

Федеральное агентство по образованию

Правительство Вологодской области

Вологодский государственный технический университет

# **ВУЗОВСКАЯ НАУКА - РЕГИОНУ**

**Материалы**  
шестой всероссийской  
научно-технической конференции  
29 февраля 2008 г.

**II том**

*K III 1399834*

Вологда, ВоГТУ  
2008

## ПРОБЛЕМЫ ПРОПУСКА ЛЕДОВОГО ПОТОКА У Г.ВЕЛИКИЙ УСТЬЮГ

З.К. Иофин

Россия, Вологодский государственный технический университет

Проблема подтопления и затопления г.Великий Устюг заботит многих. Для ликвидации этого явления используются средства МЧС, выполнены научные исследования по уменьшению возможного затопления. В данной работе выполнена попытка оценки возможности образования заторов, ведущих к повышению уровней воды и в некоторые годы к затоплению города.

Как и любой поток ледовый сток, кроме размера поперечного сечения и, соответственно, скорости течения, зависит от ряда факторов, определяющих условия образования заторов.

Классическое представление о причинах образования заторов достаточно подробно изложено в специальной литературе. Основные из них следующие.

[356] Морфометрические характеристики русла, условия замерзания в предшествующую осень и интенсивность развития весенних процессов, как метеорологических, так и гидрологических.

Участками образования заторов обычно являются крутые повороты русла, разветвление реки на рукава, сужения русла. Заторы образуются также на участках с резким изменением уклона водной поверхности: на незарегулированных реках при переломе продольного профиля, на зарегулированных на участках выклинивания подпора, причем в этих случаях заторы бывают наиболее устойчивыми и наиболее часто повторяются.

Возможно образование затора и на устьевом участке реки, если ниже по течению сохраняется ледяной покров, или нагонный ветер, способствующий уменьшению скорости течения. За счет подпора уменьшается скорость течения. При разных величинах подпора и, соответственно, уменьшенных скоростях течения пропускная способность сечения будет уменьшена.

Как нам представляется, к этим причинам необходимо добавить следующую. При ледоходе размер движущихся льдин самый различный. При этом скорость передвижения льдин также различна. Именно за счет разных скоростей движущихся льдин достаточно вероятно образование заторов.

Для уменьшения вероятности образования заторов и подъема уровней воды в районе г.Великий Устюг есть предложение увеличения поперечного сечения русла за счет срезки Добрынинского переката. Расширение поперечного сечения за счет образования прорези в Добрынинском перекате ведет к увеличению поперечного сечения, но одновременно и снижению скорости течения. Поэтому задача оценки пропуска льда на рассматриваемом участке состоит в расчете ледового стока в создавшемся увеличенном поперечном сечении. Искажение равномерности поступления льда может произойти за счет, например, переменного подпора от слияния двух рек, за счет залпового поступления ледового материала при взрывах и т.д.

Пропуск ледового стока на первый взгляд зависит от морфометрических характеристик русла. В этом смысле при наполнении русла в период весеннего половодья ледовый сток должен быть более благоприятным. Действительно, как показали расчеты, в период весеннего половодья поперечное сечение русла неполностью заполняется ледовым материалом.

Поэтому представляется интересным рассмотреть условия пропуска льда для периода подвиги льда и начала ледохода, когда имеют место низкие уровни воды.

Согласно многолетним наблюдениям в период начала ледохода уровень воды на водомерном посту у г.Великий Устюг находится в пределах 4,15-4,3м глубины.

Скорость движения льда при глубине 4,2м - 0,72 м/с, и толщине льда 0,65м. С учетом стаивания при движении толщина льда составит 0,56м, при подныривании под первый слой ледового покрова скорость уменьшается за счет сил сопротивления Архимедовым силам до 0,4м/с. Тогда ускорение движения подныривающей льдины определится как

$$a = \frac{V^2}{R},$$

где  $V$  - скорость движения,  $R$  - радиус кривизны траектории движения.

$$V = 0,4 \text{ м/с}, R = 1,12 \text{ м}, \text{ тогда } a = \frac{0,4}{1,12} = 0,36 \text{ м/с}^2.$$

При размере льдины 1,5х1,5м, толщине льда 0,56м, плотности льда 0,8 т/м<sup>3</sup> масса льда составит  $m = 2,25 * 0,56 * 0,8 = 1008$  кг

Сила инерции,двигающая льдину достигнет величины  $F = m * a = 1008 * 0,36 = 360$ н

Этой силе противопоставляется сила трения, которая выражается как

$$F_{тр} = kN,$$

где  $k$  – коэффициент трения, который может быть принят по справочным данным при трении льда о лед 0,014;  $N$  – величина нормальной реакции, т.е. сила сжимающая трущиеся поверхности и направленная перпендикулярно к ним. Она равна весу льда, находящегося над рассматриваемым слоем.

$$N = P * g = 1008 * 9.81 = 10080н$$

$$F_{тр} = 0,014 * 10080 = 141н$$

Коль скоро  $F > F_{тр}$ , будет иметь место продвижение льдины от кромки льда вперед, вопрос лишь в том на какое расстояние продвинется льдина. Если принять равенство  $F = A$ , где  $A$  - работа по перемещению льдины, равная  $A = F_{тр} * S$ , где  $S$  - расстояние, на которое перемещается льдина. Отсюда  $S = \frac{A}{F_{тр}} = \frac{360}{141} = 2,55м.$

[357]

Дальнейшие расчеты при глубине потока 4,2м и толщине льда 0,65м связаны с послойным увеличением толщины льда и, соответственно, увеличением архимедовой силы. Поэтому продвижение льда под ледовый покров практически невозможно. Льдины могут наплзать сверху, но и для этого необходимо преодолевать сопротивление архимедовой силы. Совершенно очевидно, что для преодоления архимедовой силы при скопившейся толщине льда, например, 0,65м, необходимо приложить силу превышающую величину  $1,5 * 1,5 * 0,65 * 0,8 = 1,17т$ . Т.е. для наплзания льдин сверху необходимо чтобы размер льдин превышал 1,5м, что статистически мало вероятно. Таким образом, полностью русло реки по всему сечению вряд ли заполнится ледовым материалом от свободной поверхности до дна. Для увеличения пропускной способности ледового материала, как уже отмечалось, есть предложение срезки Добрынинского переката, увеличить поперечное сечение и, как следствие, получить увеличение пропускной способности ледового стока.

Как показано выше, такой расчет будет иметь место при суровых зимах, при которых достигается значительная толщина льда, в сочетании с маловодной весной. В этом случае, при большом количестве ледового материала и небольших глубинах, добавочное поперечное сечение может сыграть положительную роль.

Выводы по пропуску льда в период ледохода.

1. создание прорези положительно повлияет на пропуск ледового материала в районе срезаемого переката при суровых зимах и маловодной весне,

2. затор возникает при неполностью заполненном русле льдом, подъем уровней воды вызывается скоплением ледовой массы не столько по глубине, сколько по длине русла определенным слоем,

3. избежать образования заторов в естественных условиях не всегда возможно. При регулировании условий, при которых создаются заторные явления, например, взрывных работах, необходимо соблюдать следующее. При первых признаках образования затора ( резком повышении уровня воды за короткий промежуток времени) взрывные работы значительной мощности необходимо провести на расстоянии 2 ширин русла ниже и выше предполагаемого затора. Ледовый материал при этом должен быть небольших размеров.

4. в дальнейшем желательно поддерживать ледовый сток в мелкодисперст-ном состоянии, что усложняет образование заторов примерно в 2 раза за счет меньшей плотности материала и одинаковых скоростях движения ледового материала,

5. необходимо следить за сохранением мелкодисперстного льда до места слияния и ниже слияния рек, не допуская залповых выбросов льда разных размеров.