

В.А. Бузин, Н.И. Горошкова, А.В. Стриженок, Д.А. Палкина

ЗАВИСИМОСТИ ДЛЯ ПРОГНОЗОВ МАКСИМАЛЬНЫХ ЗАТОРНЫХ УРОВНЕЙ ВОДЫ СУХОНЫ, ЮГА И МАЛОЙ СЕВЕРНОЙ ДВИНЫ И ВЛИЯНИЕ НА НИХ КЛИМАТИЧЕСКИХ И АНТРОПОГЕННЫХ ФАКТОРОВ

V.A. Buzin, N.I. Goroshkova, A.V. Strizhenok, D.A. Palkina

DEPENDENCIES USED FOR FORECASTING MAXIMUM ICE-JAM STAGES OF THE SUKHONA RIVER, THE SOUTHERN PART OF NORTHERN DVINA AND THE SMALL NORTHERN DVINA AND INFLUENCE OF CLIMATIC AND ANTHROPOGENIC FACTORS ON THEM

Излагаются методики прогноза заторных наводнений в нижнем течении Сухоны и Юга, а также на Малой Северной Двине. Рассмотрена многолетняя изменчивость максимальных заторных уровней воды в узле рек Сухона–Юг–Малая Северная Двина, где с каждым годом увеличивается объём антропогенного воздействия на ледовый режим рек на фоне изменений климата. Приведены результаты оценки вкладов отдельных факторов в формирование максимального заторного уровня, а также качества зависимости для его прогноза с учётом возрастающей роли климатического и антропогенного факторов.

Ключевые слова: узел рек Юг–Сухона–Малая Северная Двина, вскрытие реки, затор льда, максимальный уровень воды, прогноз, погрешность, оправдываемость, изменение климата, антропогенное воздействие.

Techniques of the ice gorge flood in the lower course of the rivers Yug, Sukhona and Small Northern Dvina are stated. Maximum ice gorge water level long-term variability in the unit of rivers Yug, Sukhona and Small Northern Dvina where every year man's impact on ice conditions on a climate change background is forced, is considered. The contribution of individual factors in maximum ice gorge water level is estimated and results are presented. It is estimated also the prognostic relations quality subject to growing role of climatic and anthropogenous factors.

Key words: rivers Yug–Sukhona–Small Northern Dvina unit, river breaking up of ice, ice gorge, maximum water level, the forecast, the error, forecast check out, climate change, man's impact.

Одной из важнейших проблем социальной и экономической стабильности любого государства является готовность его структур противостоять опасным природным явлениям, в том числе наводнениям. В России к числу наиболее опасных наводнений относятся наводнения на реках, обусловленные заторами льда.

Узел рек Сухона–Юг–Малая Северная Двина известен мощными заторами [4, 5]. Серьезные проблемы заторы льда создают на реках Сухона и Малая Северная Двина у г. Великий Устюг. Город периодически затапливается в прибрежной его части в результате заторных наводнений. Одно из наиболее крупных наводнений произошло весной

1998 г. Несмотря на незначительную глубину воды на пойме (0,3 м), из-за большой площади затопления экономический ущерб превысил 200 млн руб.

В настоящее время имеются методики прогнозов максимальных заторных уровней воды только для участков двух участков Сухоны: у д. Каликино и г. Великий Устюг. Одна из них разработана в 1994 г. В.А. Бузиным [2]. В 2002 г. С.А. Каинова и П.Л. Фролова [6] из МГУ предложили методику прогнозов максимальных заторных уровней воды Сухоны у г. Великий Устюг. Обе методики применяются в прогностической практике Северного управления гидрометслужбы. Однако в последние годы погрешность прогнозов по ним увеличилась. Факторами, определяющими снижение качества гидрологических прогнозов по существующим методикам, являются, изменения в ледовом режиме рек, обусловленные изменением климата и антропогенным вмешательством, прежде всего, сбросом теплых вод промышленными предприятиями, проводимыми накануне вскрытия взрывными, ледокольными и ледорезными работами. Следует отметить и прекращение расчисток русла в истоке Северной Двины, что снизило льдопротускную способность ее русла.

Мощность заторов льда на рассматриваемых участках Сухоны и Малой Северной Двины определяется следующими факторами:

- а) количеством и физико-механическими свойствами льда в заторе;
- б) водностью реки в период её вскрытия;
- в) последовательностью вскрытия Сухоны и Юга.

Количество льда в заторе равно сумме объема льда, находящегося на месте затора до вскрытия, и поступившего на речной участок за период весеннего ледохода. Первое слагаемое зависит от степени зашугованности русла при замерзании реки. Большая продолжительность осеннего ледохода и наличие зажоров в осенний период являются одними из признаков возможного формирования заторов льда в весенний период.

Мощность скопления шуги в русле может быть охарактеризована максимальным уровнем в начале ледостава ($H_{\text{лс.мк}}$) или минимальным зимним уровнем ($H_{\text{лс.мн}}$). Весной уровень $H_{\text{лс.мк}}$ еще характеризует площадь промоин и закраин. При наличии большого количества открытых площадей чистой воды сплав льда вниз по реке облегчается.

Кроме степени зашугованности русла, объем льда в заторе зависит от расхода воды в период вскрытия, который определяет скорость перемещения льдин. Существенное значение имеет толщина льдин, участвующих в ледоходе. Она определяется толщиной ледяного покрова, образовавшегося путем постепенного намерзания льда снизу при теплотокке от воды к атмосфере ($t_{\text{л.мк}}$).

Степень подготовленности ледяного покрова к вскрытию определяет физико-механические свойства льда, участвующего в процессе формирования затора, и зависит от толщины ледяного покрова и погодных условий, предшествующих вскрытию. Толстый покров, холодная погода и значительная облачность обуславливают слабую степень подготовки к вскрытию. Тонкий покров, теплая и солнечная погода приводят к обратному эффекту. Значительное влияние на ход заторных явлений оказывает резкое понижение температуры воздуха в период заторообразования, вызывая дополнительный подъем уровня воды за счет увеличения прочности льда. С образованием затора на верхнем участке реки вероятность образования затора на нижнем участке

уменьшается, так как к моменту прорыва верхнего затора ледяной покров на нижнем участке успеваает в значительной степени разрушиться. Мощность затора льда является функцией сил, развивающихся при подвижке массива из ледяных полей и льдин выше очага затора, среди которых главной является влекущая сила водного потока. Она составляет 90 % от суммы всех, действующих на скопление льдин, и зависит от водности реки в период ее вскрытия.

Главную роль в определении того, при каком расходе воды начнется ледоход и станет формироваться, а затем прорвется затор льда, играет степень подготовленности ледяного покрова к вскрытию. Количественными гидрологическими показателями степени подготовки реки к вскрытию могут служить интенсивность и продолжительность роста уровня воды на дату составления прогноза. Река Сухона вскрывается почти одновременно за счёт расходов воды, которые формируются в южной правобережной части её бассейна. В процессе вскрытия Малой Северной Двины принимает участие ещё весенний сток Юга. Чем больше суммарный сток Сухоны и Юга, тем больше подъём уровня воды у Великого Устюга и Котласа при заторах льда на Малой Северной Двине.

Интенсивность формирования весеннего стока изменяется под влиянием метеорологических условий [3]. При интенсивном его формировании вода течёт по русловой сети с большой скоростью, и время добегания её до конечного створа минимально, что часто уменьшает возможности предсказания весеннего стока воды с необходимой заблаговременностью.

Основополагающее значение при разработке любой методики прогнозов имеет выбор даты выпуска прогноза. Он должен обеспечивать достаточную заблаговременность предсказания уровня воды и его точность. Дата выпуска прогноза для рек Сухона и Малая Северная Двина приурочена ко дню начала ледохода на Сухоне у г. Тотьма, а для Юга — ко дню вскрытия этой реки у с. Кичменгский Городок. Заблаговременность прогнозов при таком выборе дат выпуска прогноза составляет от 1 суток до недели. Она зависит от расхода воды на день начала ледохода выше по течению. При малых значениях расхода, когда кромка ледяного покрова перемещается вниз по реке медленно с частыми остановками, она равна 6–8 суткам, а при больших — 0–3 суткам. Одному и тому же расходу воды в весны с возвратами холодов соответствует на 2–4 суток большая заблаговременность, чем в весны с устойчиво теплой погодой. Таким образом, в целом прогнозы, составленные по разработанным методикам, являются краткосрочными.

В зависимости от имеющейся информации количественные показатели перечисленных выше факторов могут быть разными. В результате выполненного анализа матриц парных коэффициентов корреляции выбраны наиболее информативные показатели процесса заторообразования на Сухоне, Юге и Малой Северной Двине. Для 4 заторных участков, где значителен вклад в формирование заторных максимумов уровня расходов воды, установлены по данным наблюдений с 1950 по 2010 г. следующие зависимости для краткосрочного прогноза максимальных заторных уровней воды:

Сухона у д. Каликино:

$$H_z = 0,714H_{\text{лс.мк}} + 3,00t_{\text{л.мк}} + 0,131Q_{\text{Тотьма}} - 6,14\theta + 161; \quad (1)$$

Юг у д. Гаврино:

$$H_3 = 0,602H_{\text{лс.мк}} + 3,30t_{\text{л.мк}} + 0,688H_{\text{Кич.Гор}} - 10,5\theta - 74; \quad (2)$$

Северная Двина у д. Медведки:

$$H_3 = 0,107H_{\text{лс.мк}} - 0,699t_{\text{л.мк}} + 0,256Q_{\text{Тотьма}} + 2,36\theta + 342; \quad (3)$$

Северная Двина у г. Котлас:

$$H_3 = 0,0281H_{\text{лс.мк}} + 3,68t_{\text{л.мк}} + 0,273Q_{\text{Тотьма}} + 4,93\theta - 27, \quad (4)$$

где $H_{\text{Кич.Гор}}$ — уровень воды Юга в первый день ледохода у с. Кичменгский Городок; θ — температура воздуха на дату составления прогноза; $Q_{\text{Тотьма}}$ — расход воды Сухоны в первый день ледохода у г. Тотьма, который при прогнозе вычисляется через уровень ($H_{\text{Тотьма}}$) и подъём уровня (ΔH) в этот же день:

$$Q_{\text{Тотьма}} = 2,74H_{\text{Тотьма}} - 0,783\Delta H - 206. \quad (5)$$

Наиболее приемлемая прогностическая зависимость, установленная с учётом наиболее информативных факторов процесса заторообразования на Сухоне у Великого Устюга имеет следующий вид:

$$H_{3.мк} = a_0 + a_1 t_{\text{л.мк}} + a_2 H_{\text{лс.мн}} + a_3 \sum Q_{\text{Ёма}} + a_4 H_{\text{Тотьма}} + a_5 H_{\text{К.Городок}} + a_6 \theta_{H_{3.мк}}, \quad (6)$$

где a_0 и a_i — постоянные коэффициенты линейных уравнений (табл. 1); $t_{\text{л.мк}}$ — максимальная толщина ледяного покрова у Великого Устюга и у Котласа (см); $H_{\text{лс.мн}}$ — минимальный уровень при ледоставе у Великого Устюга (см); $\sum Q_{\text{Ёма}}$ — сумма расходов воды р. Ёма (правый приток Сухоны) у д. Новое за период со дня подъёма уровня больше 10 см/сутки у Великого Устюга до дня превышения уровня $H_{\text{лс.мк}}$ ($\text{м}^3/\text{с}$); $H_{\text{Тотьма}}$ — уровень воды Сухоны в первый день ледохода у г. Тотьма (см); $H_{\text{К.Городок}}$ — уровень воды Юга в первый день ледохода у с. Кичменгский Городок (см); $\theta_{H_{3.мк}}$ — средняя суточная температура воздуха на дату $H_{3.мк}$ в Великом Устюге ($^{\circ}\text{C}$ по метеопрогнозу); $H_{\text{лс.мк}}$ — максимальный уровень при ледоставе у Котласа (см).

Величина $\sum Q_{\text{Ёма}}$ в уравнении (6) отражает то обстоятельство, что подпорная призма затора у Великого Устюга формируется в основном за счёт стока воды с южной части бассейна Сухоны. Знак минус у $t_{\text{л.мк}}$ связан с тем, что при большой толщине ледяного покрова мощный затор льда образуется выше по течению у д. Каликино. С образованием затора на верхнем участке вероятность образования мощного скопления льда ниже по течению уменьшается. Резкое понижение температуры воздуха в период заторообразования вызывает дополнительный подъём уровня воды за счёт увеличения прочности льда.

Таблица 1

Значения коэффициентов линейного уравнения (6)

a_0	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5	a_6	Общий коэффициент корреляции
На дату выпуска прогноза вскрылись Сухона у Тотьмы и Юг у Кичменгского Городка							
232	-3,49	0,794	1,62	0,648	0,669		0,83
На дату выпуска прогноза вскрылся только Юг у Кичменгского Городка							
451	-3,51	1,87	1,07		0,423		0,74
На дату выпуска прогноза вскрылась только Сухона у Тотьмы							
542	-3,37	0,994	1,01	0,584		-20,2	0,83

Факт образования затора устанавливается в зависимости от высоты ожидаемого уровня (табл. 2). Разработанные методики краткосрочных прогнозов максимальных заторных уровней оценены по двум критериям: отношению средней квадратической ошибки прогноза (s) к природной вариации предсказываемого уровня (σ_H) и отношению ошибки s к вариации изменения уровня за период заблаговременности прогноза ($\sigma_{\Delta H}$). Для сопоставления с оправдываемостью прогнозов (p) были определены также обеспеченности непревышения допустимой ошибки прогноза, если в качестве ожидаемого уровня берется средний многолетний уровень или уровень, предвычисленный по формуле:

$$H_3 = H' + \overline{\Delta H}, \quad (7)$$

где $\overline{\Delta H}$ — норма превышения максимального заторного уровня над уровнем на дату выпуска прогноза (H').

Таблица 2

Минимальное значение максимума заторного уровня воды

Река	Пункт	Повторяемость заторов льда, %	Уровень воды, соответствующий повторяемости, см
Сухона	д. Каликино	86	540
	г. Великий Устюг	72	550
Юг	д. Гаврино	48	480
Северная Двина	д. Медведки	52	598
	г. Котлас	76	500

Все количественные показатели эффективности разработанных методик прогнозов сведены в табл. 3. Их следует отнести к категории удовлетворительных как при оценке по критерию s/σ_H , так и $s/\sigma_{\Delta H}$.

От проведения мероприятий, направленных на ликвидацию уже образовавшегося затора, (бомбометание, артиллерийский обстрел) можно полностью отказаться, когда

$$H_{з.прогноз} + 2s < H_{кр}, \quad (8)$$

где s — средняя квадратическая погрешность прогноза, см; $H_{з.прогноз}$ — прогнозируемый уровень воды, см; $H_{кр}$ — критическая отметка начала затопления территории.

Таблица 3

**Характеристики качества методик прогнозов максимальных заторных уровней воды
Сухоны, Юга и Малой Северной Двины**

Река	Пункт	Средняя заблаговременность прогноза, сутки	s, см	Оценка эффективности через среднее квадратическое отклонение от нормы									
				уровня					изменения уровня за период заблаговременности				
				s/σ_H	Допустимая погрешность, см	P, %	\bar{H} , см	$P_{пр}$, %	$s/\sigma_{\Delta H}$	Допустимая погрешность, см	P, %	$\bar{\Delta H}$, см	$P_{пр}$, %
Сухона	д. Каликино	2	101	0,67	102	72	598	51	0,80	85	60	263	55
	г. В. Устюг	3	92	0,59	104	70	587	56	0,64	114	74	277	46
Юг	д. Гаврино	3	74	0,65	77	90	415	62	0,54	92	89	163	28
С. Двина	д. Медведки	4	66	0,71	63	62	551	39	0,58	77	72	277	44
	г. Котлас	5	64	0,56	77	83	475	35	0,47	91	80	264	59

В узле рек Сухона–Юг–Северная Двина широко применяют предупредительные меры борьбы с заторами — недопущение образования затора и ликвидационные — разрушение образовавшегося затора. Предупреждают образование затора путем предварительного ослабления ледяного покрова его разрезанием на блоки ледорезной машиной, подрывами льда и ледокольными работами. Причём объём работ по борьбе с заторами и их состав год от года возрастают. При этом максимальные заторные уровни должны снижаться.

Результаты оценки статистической значимости изменений в многолетнем ряде максимальных заторных уровней воды Сухоны у Великого Устюга не подтвердили эффективности противозаторных работ (табл. 4). Оценка была выполнена по критериям Стьюдента (St) и Фишера (F). Она производилась по выборочным средним значениям и дисперсиям, рассчитанным по двум выборкам рядов наблюдений [7]. Критические значения критериев St и F определялись при уровне значимости $\alpha = 5\%$ ($St_{кр} = 2,4$; $F_{кр} = 2,2$).

Выполненные расчёты показали, что наблюдающиеся изменения характеристик уровня режима статистически значимы только для Малой Северной Двины у Котласа. На Сухоне у г. Великий Устюг отмечается небольшое увеличение дисперсии максимальных заторных уровней воды. Это увеличение статистически незначимо. Причина постепенного снижения максимальных уровней воды Двины определяется, по-видимому, климатическими и антропогенными причинами.

Значения критериев Стьюдента и Фишера и коэффициентов линейных уравнений трендов максимальных заторных уровней воды Сухоны и Малой Северной Двины

Река – пункт	Расчетные периоды наблюдений		Статистические характеристики									
			Критерий Стьюдента				Критерий Фишера			Коэффициенты уравнения тренда		
			Средние за период, см		S_T	Дисперсия за период, см		F	a		b	
			1	2		1	2		1	2	1	2
Сухона – г. Великий Устюг	1882–1952	1953–2010	648	612	1,23	179,87	142,11	1,60	0,5781	-0,278	627,3	619,89
	1882–1962	1963–2010	650	601	1,63	176,97	137,04	1,67	0,4496	1,2683	631,3	570,34
Малая Северная Двина – г. Котлас	1933–1956	1957–2010	552	474	3,3	82,23	100,27	0,67	1,0139	-1,841	538,83	524,36

В 70–90-е гг. на севере ЕТР произошло заметное повышение зимних температур воздуха. Отклонение от нормы средних температур за октябрь–февраль в эти годы в сторону повышения составляет 0,2–2,5°. Сумма отрицательных температур в зимние месяцы года уменьшилась на 3,7°С, что обусловило разнонаправленные ледовые процессы на Сухоне, Юге и Малой Северной Двине. В связи с повышением зимних температур воздуха в регионе толщина ледяного обнаруживает многолетнюю тенденцию к уменьшению (рис. 1), что приводит к уменьшению расхода воды, вскрывающего реку (рис. 2), и увеличению частоты беззаторных вскрытий. С другой стороны, происходящее увеличение температуры воздуха в начале зимы приводит к увеличению водности рек и теплозапаса воды в период, предшествующий началу ледообразования, а также скорости течения воды, результатом чего является смещение сроков появления льда и начала ледостава к более поздним срокам. Замерзание рек все чаще при этом сопровождается образованием зажоров льда, увеличивающих вероятность образования заторов весной.

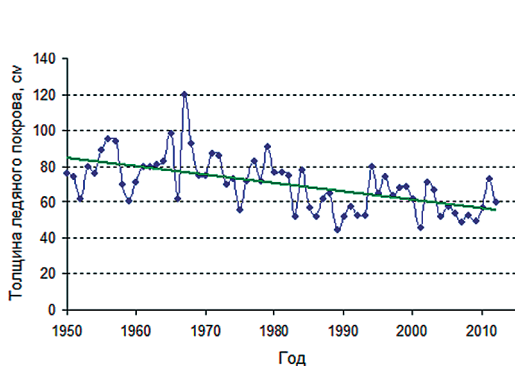


Рис. 1. Многолетние изменения максимальной за зиму толщины ледяного покрова Сухоны у Великого Устюга

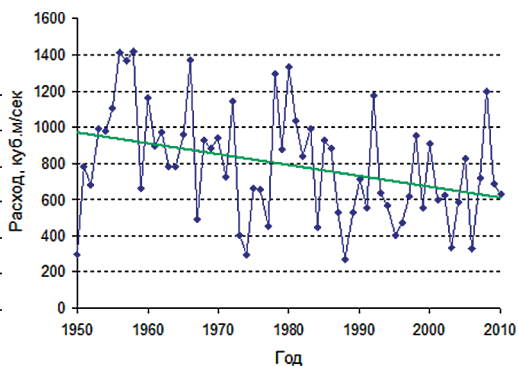


Рис. 2. Многолетние изменения расхода воды Сухоны в первый день ледохода у г. Тотьма

Климатический фактор с его разнонаправленным воздействием на мощность заторов не является главной причиной тенденции к снижению максимальных заторных уровней воды Малой Северной Двины у г. Котлас. Здесь в снижении максимумов заторных уровней основную роль играют развивающийся на этом речном участке русловой процесс и проводимые ежегодно весной противозаторные мероприятия. В результате противозаторных мероприятий, по-видимому, всё же облегчается выход льда из Сухоны. В годы с большой водностью Сухоны в период вскрытия значительная часть льда из нее выносится в Северную Двину, где и формируется голова скопления льдин. При малых расходах воды заторы льда на Сухоне образуются в ее устье. Голова их устанавливается перед слиянием Сухоны с рекой Юг. Подпор на устьевом ее участке препятствует выходу сухонского льда в Северную Двину, где увеличивается подготовительный к вскрытию период. Поскольку Юг вскрывается одновременно или несколько раньше Сухоны, то это облегчает последующий пропуск сухонского льда и сказывается на снижении максимальных заторных уровней воды Малой Северной Двины. Описанные особенности процесса образования заторов в узле рек Сухона–Юг–Малая Северная Двина при выполнении противозаторных мероприятий приводят к тому, что связь между заторным подъёмом уровня воды в нижнем течении Сухоны и расходом воды в период вскрытия нарушается. Наконец, снижению максимальных заторных уровней воды у г. Котлас способствует полынья на реке при впадении р. Вычегда, появившаяся после запуска в 1961 г. ТЭС 1 Котласского ЦБК.

Перечисленные выше антропогенные факторы обусловили изменение детерминированных вкладов гидрометеорологических факторов в формирование максимальных заторных уровней воды в узле рек Сухона–Юг–Малая Северная Двина (табл. 5), которые вычислялись по формуле:

$$\delta_{x_i} = \frac{r_{yx_i} a_{yx_i} \frac{\sigma_{x_i}}{\sigma_y}}{R_y^2}, \quad (9)$$

где r_{yx} — коэффициент парной корреляции y и x_i ; a_i — коэффициент уравнения регрессии; σ_{x_i}/σ_y — отношение средних квадратических отклонений от нормы предсказателя x_i и y ; R_y — полный коэффициент корреляции.

Как видно из табл. 5 в 1950–1972 гг. в формировании максимального заторного уровня воды Сухоны у г. Великий Устюг преобладали условия вскрытия реки, а в последующие годы главным фактором, определяющим высоту максимального уровня, стала зашугованность. В первую очередь, соотношение вкладов факторов процесса заторообразования в формирование максимальных заторных уровней воды изменилось из-за противозаторных мероприятий, осуществляемых на Сухоне и Северной Двине год от года во всё большем объёме.

Антропогенные факторы обусловили также наблюдающийся тренд в хронологическом ходе максимальных заторных уровней воды Северной Двины у Котласа и имеющую место систематическую погрешность прогноза заторных максимумов уровня. Такая погрешность отсутствует при прогнозе уровней воды Сухоны у Великого Устюга. Погрешность прогноза хорошо коррелирует с объемом противозаторных мероприятий на Северной Двине.

Вклады аргументов зависимостей для прогноза максимальных заторных уровней воды в узле рек Сухона–Юг–Малая Северная Двина

Река	Пункт	Период наблюдений, по которому установлена зависимость	Аргументы			
			Характеризующие осень–зиму		Характеризующие весну	
			Ледоставный уровень воды, см	Максимальная толщина ледяного покрова	Расход (уровень) воды на дату выпуска прогноза	Температура воздуха на дату выпуска прогноза
Сухона	д. Каликино	1950–1972 гг.	0,67	0,31	0,01	0,01
		1973–2008 гг.	0,65	0,01	0,24	0,10
	г. В. Устюг	1950–1972 гг.	0,13	0,07	0,80	0
		1973–2008 гг.	0,87	0	0,13	0
Юг	д. Гаврино	1951–1972 гг.	0,44	0,15	0,36	0,05
		1973–1991 гг.	0,17	0,13	0,58	0,12
С. Двина	д. Медведки	1950–1972 гг.	0,03	0	0,93	0,04
		1973–2001 гг.	0,53	0,05	0,41	0,01
	г. Котлас	1950–1972 гг.	0,02	0,03	0,87	0,08
		1973–2008 гг.	0,15	0,10	0,59	0,16

В настоящее время задача учета противозаторных мероприятий при прогнозе максимальных заторных уровней воды трудно решается, поскольку в природный процесс вносится некоторый элемент случайности. Таким образом, разработанные методики прогнозов, в основе которых лежат прогностические зависимости, установленные статистическим путём, нуждаются в условиях климатических изменений и усиливающегося антропогенного воздействия в ежегодном уточнении зависимостей, особенно после лет, экстремальных по условиям заторообразования.

Гидрологические прогнозы по изложенным в отчете методикам с заблаговременностью от 1 до 6 суток позволяют своевременно эвакуировать население из района затопления, сократить материальные убытки от наводнений в населенных пунктах, расположенных на берегах рек Сухона, Юг и Малая Северная Двина. Даже при наличии своевременного прогноза максимального заторного уровня воды для предупреждения экономических и экологических ущербов в узле рек необходим ежедневный анализ складывающейся ледовой ситуации [1]. В этом анализе должны учитываться метеорологические условия развития процесса вскрытия в узле рек Сухона–Юг–Малая Северная Двина, изменения водоносности Сухоны и Юга на подъёме волны половодья, синхронность формирования максимального стока в бассейнах этих рек, местоположение заторов.

Литература

1. *Баницикова Л.С.* Мониторинг процесса заторообразования на реках по пространственно-временным графикам уровня воды. // *Метеорология и гидрология*, 2008, № 9, с. 87–93.
Banshikova L.S. Monitoring processa zatoroobrazovaniya na reках po prostranstvenno-vremennim grafikam urovnya vodi. // *Meteorologiya i gidrologiya*, 2008, № 9, s. 87–93.

2. Бузин В.А. Факторы образования и прогноз заторов льда на реках севера европейской территории России. // Метеорология и гидрология, 2010, № 4, с. 63–74.
Buzin V.A. Faktori obrazovaniya i prognoz zatorov lda na rekah severa evropeiskoi territorii Rossii. // Meteorologiya i gidrologiya, 2010, № 4, s. 63–74.
3. Владимиров А.М. Факторы, определяющие возникновение экстремальных расходов и уровней воды половодья. // Учёные записки РГГМУ, 2009, № 9, с. 22–39.
Vladimirov A.M. Faktori, opredelyayushchie vzniknovenie ekstremalnih rashodov i urovnei vodi polovodya. // Uchenie zapiski RGGMU, 2009, № 9, s. 22–39.
4. Ильина Л.Л., Грахов А.Н. Реки севера. — Л.: Гидрометеиздат, 1987. — 128 с.
Ilina L.L., Grahov A.N. Reki severa. — L.: Gidrometeoizdat, 1987. — 128 s.
5. Каталог заторных и зажорных участков рек СССР. Т.1. Европейская часть. — Л.: Гидрометеиздат, 1978. — 260 с.
Katalog zatornih i zajornih uchastkov rek SSSR. T.1. Evropeiskaya chast. — L.: Gidrometeoizdat, 1978. — 260 s.
6. Каинова С.А., Фролова Н.Л. Особенности ледового режима рек бассейна Северной Двины. // Труды VI конф. «Динамика и термика рек, водохранилищ и прибрежной зоны морей», 2004, с. 151–154.
Kainova S.A., Frolova N.L. Osobennosti ledovogo rejima rek basseina Severnoi Dvini. // Trudi VI konf. «Dinamika i termika rek, vodohranilisch i pribrejnoi zoni morei», 2004, s. 151–154.
7. Рекомендации по статистическим методам анализа однородности пространственно-временных колебаний речного стока. — Л.: Гидрометеиздат, 1984. — 78 с.
Rekomendacii po statisticheskim metodam analiza odnorodnosti prostranstvenno_vremennih kolebanii rechnogo stoka. — L.: Gidrometeoizdat, 1984. — 78 s.