из этих протоков пересыпаны, застроены и даже заселены.

В свете вышеизложенного очевидно, что на участке 52 км (с. Попадейкино) до 86 км (с. Тахтамышево) прохождение паводковых вод в период освобождения реки ото льда (заторообразования) развивалось по сходному сценарию.

На рис. 6 представлена схема затопления пойменных территорий в период заторообразования на участке левобережной поймы возле г. Томска 86 км (с. Тахтамышево) – 72 км ЛК р. Томи (г. Томск, верхний мост). Пойма р. Томи на этом участке имеет ряд сохранившихся староречий, при этом сильно урбанизирована. На участке имеется федеральная дорога Р-255 (Томск – Новосибирск) с жестким покрытием, дорожной развязкой и мостовым переходом. Участок поймы полностью покрыт сельхозугодьями, на которых внедрено искусственное орошение с поливной инфраструктурой. При этом данный участок реки является одним из наиболее затороопасных в нижнем течении р. Томи. Стрелками голубого цвета обозначены направления затопления пойменных массивов в естественных условиях ненарушенной поймы, полученные из анализа оставшихся фрагментов естественных пойменных протоков; стрелками красного цвета – направления выходящих из русла потоков при затоплении пойменных массивов в современном нарушенном состоянии. Именно таким образом вода проходила на этом участке поймы при катастрофическом затоплении в 2010 г. Из-за того что данный участок поймы перестал быть проточным (он огорожен дорожным полотном Р-255), при катастрофических паводках он потерял свою функцию пропуска поступающей воды вокруг затора и просто заполняется водой как бессточная котловина. При этом уровни затопления территории формируются выше, чем могло бы быть в естественных условиях при ее проточности и сбросе вод ниже затора.

Из рис. 8 видно, как воздвигнутые дорожные насыпи преградили естественные пути движения обходных водных потоков. В результате блокирования насыпями естественных путей слива воды с поймы в 2010 г. произошел прорыв (обозначен контуром малинового цвета) дорожной насыпи у основания моста и образовался переток воды в р. Томь. На рис. 7–9 представлены фотоматериалы, демонстрирующие вмешательство хозяйственной деятельности в естественные пойменные процессы путем хозяйственного использования поймы, строительства объектов с перегораживанием протоков.

На рис. 7 – пойменная протока, перекрытая трассой Р-255 Томск – Юрга.



Условные Обозначения:

Направление затопления пойменных массивов в естественных условиях ненарушенных пойменных массивов при установлении затора



Направление затопления пойменных массивов в современном нарушенном состоянии при установлении затора



Участок прорыва дорожной насыпи



Участок установления головы затора



Рис. 6. Схема затопления пойменных территорий в период заторообразования на участке левобережной поймы возле г. Томска в районе пос. Черная речка – верхнего коммунального моста через р. Томь

Fig. 6. Scheme flooding floodplain territory in the period of flood formation on the left-bank floodplain near Tomsk in the village Chernaya rechka – the upper communal bridge across the river Tom



Рис. 7. Пойменная протока, перекрытая трассой Р-255 Томск – Юрга

Fig. 7. Flood channel, blocked by the route R-255 Tomsk-Yurga

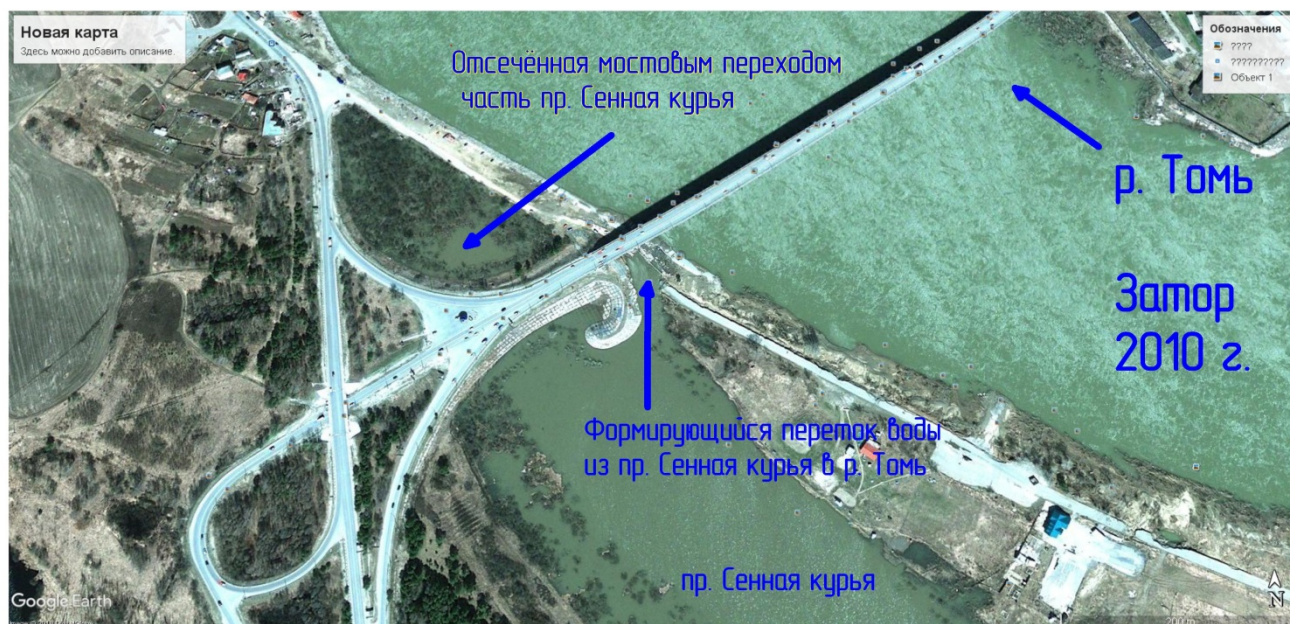


Рис. 8. Перекрытая мостовой насыпью протока Сенная Курья, размывая дорожное полотно, отделяющее ее от реки, начинает перетекать в русло р. Томи в 2010 г.

Fig. 8. Covered by a bridge in the channel, the Sennaya Curm, eroding the roadway separating it from the river, begins to flow into the riverbeds of the Tom River in 2010



Рис. 9. Пересечение протоки Сенная Курья сооружением мостового перехода через р. Томь

Fig. 9. Intersection of av. Sennaya Kurya with the construction of a bridge across the Tom River

На рис. 8 перекрытая мостовой насыпью протока Сенная Курья, размывая дорожное полотно, отделяющее ее от реки, начинает перетекать в русло р. То-

ми в 2010 г. На рис. 9 изображен участок пересечения протоки Сенная Курья сооружением мостового перехода через р. Томь.

На рис. 10 представлена схема движения воды по пойме в период заторообразования на участке левобережной поймы возле г. Томска с 67 (с. Тахтамышево) по 52 км ЛК р. Томи (с. Попадейкино) в естественном, ненарушенном состоянии и состоянии сегодняшнего дня. Левобережная пойма р. Томи на этом участке отличается особенно сложным рельефом, множеством пойменных протоков, разветвленной сетью дорожных насыпей, наличием сельхозугодий, населенных пунктов, садоводческих товариществ с их инфраструктурой. На участке расположен нижний мост через р. Томь. Представленный на рис. 10 участок основного русла р. Томи также является в высокой степени затороопасным. Затороопасность этого участка лишней раз подтверждается широкой, разветвленной поймой со множеством пойменных протоков, имеющих в настоящее время, несмотря на свою оторванность от основного русла, внушительные размеры и проточность на отдельных участках.

Так, федеральная трасса Р-398 Томск – Колпашево от моста к террасе пересекает 7 раз пойменные староречья, и только в восьмом случае, через р. Кисловку, у самой левобережной террасы, есть мосто-

вой переход. В результате данный участок поймы перестал быть проточным, каким он был сформирован естественными условиями. В настоящее время он может заливаться паводковыми водами со стороны р. Томи с заходом через протоку Эуштинскую (Татарская) со стороны д. Эушта. А в отдельных случаях, в условиях подпора со стороны Томи с нижних участков собственными водами, стекающими с террасы, в том числе по руслу р. Кисловка со стороны с. Попадейкино из р. Томи.

Красными стрелками на рис. 10 показаны направления затопления участков левобережной поймы в современном нарушенном состоянии, происходящего при установлении головы затора на участке 60 – 58–52 км.

Зелеными стрелками показаны направления затопления участков левобережной поймы в современном нарушенном состоянии, происходящее при установлении головы затора на участке 52–48 км. Следует отметить, что в нижней части поймы ее затопление происходит с образованием противотечения на некоторых участках р. Кисловка.

На рис. 11, 12 запечатлены два из множества существующих характерных участков на рассматриваемом фрагменте левобережной поймы р. Томи.



Условные Обозначения:

Направление затопления пойменных массивов в естественных условиях ненарушенных пойменных массивов при установлении затора

Участок установления головы затора

Направление затопления пойменных массивов в современном нарушенном состоянии при установлении затора

Направление затопления пойменных массивов в современном нарушенном состоянии при заторе и подтоплении состороны р. Томь

Рис. 10. Схема затопления пойменных территорий в период заторообразования на участке левобережной поймы возле г. Томска в районе нижнего коммунального моста

Fig. 10. Scheme flooding floodplain areas in the period of flood formation on the left-bank floodplain near Tomsk in the area of the lower communal bridge



Рис. 11. Участок трассы Р-398 Томск–Колпашево, пересекающий протоку, полностью исключает перетекание в районе АЗС «ALKE»

Fig. 11. The road P-398 Tomsk-Kolpashevo, crossing the canal and eliminates the overflow in the area of the auto fuel station "ALKE"



Рис. 12. Протоки, пересекаемые недостроенной левобережной магистралью, с сооружениями для перетока воды

Fig. 12. Ducts crossed the left bank of the unfinished highway, with facilities for water flow

В работах [Земцов, Вершинин, Инишев, 2014; Беркович и др., 2015; Тарасов, Вершинин, 2015; Churuksaeva, Starchenko, 2016] показана возможность на основе моделирования имитировать влияние заторов, возникающих на разных участках, на перераспределение стока между главным руслом и протоками, и оценивать подъемы заторных уровней воды при изменении значений входных расходов воды. Именно такой подход, с использованием имитационного моделирования, позволит определять параметры искусственно модифицированных (обвалованных, углубленных, спрямленных) пойменных русел, прокладываемых в обход заторам льда и максимально приближенных к созданным природой естественным пойменным протокам. В результате может быть разработан оптимальный вариант проекта мелиорации поймы, удовлетворяющий обоснованным эколого-экономическим критериям.

Заключение

Проводимая сегодня борьба с заторными явлениями сконцентрирована в основном русле р. Томи. Противопагодковые и противозаторные средства направлены на такие мероприятия, как рыхление с целью ослабления льда путем его подрыва или распиливания перед началом паводка, проведение углубления и расширения перекатов и др. Накопленный опыт показал, что подобные мероприятия,

как правило, не очень эффективны. Это мероприятия разовые. После прохождения паводка о них забывают, как и о потраченных средствах. Однако каждый год в марте, перед началом весеннего половодья, эти страсти возобновляются с новой силой, тратятся новые средства, и опять на один сезон.

В данной работе на примере участка нижнего течения Томи предложен вариант борьбы с заторными явлениями, акцентирующий внимание на следующих мероприятиях:

1. Целенаправленное использование пойменных протоков для сброса воды в обход сформировавшихся заторов.

2. Защита ценных в хозяйственном отношении территорий путем поднятия отметок или создания заградительных сооружений вокруг них.

Предложенные мероприятия являются долгосрочными, и эффективность от вложенных средств только накапливается.

Использование имитационного моделирования даст возможность выбрать из нескольких вариантов наиболее оптимальный вариант мелиорации участков речной поймы, обосновать меры по их защите от затопления путем обвалования территории, т.е. в конечном итоге повысить полезность пойменных земель для нужд конкретных землепользователей, обезопасит население, проживающее на пойменных террасах Томи, и позволит уверенно и безопасно развивать градостроительные проекты в Томском левобережье в течение длительного периода.

ЛИТЕРАТУРА

- Беркович К.М., Вершинин Д.А., Земцов В.А., Рулева С.Н., Сурков В.В., Фролова Н.Л.** Ледовый и русловой режим нижнего течения реки Томи // Эрозионные и русловые процессы : сб. тр. / под ред. Р.С. Чалова. М. : Географический факультет МГУ, 2015. Вып. 6. С. 183–198.
- Беркович К.М., Рулева С.Н., Сурков В.В., Чалов Р.С.** Антропогенные переформирования русла реки Томи // Эрозия почв и русловые процессы. М. : Изд-во МГУ, 1998. Вып. 11. С. 201–206.
- Бузин В.А.** Опасные гидрологические явления. СПб. : РГГМУ, 2008. 128 с.
- Бузин В.А., Зиновьев А.Т.** Ледовые процессы и явления на реках и водохранилищах: методы математического моделирования и опыт их реализации для практических целей (обзор современного состояния проблемы). Учреждение РАН, Ин-т водных и экологических проблем Сибирского отделения РАН. Барнаул : Пять плюс, 2009. 167 с.
- Бузин В.А., Копалиани З.Д.** Наводнения на реках России при современных тенденциях изменения климата // Ученые записки РГГМ. 2007. № 5. С. 43–54.
- Бураков Д.А., Космакова В.Ф.** Метод прогноза максимальных уровней весеннего половодья реки Томи у г. Томска и результаты его применения на практике // Климатология и гляциология Сибири : матер. междунар. науч.-практ. конф. Томск : Изд-во ЦНТИ, 2012. С. 53–55.
- Великанов М.А.** Русловой процесс (основы теории). М. : Госфизматгиз, 1958. 395 с.
- Гудымович С.С., Рычкова И.В., Рябчикова Э.Д.** Геологическое строение окрестностей г. Томска (территории прохождения геологической практики) : учеб. пособие. Томск : Том. политехн. ун-т, 2009. 84 с.
- Донченко Р.В.** Ледовый режим рек СССР. Л. : Гидрометеиздат, 1987. 248 с.
- Земцов В.А., Вершинин Д.А., Инишев Н.Г.** Имитационное моделирование заторов (на примере р. Томь, Западная Сибирь) // Лед и снег. 2014. № 3. С. 59–68.
- Каменсков Ю.И.** Русловые и пойменные процессы. Томск : Изд-во ТГУ, 1987. 173 с.
- Кононова Н.К.** Связь стихийных бедствий в России в 2013 г. и 2014 г. с циркуляцией атмосферы Северного полушария // Сложные системы. 2014. № 4 (13). С. 46–60.
- Лисер И.Я.** Весенние заторы льда на реках Сибири. Л. : Гидрометеиздат, 1967. 103 с.
- Малолетко А.М.** Эволюция речных систем Западной Сибири в мезозое и кайнозое. Томск : Том. гос. ун-т, 2008. 288 с.
- Мониторинг** ледовой обстановки и прохождения весеннего половодья на р. Томи // ОАО «Томскгеомониторинг». 2010. Отчет по III этапу.

- Попов И.В.** Деформации речных русел и гидротехническое строительство. Л. : Гидрометеиздат, 1965. 328 с.
- Савичев О.Г.** Гидрологическое обоснование руслоисправительных работ на реке Томи (Западная Сибирь) с целью снижения опасности наводнений // Гидротехника. 2012. № 3. С. 93–97.
- Тарасов А.С., Вершинин Д.А.** Определение локализации ледовых заторов на разветвленном участке р. Томь с помощью компьютерного гидравлического моделирования // Вестник Томского государственного университета. 2015. № 390. С. 218–224.
- Фалеев М.И., Черных Г.С., Старостин А.С.** Оценка опасностей и угроз, обусловленных катастрофическими наводнениями, и предложения по защите населения и территорий от них // Стратегия гражданской защиты: проблемы и исследования. 2014. Т. 4. С. 18–32.
- Bakony P.** Simulation of unsteady flow due to ice jams formation // Proc. Inter. Conf. on fluvial hydraulic. 1988. P. 310–315.
- Beltaos S., Krishnappan B.G.** Surges from ice jam releases: a case study // Can. J. Civ. Eng. 1982. № 2. P. 276–284.
- Burakov D.A., Avdeeva Y.V., Kosmakova V.F.** Flooding in the river basins of Siberia // NATO Science Series. IV Earth and Environmental Sciences. Springer. 2007. V. 78. P. 111–124
- Churuksaeva V.V., Starchenko A.V.** Depth Averaged Modeling of Turbulent River Flow // Mathematical and Informational Technologies: Conference Information. Vrnjacka Banja, 28.08.–31.08.2016, Budva, 01.09.–05.09.2016. Belgrade, 2016. P. 61–62.
- Lindenschmidt K.-E., Sydor M., Carson R.** Ice jam modeling of the Red River in Winnipeg. 16th CRIPE Workshop on the Hydraulics of Ice Covered Rivers. Winnipeg, 2011. P. 274–290.
- Mayer I., Starosolszky O.** Hydraulics of ice jams development // IAHR Ice Symp. Sapporo, 1988. P. 304–315.
- Pariset E., Hausser R., Gagnon A.** Formation of ice covers and ice jams in rivers // J. Hydraul. Div. 1966. V. 92. NHY 6. P. 1–24.
- Uzun M.S., Kennedy J.F.** The mechanics of river ice jams // Proc. IAHR / PLANC Symp. on River and Ice. Budapest, 1974. P. 7–15.
- Wang J., Chen P.** Progress in studies on ice accumulation in river bends // Journal of hydrodynamics. 2011. V. 23, № 6. P. 737–744.

Автор:

Замараев Дмитрий Константинович, главный маркшейдер, АО «Томская судоходная компания», Томск, Россия.
E-mail: zdk@tomskport.ru

Geosphere Research, 2017, 4, 75–91. DOI: 10.17223/25421379/5/7

D.K. Zamaraev

«Tomsk shipping company», Tomsk, Russia

FACTORS OF FORMATION OF ICE JAMS DURING FLOATING OF ICE AND THEIR REGISTRATION FOR THE SUBSTANTIATION OF THE EVENTS FOR PREVENTION OF FLOODS AT THE AREA OF TOM RIVER TOMSK TERRITORY

Relevance: Nowadays the channel and the flood plain of the Tom River undergo an essential anthropogenic pressure. This pressure aggravates the threat of severe floods. Aim of the research: The purpose of this paper is to define the most efficient methods to protect the populace, built-up areas and settlements infrastructure endangered by the floods on the Tom River near Tomsk city. The research is based on the analysis of interaction between the main channel and the flood plains and their morphological features in the period of severe snowmelt floods on the Tom River near Tomsk city. In results: In the downstream the Tom River transits from the mountain regime to the plain one. The flow velocity slows down and drifts settle. The river divides into branches, the numerous islands, cut-offs, reaches and bars appear. There are two types of natural deformations of the landscape, namely the channel and the flood plain become multi-branch. The ice jam formed in the main channel causes the rise of the water level. The water overflows to the flood plain. While the water level in cut-offs and branches increases, the flow of the flood waters, which is alternative to the main channel, rises up. The channel and main floods multibranches let the flood water through round the ice jams. During many thousands of years the flood plain cut-offs formed on the jam-hazardous areas. This cut-offs have been draining the water from the flood plain round the ice jams. They act as emergency valves that discharge the excess of water. The struggle against floods caused by ice jams should consist in maintenance of the cut-offs, which discharge the flood water, in operational state. Besides, the important agricultural, industrial and residential areas should be diked.

Keywords: *ice jams, drainage network, flood plain multibranch, river valley, jam phenomena, flow capacity, river bed evolution.*

References

- Berkovich K.M., Vershinin D.A., Zemtsov V.A., Ruleva S.N., Surkov V.V., Frolova N.L. *Ledovyy i ruslovoy rezhim nizhnego techeniya reki Tomi/ Eroziionnye i ruslovy protsessy. Sbornik trudov / pod red. R.S. Chalova* [Ice and channel regime of the lower course of the Tom River / Erosion and channel processes. Collection of Works / Ed. R.S. Chalova]. Moscow : Geograficheskiy fakul'tet MGU. Vyp.. 6. 2015. pp. 183–198. In Russian
- Berkovich K.M., Ruleva S.N., Surkov V.V., Chalov R.S. *Antropogennyye pereformirovaniya rusla reki Tomi. / Eroziya pochv i ruslovy protsessy* [Anthropogenic reorganization of the Tom River. Soil erosion and channel processes.]. Vyp. 11. Moscow : Iad. MGU, 1998. pp. 201–206. In Russian
- Buzin V.A. *Opasnye gidrologicheskie yavleniya* [Dangerous hydrological phenomena]. S-Peterburg : RGGMU, 2008. 128 p. In Russian

- Buzin V.A., Zinov'ev A.T. *Ledovye protsessy i yavleniya na rekakh i vodokhranilishchakh: metody matematicheskogo modelirovaniya i opyt ikh realizatsii dlya prakticheskikh tseley (obzor sovremennogo sostoyaniya problemy)* [Ice processes and phenomena on rivers and reservoirs: methods of mathematical modeling and experience of their implementation for practical purposes (review of the current state of the problem).]. Uchrezhdenie Rossiyskoy akad. nauk In-t vodnykh i ekologicheskikh problem Sibirskogo otdeleniya RAN. Barnaul : Pyat' plyus, 2009. 167 p. In Russian
- Buzin V.A., Kopalani Z.D. *Navodneniya na rekakh Rossii pri sovremennykh tendentsiyakh izmeneniya klimata* [Floods on the rivers of Russia with the current trends of climate change] // *Uchenye zapiski RGGMU*. 2007. № 5. pp. 43–54. In Russian
- Burakov D.A., Kosmakova V.F. *Metod prognoza maksimal'nykh urovney vesennego polovod'ya reki Tomi u g. Tomska i rezul'taty ego primeneniya na praktike* [The method of forecasting the maximum levels of the spring flood of the Tom River near Tomsk and the results of its application in practice] // *Klimatologiya i glyatsiologiya Sibiri: Mater. Mezhdunar. nauchno-praktich. konf. Tomsk : Izd-vo TsNTI*, 2012. pp. 53–55. In Russian
- Velikanov M.A. *Ruslovoy protsess (osnovy teorii)* [Channel process (the basis of the theory)]. Moscow : Gosfizmatgiz, 1958. 395 p. In Russian
- Gudymovich S.S., Rychkova I.V., Ryabchikova E.D. *Geologicheskoe stroenie okrestnostey g. Tomska (territorii prokhozheniya geologicheskoy praktiki): uchebnoe posobie* [Geological structure of the vicinity of Tomsk (the territory of passage of geological practice): a textbook.]. Tomsk : Tomskiy politekhnicheskii universitet, 2009, 84 p. In Russian
- Donchenko R.V. *Ledovyy rezhim rek SSSR* [Ice regime of the USSR rivers]. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1987. 248 p. In Russian
- Zemtsov V.A., Vershinin D.A., N.G. Inishev N.G. *Imitatsionnoe modelirovanie zatorov (na primere r. Tomi, Zapadnaya Sibir')* [Simulation modeling of congestion (for example, the river Tom, Western Siberia)] // *Led i sneg*. 2014. № 3. pp. 59–68. In Russian
- Kamenskov Yu.I. *Ruslovye i пойменные процессы* [Stream and floodplain processes]. Tomsk : TGU, 1987. 173 p. In Russian
- Kononova N.K. *Svyaz' stikhiyных бедствий v Rossii v 2013 g. i 2014 gg. s tsirkulyatsiey atmosfery Severnogo polushariya* [Communication of natural disasters in Russia in 2013 and 2014. with the circulation of the atmosphere of the Northern Hemisphere] // *Slozhnye sistemy*. 2014. № 4 (13). pp. 46–60. In Russian
- Liser I.Ya. *Vesennie zatory l'da na rekakh Sibiri* [Spring ice jams on the rivers of Siberia]. Leningrad : Gidrometeoizdat, 1967. 103 p. In Russian
- Maloletko A.M. *Evolutsiya rechnykh sistem Zapadnoy Sibiri v mezozoe i kaynozoe* [Evolution of the river systems of Western Siberia in the Mesozoic and Cenozoic Age]. Tomsk : Tomskiy gosudarstvennyy universitet, 2008. 288 p. In Russian
- Monitoring ledovoy obstanovki i prokhozheniya vesennego polovod'ya na r. Tomi* [Monitoring of ice conditions and the passage of spring high water on the river Tom] // OAO «Tomskgeomonitong». 2010. otchet po III etapu. In Russian
- Popov I.V. *Deformatsii rechnykh rusel i gidrotekhnicheskoe stroitel'stvo* [Deformations of river beds and hydrotechnical construction]. Leningrad : Gidrometeoizdat, 1965, 328 p. In Russian
- Savichev O.G. *Gidrologicheskoe obosnovanie rusloispravitel'nykh rabot na reke Tomi (Zapadnaya Sibir') s tsel'yu snizheniya opasnosti nablyudeniya* [Hydrological justification of the mainstream work on the Tom River (Western Siberia) in order to reduce the risk of observations] // *Gidrotekhnika*. 2012. № 3. pp. 93–97 In Russian
- Tarasov A.S., Vershinin D.A. Building a predictive model of ice jam occurrence on the branched site of the Tom River // *Tomsk State University Journal*. 2015. № 390. pp. 218–230. In Russian
- Faleev M.I., Chernykh G.S., Starostin A.S. *Otsenka opasnostey i ugroz, obuslovlennykh katastroficheskimi navodneniyami, i predlozheniya po zashchite naseleniya i territoriy ot nikh* [Assessment of hazards and threats caused by catastrophic floods and proposals for protecting the population and territories] // *Strategiya grazhdanskoy zashchity: problemy i issledovaniya*. 2014. T. 4. pp. 18–32. In Russian
- Bakony P. Simulation of unsteady flow due to ice jams formation // *Proc. Inter. Conf. on fluvial hydraulic*. 1988. pp. 310–315. 166.
- Beltaos S., Krishnappan B.G. Surges from ice jam releases: a case study // *Can. J. Civ. Eng.* 1982. № 2. pp. 276–284.
- Burakov D.A., Avdeeva Y.V., Kosmakova V.F. Flooding in the river basins of Siberia // *NATO Science Series. IV Earth and Environmental Sciences*. Springer, 2007. V. 78. pp. 111–124
- Churuksaeva V.V., Starchenko A.V. Depth Averaged Modeling of Turbulent River Flow // *Mathematical and Informational Technologies: Conference Information*. Vrnjacka Banja, 28.08.–31.08.2016, Budva, 01.09.–05.09.2016. Belgrade, 2016. pp. 61–62
- Lindenschmidt K.-E., Sydor M., Carson R. Ice jam modeling of the Red River in Winnipeg. 16th CRIPE Workshop on the Hydraulics of Ice Covered Rivers, Winnipeg. 2011. pp. 274–290.
- Mayer I., Starosolszky O. Hydraulics of ice jams development // *IAHR Ice Symp. Sapporo*, 1988. pp. 304–315.
- Pariset E., Hausser R., Gagnon A. Formation of ice covers and ice jams in rivers // *J. Hydraul. Div.* 1966. V. 92. NHY 6. pp. 1–24.
- Uzun M.S., Kennedy J.F. The mechanics of river ice jams // *Proc. IAHR/PLANC Symp. on River and Ice*. Budapest, 1974. pp. 7–15.
- Wang J., Chen P. Progress in studies on ice accumulation in river bends // *Journal of hydrodynamics*. 2011. V. 23. № 6. pp. 737–744.

Author:

Zamaraev Dmitry K., Chief Surveyor. «Tomsk shipping company», Tomsk, Russia. E-mail: zdk@tomskport.ru