

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЛОКАЛИЗАЦИИ ЛЕДОВЫХ ЗАТОРОВ НА РАЗВЕТВЛЁННОМ УЧАСТКЕ РУСЛА р. ТОМЬ С ПОМОЩЬЮ КОМПЬЮТЕРНОГО ГИДРАВЛИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

*Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 13-05-01086).*

Рассмотрено влияние геоморфологических факторов на гидравлику потока. На основе данных об измеренных и рассчитанных расходах воды, а также толщине ледового покрова в программе HEC-RAS 4.1.0 построена гидравлическая модель разветвленного участка р. Томь с заторами, способная учитывать прочностные характеристики льда. Введен безразмерный расчётный коэффициент вскрытия, построены карты-схемы его распределения на исследуемом участке.

**Ключевые слова:** заторы льда; река Томь; модель; HEC-RAS; пойменная многорукавность.

### Введение

Заторы льда – регулярно повторяющееся явление на реках бассейна Томи. Наводнения, вызываемые заторами льда, могут причинять большой ущерб имуществу и угрожать здоровью и жизни людей. Однако для возникновения опасных заторов, как правило, необходимы определённые условия. К таким условиям относятся, прежде всего, характер предшествующих половодью осени и весны, в частности уровень воды в момент ледостава, объем ледовой массы как в местах образования заторов, так и выше по течению, интенсивность снеготаяния, а также геоморфологические особенности русла на каждом конкретном участке, которым уделено особое внимание в данном исследовании. Так, для р. Томь характерно возникновение опасных заторов в районе г. Томска. Это вызвано следующими геоморфологическими причинами: резким снижением уклонов водной по-

верхности р. Томь на подходе к Томску и наличием участка пойменной многорукавности.

На рис. 1 приведен продольный профиль р. Томь от устья до г. Новокузнецка, определенный по картам масштаба 1:50000 в балтийской системе (БС) высот. В нижней части долины – от устья до водомерного поста Томск-пристань (70 км) – уклоны составляют в среднем 0,04 м/км, от Томска до Кемерово (370 км) – 0,19 м/км, далее вверх по течению уклоны постепенно увеличиваются и составляют в среднем на участке от Кемерово до Новокузнецка 0,31 м/км. Продольные уклоны долины, водной поверхности и, как следствие, разрушающая способность потока по отношению к ледовому покрову в слабовсхолмленной части бассейна на порядок выше, чем в равнинной части. Таким образом, при почти неизменном расходе воды, поступившем с верхних участков, и однородном по ослабленности ледовом покрове в слабовсхолмленной части долины ледовые покровы разрушаются, а на равнинной части – нет [1].

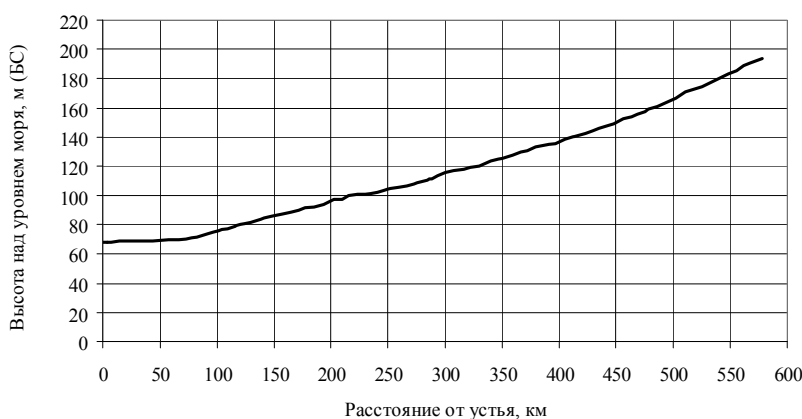


Рис. 1. Продольный профиль р. Томь от устья до г. Новокузнецка

Еще один из геоморфологических факторов связан с резким изменением уклонов водной поверхности. В результате снижения уклонов при переходе из слабовсхолмленной части водосбора в равнинную резко снижается транспортирующая способность потока во все периоды водности, и часть донных наносов оседает вблизи границы смены рельефа в виде многочисленных островов и осередков, наблюдаемых в межень ниже коммунального моста в Томске. Ранее участок

распространения осередков распространялся от Сенной Куры вниз по течению до г. Северска (с. Белобородово) и часто именно в этом месте возникали заторы, от которых страдала низинная территория Томска (Черемошники, район площади Ленина, Московский тракт). В процессе интенсивной добычи нерудных строительных материалов (НСМ) большинство островов и осередков в нижней по течению части города исчезли, русло углубилось, и зона малых уклонов

сместились выше по течению, до площади Ленина. Сюда же переместилась и зона формирования головы затора [1]. Именно на участке современного распространения осередков от коммунального моста на 2 км вниз по течению, когда во время вскрытия реки ото льда тело затора увеличивается за счет поступления льда с вышележащих участков реки, хвост затора, поднимаясь вверх по течению, доходит до участка распространения осередков, заполняя сечение русла и вызывая значительные подъемы уровня воды выше по течению.

Следующим геоморфологическим фактором, связанным также с изменением уклонов долины и типа русла, является переход от преимущественно однорукавного русла Томи от границы Томской и Кемеровской областей до г. Кемерово к разветвленному руслу. Затопы часто возникают на разветвлениях русел, где энергия потока ослабевает настолько, что ее недостаточно для разрушения ледового покрова. В разветвленном русле при возникновении затора в одной из протоков подпор и возросшие уровни воды могут быть сброшены по другой протоке, и затопления территории выше затора не происходит. Такая ситуация регулярно возникает на участке разветвления р. Томи на три протоки: основное русло, Светлая и Калтайская в районе сел Вершинино и Батурино. Эти протоки, в свою очередь, соединяются между собой более мелкими протоками [1].

В последние десятилетия всё более существенную роль приобретают антропогенные факторы – деятельность, способствующая изменению пропускной способности русла: строительство мостов и подъездных путей к ним, перегораживающих пойму, отчленение протоков, срезка островов, строительство дамб, разработка карьеров для добычи гравия и др., а также мероприятия, непосредственно направленные на борьбу с заторами и заторными наводнениями – искусственное разрушение ледового покрова задолго до естественных сроков вскрытия реки и измельчение льда взрывами сверху вниз по течению. Антропогенные факторы способствовали изменению многих важных характеристик формирования заторов, включая их локализацию, сроки образования и физические характеристики самого льда. Обострению опасности заторных наводнений способствует и недостаточная изученность процессов образования, а также структуры и эволюции заторов, что затрудняет выбор методов борьбы с ними в конкретных условиях. При этом есть примеры ошибочных решений, усиливающих негативные последствия заторов [2].

Как отмечено выше, до конца 1950-х гг. в исследуемом районе голова заторов формировалась в месте крутого изгиба реки у станции Белобородово, где теперь находится г. Северск. В результате пониженная часть Томска полностью оказывалась в зоне затопления. В 1947 г. наблюдался максимальный заторный уровень воды на посту Томск-пристань, превышающий уровень предшествовавшей межени на 10 м. Были и человеческие жертвы. Позже, до конца 1990-х гг., высокие затопы здесь не возникали, так как предприятия Северска, Томска и городов, расположенных выше по течению, сбрасывали в реку нагретые промышленные

воды. Одновременно с середины 1950-х гг. в русле реки велась крупномасштабная добыча гравия, способствовавшая «посадке» русла. После закрытия реакторов в Северске затопы ниже Томска стали возникать снова, правда, их частота и мощность заметно снизились. В настоящее время основные места возникновения заторов в результате хозяйственной деятельности сместились вверх по течению – на участок от устья реки Ушайки до коммунального моста, что прежде всего вызвано техногенным изменением продольного профиля реки. Таким образом, ситуация с заторами постоянно меняется во времени за счёт изменения пропускной способности русловой системы (карьеры, острова, судовой ход, мостовые переходы и др.) на разных участках, более ранних сроков искусственного разрушения ледового покрова выше по течению с помощью взрывных работ, которые приводят к измельчению льда и, как следствие, к повышению плотности ледовых масс, накапливаемых в теле затора [2].

Выше Томска затопы регулярно фиксировались в с. Ярское, где в период с по 1931 по 1965 г. Гидрометслужбой велись регулярные наблюдения за уровнями воды. По данным Я.И. Марусенко [3], мощные затопы зафиксированы в 1931, 1941 и 1943 гг. Также по материалам наблюдений Гидрометслужбы, высокие уровни при заторах в с. Ярское наблюдались в 1933, 1935, 1938 и 1939 гг. В 1951 г. затоп наблюдался выше с. Ярское, но уровень был ниже выхода воды на пойму. В 1954 г. затоп наблюдался ниже по течению и так же, как в 1951 г., не вызвал высоких уровней. В последние годы населенные пункты, расположенные выше по течению от Томска, начали страдать от наводнений, вызываемых ледовыми заторами. В 2007 и 2010 гг. оказались подтопленными села Батурино, Вершинино, большое количество дачных и коттеджных поселков вдоль реки.

В связи с этим особую важность имеет прогноз заторных явлений, мест их образования, мощности и продолжительности.

Основная цель данной работы заключается в уточнении возможностей гидравлического компьютерного моделирования для прогноза локализации заторов льда в разветвленных руслах.

### Материалы и методика исследования

В качестве объекта исследования выбран участок р. Томь длиной 17 км с таким преобладающим типом руслового процесса, как пойменная многорукавность, от с. Синий Утес до с. Курлек, представляющий замкнутую систему: однорукавное русло на входе и на выходе, все крупные протоки внутри этой системы. Схема участка исследования представлена на рис. 2.

В рамках данного исследования была разработана компьютерная модель русла с целью изучения формирования и разрушения заторов на р. Томь выше города Томска. Основные задачи моделирования заключались: 1) в выявлении закономерностей и особенностей распределения мест вскрытия и заторообразования на исследуемом участке; 2) установлении

взаимосвязи условий на входе на участок с распределением мест вскрытия льда и заторообразования на участке.

Построение компьютерной модели включало в себя следующие этапы: 1) полевые работы по измерению толщины льда и расхода воды перед вскрытием и измерение расходов воды сразу после прохождения ледохода в 2013–2014 гг.; 2) обработку материалов русловой съемки масштаба 1:5000, выполненной ЗАО «Сибречпроект» в 1997 г. с целью построения цифровой модели рельефа русла в программе MapInfo Professional 7.5; 3) построение гидравлической модели, включающей результаты полевых исследований и учитывающей особенности рельефа русла, в программе HEC-RAS 4.1.0; 4) испытание модели при различных граничных условиях; 5) анализ полученных результатов; 6) определение и расчёт коэффициента вскрытия; 7) построение карт коэффициента вскрытия.

Идея коэффициента вскрытия реки (далее  $K_{\text{вскр}}$ ) была предложена в работе [4] для определения возможных мест образования затора. Для расчета использовались результаты моделирования в системе HEC-RAS – скорости течения, однако этот коэффициент имел размерность. Авторами данной работы  $K_{\text{вскр}}$  несколько изменен и получился безразмерным. В его основу было заложено отношение факторов, направленных на разрушение ледового покрова, и факторов, прямо или косвенно этому препятствующих.

Так, в знаменателе, так же как и в работе [4], находится кинетическая энергия единицы массы потока; чем она больше, тем более вероятно разрушение ледового покрова, а в числителе – произведение сопротивления льда на сжатие, площади живого сечения подо льдом и толщины льда, увеличение этих параметров повышает сопротивление ледового покрова разрушению.

$$K_{\text{вскр}} = \frac{E}{R_{\text{сж}} \cdot W_{\text{ж.с}} \times h_{\text{л}}}, \quad (1)$$

где  $E$  – кинетическая энергия единицы массы потока, Дж;  $W_{\text{ж.с}}$  – площадь живого сечения,  $\text{м}^2$ ;  $R_{\text{сж}}$  – сопротивление льда на сжатие,  $\text{кПа}$ ;  $h_{\text{л}}$  – толщина льда,  $\text{м}$ .

В свою очередь, кинетическую энергию единицы массы потока находим из уравнения Бернулли:

$$E = \frac{\gamma \times V \times v^2}{2 \times g}, \quad (2)$$

где  $\gamma$  – удельный вес воды,  $\text{н/м}^3$ ;  $V$  – объём воды,  $\text{м}^3$ ;  $v$  – скорость течения,  $\text{м/с}$ ;  $g$  – ускорение свободного падения,  $\text{м/с}^2$ .

Основные характеристики, входящие в формулу для расчета коэффициента вскрытия (объём воды, скорость течения, площадь живого сечения), могут быть получены по результатам гидравлического компьютерного моделирования. Расчёты были произведены для двух крайних значений сопротивления льда на сжатие – 450 и 650  $\text{кПа}$ .

По материалам наблюдений авторов, в последние годы заторы часто происходят в нижних частях главного русла и протоки Светлой, которые еще и искусственно углублены при добыче НСМ. На этом участке

возможны несколько сценариев вскрытия реки с образованием заторов в зависимости от объёма льда, поступающего сверху по течению, и его мощности на участках формирования головы затора [5]. Чаще всего наблюдается сценарий, в котором нижние чести главного русла и протоки Светлая покрыты устойчивым ледовым покровом, а верхняя часть главного русла (от с. Казанка до ответвления от него протоки Светлая) забита льдом. При этом часть расхода воды из главного русла перераспределяется в протоку Светлая, а из нее – в протоку Калтайская.

Моделирование проводилось в программе HEC-RAS (Hydrologic Engineering Center - River Analysis System), разработанной корпусом гражданских инженеров Армии США [6]. Геометрические характеристики модели русла подготавливались в программе MapInfo.

Программа HEC-RAS, реализующая одномерный подход к моделированию, наряду с другими блоками включает блок расчета установившегося движения воды и функции гидравлического проектирования. Первый блок предназначен для расчёта продольных профилей водной поверхности для установившегося плавно изменяющегося течения. Система может работать с полной русловой сетью, древообразной речной системой или отдельным участком русла. Она может в одномерном варианте моделировать профили водной поверхности для спокойного, бурного и смешанного состояния потока. В последних версиях программы HEC-RAS, а именно HEC-RAS 3.1 и HEC-RAS 4.0, появилась возможность рассчитывать все гидравлические характеристики потока при наличии ледового покрова. Кроме того, имеется возможность моделировать ледовые заторы при вскрытии рек. Для этого необходимо знать все физические свойства ледяного покрова (толщина, пористость, плотность и т.д.), местоположение тела затора и характеристики самого затора (коэффициент трения между льдинами, угол трения между льдинами и т.д.).

Одной из задач моделирования стала задача определения мест возможного возникновения затора при различных расходах воды при вскрытии реки. Обычно при малых расходах воды вскрытие происходит на нескольких участках по длине реки (на перекатах) с образованием серии небольших заторов на плесовых участках. При высоких расходах эти небольшие заторы могут срываться и собираться в один большой затор, если существуют условия для его образования [6].

### Обсуждение результатов

По рассчитанным с использованием результатов моделирования значениям  $K_{\text{вскр}}$  были построены графики распределения этого коэффициента вдоль главного русла, а также по трём протокам (Калтайской, Светлой и Панькова) для четырёх различных профилей (четырёх различных расходов воды, средних и больших), два из которых имели затор в верхнем створе. Пример графика представлен на рис. 3.



Рис. 2. Схема участка исследования



Рис. 3. График распределения  $K_{\text{вскр}}$  по длине протоки Калтайская при расходе воды в створе с. Синий Утес  $5\,800\text{ м}^3/\text{с}$  ( $K_{\text{вскр}1}$  и  $K_{\text{вскр}2}$  при сопротивлении льда на сжатие 450 и 650 кПа соответственно)

Согласно предыдущим исследованиям [4] критическое значение коэффициента вскрытия предположительно взято около 0,5. Однако в данной работе коэффициент имел размерность, и для его расчета необходимо было вводить эмпирический коэффициент.  $K_{\text{вскр}}$ , предлагаемый авторами в данной публикации, является безразмерным и не требует эмпирических коэффициентов, в чем и состоит его преимущество. Тем не менее порядок его близок предыдущим исследованиям и,

предположительно, учитывая визуальные наблюдения заторов 2013–2014 гг., критическое его значение лежит в пределах 1,0–2,0. Далее по рассчитанным значениям  $K_{\text{вскр}}$  были построены карты-схемы его распределения на исследуемом участке. Пример такой карты-схемы представлен на рис. 4. Очевидно, что на участках со значениями  $K_{\text{вскр}}$  менее 2,0 ледостав будет устойчивым и вскрытия не произойдет, что и подтверждается визуальными наблюдениями 2013–2014 гг.

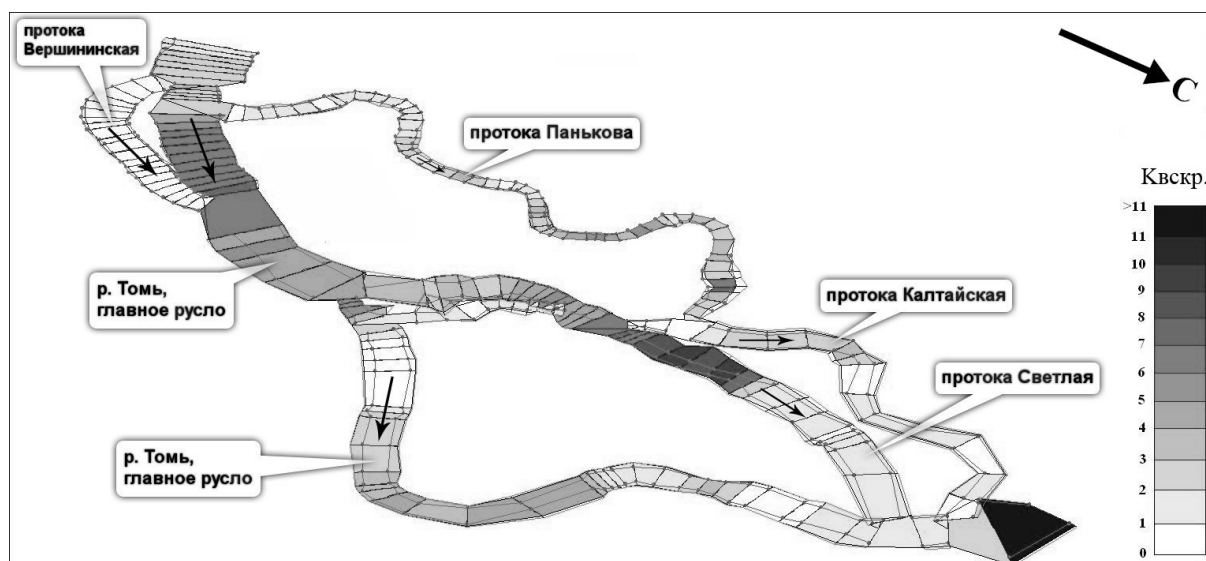


Рис. 4. Карта распределения коэффициента вскрытия при расходе воды в створе с. Синий Утес  $5\,800\text{ м}^3/\text{с}$  с минимальным пределом прочности льда (450 кПа)

Следует отметить, что условие наличия / отсутствия затора во входном створе будет оказывать существенное влияние на распределение расходов воды по протокам и, как следствие, на места вскрытия льда и образования заторов. Распределение расходов воды представлено в таблице.

В результате перераспределения расходов воды изменяются также и коэффициенты вскрытия, в результате чего в одной из проток возникает ледоход. План распределения коэффициентов вскрытия после перераспределения расходов по протокам приведен на рис. 5.

Увеличение расхода в протоке Калтайской вызывает разрушение льда по всей ее длине, что и подтверждено визуальными наблюдениями 2013–2014 гг. Далее происходит вскрытие нижней части протоки Светлая.

Кроме того, при прохождении больших, по сравнению с периодом открытого русла, расходов воды в протоке Калтайская на короткое время меняется режим движения наносов, о чем свидетельствует появление и / или исчезновение обсыхающих в межень грядовых форм [5, 7].

**Распределение расходов воды в протоках при отсутствии заторов (числитель)  
и при их образовании (знаменатель) в главном русле и протоке Светлая [2]**

Расход воды во входном створе системы, м³/с	Расход воды в главном русле	Расход воды в расчётных сечениях			
		протока Пань- кова (выход)	протока Светлая (до выхода пр. Панькова)	протока Калтайская (вход)	протока Светлая (после входа протока Калтайской)
3 300	$\frac{1\,460}{700}$	$\frac{355}{400}$	$\frac{1\,480}{2\,160}$	$\frac{590}{1\,260}$	$\frac{1\,250}{1\,360}$
5 800	$\frac{2\,600}{1\,300}$	$\frac{580}{660}$	$\frac{2\,580}{3\,800}$	$\frac{1\,020}{2\,120}$	$\frac{2\,150}{2\,350}$

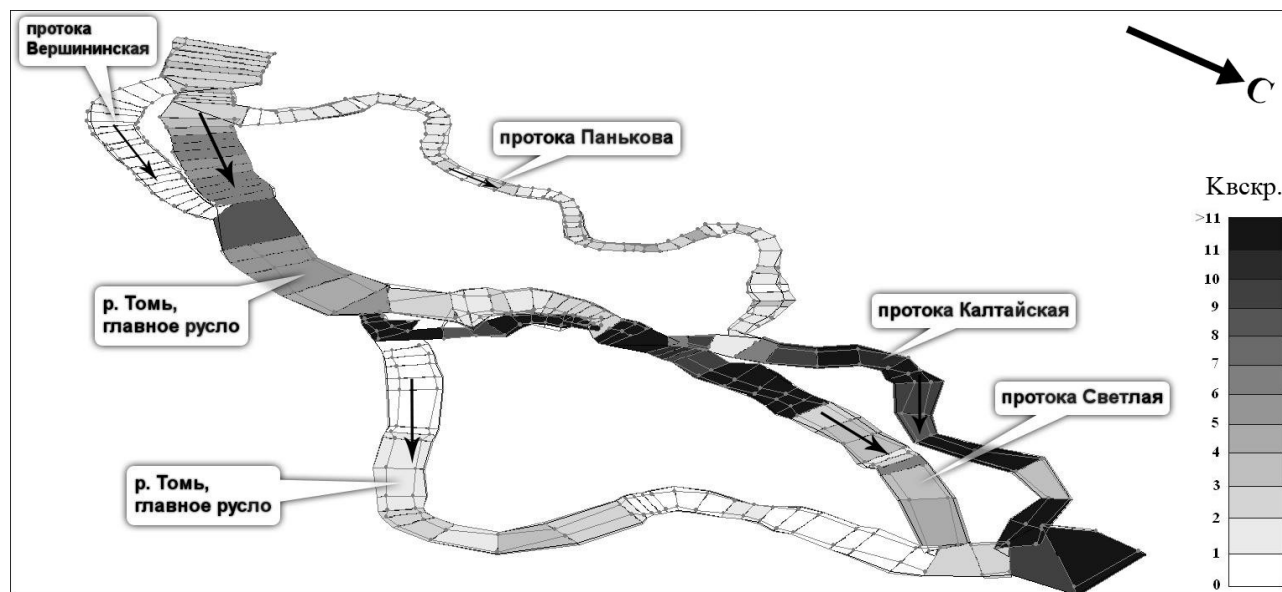


Рис. 5. Карта распределения коэффициента вскрытия при расходе воды в створе с. Синий Утес 5 800 м³/с, с минимальным пределом прочности льда после перераспределения расходов по протокам согласно таблице

### Заключение

Рассчитанное по одномерной гидравлической модели потока распределение значений коэффициента вскрытия в разветвленном русле при разных фиксированных расходах воды во входном створе участка в период ледохода позволяет установить места наиболее вероятной локализации заторов.

Расчёты с последующим анализом показали, что в условиях отсутствия затора во входном створе вероятнее всего река будет вскрываться в районе с. Вершинино, а также в протоке Светлая выше входа в протоку Калтайскую. После перераспределения расходов воды вскрываются протока Калтайская и нижняя часть протоки Светлая.

Важно понимать, что карты-схемы безразмерного коэффициента вскрытия представляют собой мгновенный снимок процесса вскрытия реки и не учиты-

вают его динамику во времени, что необходимо делать при дальнейшем анализе карт. Так, в случае стояния льда в нижней части протоки Светлая часть расхода воды из неё будет перераспределяться в протоку Калтайскую, и тогда вскрытие будет происходить именно в протоке Калтайская.

При наличии затора выше с. Вершинино будет наблюдаться совсем другая картина: в результате перераспределения водности вероятнее всего вскрытие будет происходить в центральной части протоки Светлая, а также практически по всей протоке Калтайская.

Полученные в результате моделирования результаты в целом согласуются с геоморфологическими особенностями русла и натурными наблюдениями: возможность возникновения заторов выше на участках русла с меньшей пропускной способностью (на перекатах).

### ЛИТЕРАТУРА

1. Вершинин Д.А., Земцов В.А., Инишев Н.Г. Факторы формирования заторных явлений на реках при переходе из горных территорий в равнинные (на примере р. Томи) // Охрана окружающей среды и природных ресурсов стран Большого Алтая : материалы Междунар. науч.-практ. конф. / отв. ред. Г.Я. Барышников. Барнаул : Изд-во Алт. ун-та, 2013 С. 55–57.
2. Земцов В.А., Вершинин Д.А., Инишев Н.Г. Имитационное моделирование заторов (на примере р. Томь, Западная Сибирь) // Лёд и снег. 2014. № 3. С. 59–68.
3. Марусенко Я.И. Ледовый режим рек бассейна Томи. Томск : Изд-во Том. ун-та, 1958. 174 с.
4. Вершинин Д.А., Татарников А.В., Орлов Е.И. Возможности прогнозирования возникновения ледовых заторов на основе компьютерных моделей русла // Вестник Томского государственного университета. 2011. № 352. С. 221–224.
5. Короткова В.М., Вершинин Д.А. Исследование процесса грядобразования на разветвленном участке р. Томи в связи с особенностями его водного и ледового режимов // Вестник Томского государственного университета. 2011. № 351. С. 175–180.

6. U.S. Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center (HEC), HEC-RAS. User's Manual. Davis, CA, 2010.
7. Kostaschuk R.A., Vershinin D.A., Zemtsov V.A. Ice-jam Floods. River Ice-jams cause Severe Flooding in Tom River, Western Siberia // *Hydro International*. 2014. Vol. 18, No 5. P. 23–27.

Статья представлена научной редакцией «Науки о земле» 6 октября 2014 г.

# **BUILDING A PREDICTIVE MODEL OF ICE JAM OCCURRENCE ON THE BRANCHED SITE OF THE TOM RIVER**

*Tomsk State University Journal*, 2015, 390, pp. 218–224. DOI 10.17223/15617793/390/36

**Tarasov Alexandr S., Vershinin Dmitriy A.** Tomsk State University (Tomsk, Russian Federation). E-mail: alsetar@yandex.ru; daversh@ggf.tsu.ru

**Keywords:** model; ice jams; Tom River; floodplain multiple arms.

The questions of the influence of geomorphological and anthropogenic factors on the hydraulic structure of the flow, modeling of the processes of opening and ice jam formation in the area of the Tom River floodplain with many branches, taking into account the characteristics of the ice cover. The article presents a generalization of the previous results on the effect of geomorphological factors on the hydraulic flow structure, the study of the formation and destruction of the ice jam phenomena in relation to the object of study – the floodplain area with many arms of the Tom River, and the presentation of the process of the conducted modeling and analysis of its results. The studied area is unique, several geomorphological factors combine here, such as the water surface slope and channel capacity, with a consequent impact on the process of ice jam opening and formation. The influence of anthropogenic factors on aggravating or mitigating the existing geomorphological structure is also considered. An analysis is made of the process of opening of the river for different initial conditions: for larger and smaller water flow in the system, as well as for the presence or absence of ice jams at the entrance to the system. The essence of the problem is the redistribution of water in the flow in the presence of ice jams at the entrance to the system. With an ice jam, the pattern of distribution of parts with ice jam opening and formation is substantially different than without it. The study materials include: bed elevation model taking into account recent developments due to the human impact, measured water consumption, ice thickness and snow depth on the ice taken for many years. The tool, giving an integrated characterization of materials used in the study, program HEC-RAS 4.1.0 was used for modeling. One of the tasks of modeling was the definition of areas of possible ice jams at different flow rates of water at the opening of the river. To determine the possible locations of ice jams, the dimensionless coefficient of the opening of the river was identified and calculated. It was based on the ratio of factors aimed at the destruction of the ice cover and the factors that directly or indirectly impede this. Thus, the denominator was the kinetic energy per unit of mass flow, and the numerator was the product of the resistance of ice by compression, the open area beneath the ice and the ice thickness. A significant impact of redistribution of water content on the process of ice jam opening and forming is considered. Illustrations of the research area, examples of the graphs and maps as well as a table with the balances of water flow in the case of redistribution of water content on the site are given. The results of the analysis of the produced model are provided, an analytical interpretation of maps of the opening coefficient is offered, the results of modeling and of field observations are compared.

## REFERENCES

1. Vershinin D.A., Zemtsov V.A., Inishev N.G. *Faktory formirovaniya zatornykh yavleniy na rekakh pri perekhode iz gornykh territoriy v ravninnye (na primere r. Tomi)* [Factors of formation of ice jams on rivers in the transition from the mountainous areas in the plains (R. Tom)]. In: Baryshnikov G.Ya. (ed.) *Okhrana okruzhayushchey sredy i prirodnnykh resursov stran Bol'shogo Altaya* [Environmental Protection and Natural Resources of Great Altai countries]. Barnaul: ASU Publ., 2013, pp. 55–57.
2. Zemtsov V.A., Vershinin D.A., Inishev N.G. Imitation modeling of ice dams (case study of Tom' River, Western Siberia). *Led i Sneg – Ice and Snow*, 2014, no. 3, pp. 59–68. (In Russian).
3. Marusenko Ya.I. *Ledovyy rezhim rek basseyna Tomi* [Ice regime of the rivers of the Tom basin]. Tomsk: TSU Publ., 1958. 174 p.
4. Vershinin D.A., Tatarnikov A.V., Orlov E.I. Possibilities of ice jams forecasting using river channel computer models. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta – Tomsk State University Journal*, 2011, no. 352, pp. 221–224. (In Russian).
5. Korotkova V.M., Vershinin D.A. Research of the dune formation process on the branched reach of the Tom River according to peculiarities of its water and ice regime. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta – Tomsk State University Journal*, 2011, no. 351, pp. 175–180. (In Russian).
6. U.S. Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center (HEC). *HEC-RAS. User's Manual*. Davis, CA, 2010.
7. Kostaschuk R.A., Vershinin D.A., Zemtsov V.A. Ice-jam Floods. River Ice-jams cause Severe Flooding in Tom River, Western Siberia. *Hydro International*, 2014, vol. 18, no. 5, pp. 23–27.

Received: 6 October 2014