

Д.А. Бураков, В.Ф. Космакова, Н.П. Волковская

МЕТОДИКА ДОЛГОСРОЧНОГО ПРОГНОЗА МАКСИМАЛЬНЫХ УРОВНЕЙ ВОДЫ ДЛЯ р. ОБИ У г. НИЖНЕВАРТОВСКА И РЕЗУЛЬТАТЫ ЕЕ ИСПЫТАНИЯ

Методика разработана в рамках выполнения темы 1.7.49 плана НИР и ОКР Росгидромета в 2011–2013 гг.

В основу физико-статистической модели долгосрочного прогноза максимальных уровней воды с участием заторов льда положены исследования Л.Г. Шуляковского, показавшего возможность использования в кратко- и среднесрочных прогнозах регрессионных моделей [9]. В Сибири накоплен положительный опыт применения различных гидрометеорологических характеристик в регрессионных моделях долгосрочного прогноза максимальных уровней весеннего половодья на реках бассейнов Оби, Енисея и Лены [2, 3]. Репрезентативность отобранных из физических соображений предикторов проверялась на основе корреляции с максимальными уровнями воды, с применением пошаговой регрессии. В расчетах использованы данные наблюдений за последние 30–50 лет.

Отмечено, что атмосферные процессы и связанные с ними процессы весеннего ослабления прочности ледяного покрова и прибыли воды в реках носят инерционный характер, т. е. начальные тенденции их развития характеризуют последующий ход вскрытия реки, включая образование и мощность заторов льда. Так, весеннее потепление и сроки вскрытия рек Сибири определяются главным образом возникновением в марте над этой территорией юго-западного и западного переноса воздушных масс, обуславливающего общее потепление, или сохраняется восточносибирский антициклон с гребнями, направленными на запад

и северо-восток [1, 3]. Циркуляционные «предвестники» раннего или позднего весеннего потепления проявляются еще в феврале-марте. Приблизненно тип весны может характеризовать температура воздуха в марте (декадная, месячная). Например, при низкой температуре марта – начала апреля более вероятна холодная погода в первой половине апреля и последующее интенсивное потепление в конце апреля – начале мая, усиливающее концентрацию весеннего половодья. Теплое начало марта чаще сопровождается растянутым половодьем.

Максимальные уровни воды формируются под влиянием притока воды в русловую сеть, с одной стороны, и факторов, определяющих образование шуголедяных «пробок» в русле, – с другой. Конкретный набор предикторов и вид регрессионных уравнений индивидуальны для каждого участка реки в связи с различием условий образования заторов льда. Все используемые характеристики – это комплексные показатели взаимодействия атмосферы, бассейна и русла [4, 6]. Выделить индивидуальную степень их влияния в общем физическом процессе не всегда удается.

Объем и интенсивность притока воды в русловую сеть определяются запасами снега перед началом снеготаяния и весенними осадками, а также факторами, влияющими на интенсивность снеготаяния.

Раннее наступление тепла в верхнем течении реки по сравнению с участком среднего и нижнего течения способствует развитию заторного характера вскрытия в среднем и нижнем течении. Подобные условия характерны для рек, текущих с юга на север.

Интенсивность последующего подъема уровня воды косвенно связана с его подъемом за предшествующий отрезок времени.

Наконец, продолжительность осеннего ледохода, максимальный уровень в начале ледостава, толщина ледяного покрова характеризуют наличие шуголедяных «пробок» в русле.

Разработанные методики учитывают специфику формирования максимальных уровней воды для заболоченных рек Западно-Сибирской равнины. Репрезентативность отобранных из физических соображений предикторов проверялась на выборке с применением пошаговой регрессии и уточнялась с помощью последующего многовариантного подбора на основе корреляции с максимальными уровнями воды.

По рекомендации Технического совета продолжить испытания методики были скорректированы основные предикторы для прогноза максимального уровня. В современной редакции методики учитываются следующие предикторы:

- показатели снегонакопления в бассейне;
- уровни воды на 10 марта и 10 апреля в пунктах наблюдений, а также температура воздуха в апреле, характеризующие динамику развития весенних процессов;
- характеристики ледостава выше расчетного пункта.

Обозначения переменных (предикторов) представлены в табл. 1. Здесь же даны значения *t*-статистик, равные отношению соответствующего коэффициента регрессии к его среднеквадратичной ошибке [7]. Чем больше *t*-статистика отклоняется по абсолютному значению от единицы, тем надежнее оценка коэффициента регрессии.

Таблица 1

Обозначения переменных в уравнениях (1) и (2)

Обозначение	Смысловое значение	t-статистики коэффициентов регрессии	
		(1)	(2)
<i>S1, S2, X1</i>	<i>S1</i> – максимальный запас воды в снеге (с. Колпашево)	5,03	4,36
	<i>S2</i> – максимальный запас воды в снеге (с. Молчаново)	3,30	2,91
	<i>X1</i> – сумма осадков за январь, февраль, март (с. Степановка)	2,53	2,31
<i>H3, H4, H7</i>	<i>H3</i> – уровень воды на 10 марта, р. Обь – с. Александровское;	5,29	4,64
	<i>H4</i> – уровень воды на 10 марта, р. Обь – пгт Каргасок;	–1,32	–1,13
	<i>H7</i> – уровень воды на 10 апреля, р. Обь – г. Колпашево	–2,72	2,21
<i>ΔT2</i>	<i>ΔT2</i> – дата установления ледостава на участке г. Колпашево – пгт Каргасок	–1,38	–1,47
<i>h</i>	<i>h</i> – максимальная толщина льда в см, р. Обь – пгт Каргасок	2,00	2,18
<i>t3</i>	<i>t3</i> – среднемесячная температура воздуха за апрель, с. Александровское	–2,89	–3,10

Ниже приведены формулы для прогноза максимальных уровней воды у г. Нижневартовска, коэффициенты их множественной корреляции (R):

$$H_{max1} = 1,488 \times S1 + 0,941 \times S2 + 1,163 \times X1 + 1,072 \times H3 - 0,38 \times H4 - 0,32 \times H7 - 1,009 \times \Delta T2 + 0,869 \times h - 5,272 \times t3 + 462,178; \quad (1)$$

показатель точности: $R = 0,927$;

$$H_{max2} = 1,303 \times S1 + 0,906 \times S2 + 1,068 \times X1 + 1,016 \times H3 - 0,33 \times H4 - 0,266 \times H7 - 1,098 \times \Delta T2 + 0,931 \times h - 5,501 \times t3 + 471,659; \quad (2)$$

показатель точности: $R = 0,911$.

Результаты прогноза максимальных уровней воды р. Оби у г. Нижневартовска за периоды наблюдений представлены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты прогноза максимальных уровней воды р. Оби у г. Нижневартовск

р. Обь – г. Нижневартовск (допустимая ошибка 58 см)					
Год	Факт	Прогноз по формуле (1)	Ошибка*	Прогноз по формуле (2)	Ошибка*
1973	991	1060	-69	1054	-63
1974	897	849	48	851	46
1975	988	1021	-33	1008	-20
1976	780	826	-46	830	-50
1977	846	818	28	819	27
1978	907	897	10	899	8
1979	1071	1076	-5	1065	6
1980	837	840	-3	849	-12
1981	775	762	13	770	5
1982	750	753	-3	754	-4
1983	871	852	19	846	25
1984	912	935	-23	933	-21
1986	900	858	42	863	37
1987	830	803	27	809	21
1988	869	822	47	831	38
1989	737	736	1	755	-18
1990	854	850	4	848	6

Таблица 2 (окончание)

р. Обь – г. Нижневартовск (допустимая ошибка 58 см)					
Год	Факт	Прогноз по формуле (1)	Ошибка*	Прогноз по формуле (2)	Ошибка*
1991	795	871	–76	864	–69
1992	790	802	–12	802	–12
1993	905	855	50	857	48
1994	820	822	–2	827	–7
1995	695	722	–27	734	–39
1998	919	862	57	865	54
1999	949	930	19	924	25
2000	815	844	–29	847	–32
2001	892	851	41	850	42
2002	994	953	41	961	33
2003	864	893	–29	899	–35
2004	843	858	–15	859	–16
2005	780	808	–28	813	–33
2006	789	847	–58	853	–64
2007	1012	958	54	955	57
2008	836	832	4	840	–4
2009	778	772	6	789	–11
2010	883	868	15	878	5
2011	816	778	38	789	27
2012	542	610	–68	632	–90
2013	936	940	–4	940	–4
2014	878	913	–35	929	–51
2015	1061	1058	3	1051	10
2016	866	804	62	822	44

Примечание. * – жирным шрифтом выделены ошибки не оправдавшихся прогнозов.

Оценка успешности методов прогноза максимальных уровней воды р. Оби проводилась согласно Методическим указаниям [8].

Из-за ограниченного числа прогнозов в период оперативных испытаний эффективность методик определяется в основном по результатам авторских испытаний на архивных материалах за 2011–2013 гг. и результатам производственных испытаний за 2015–2016 гг. по формуле (1) и 2012–2016 гг. по формуле (2).

Анализ оправдываемости прогнозов максимальных уровней воды р. Оби у г. Нижневартовска по формулам (1) и (2) показал, что в целом за 1973–2016 гг. прогнозы обеспечили хороший результат – оправдываемость прогнозов 95 % (табл. 2). Оценка качества прогнозов максимального уровня р. Оби за весь период наблюдений с 1973 по 2016 г. проводилась согласно Наставлению [5]. По формуле (1) $S/\sigma = 0,556$; по формуле (2) $S/\sigma = 0,561$, что говорит, что прогнозы качественные.

Исходя из представленных результатов, Технический совет ФГБУ «Обь-Иртышское УГМС» от 28.10.2016 г. рекомендовал новые методики долгосрочного прогноза максимальных уровней воды р. Оби у г. Нижневартовска к внедрению в оперативную практику отдела гидрологических прогнозов Гидрометцентра ФГБУ «Обь-Иртышское УГМС» со статусом основных. ЦМКП Росгидромета от 29.11.2016 г. утвердила данное решение.

Список литературы

1. *Аполлов Б.А., Калинин Г.П., Комаров В.Д.* Курс гидрологических прогнозов. – Л.: Гидрометеиздат, 1974. – 198 с.
2. *Бужин В.А.* Методы прогнозов зазорных и заторных явлений // Труды V Всесоюзного гидрологического съезда. В 10 т. – Л.: Гидрометеиздат, 1989. – Том 7. Гидрологические прогнозы и предсказания опасных гидрологических явлений. – С. 312–319.
3. *Бураков Д.А., Космакова В.Ф.* Метод прогноза максимальных уровней весеннего половодья р. Томи у г. Томска и результаты его применения на практике // Материалы Международной научно-практической конференции, 16–20 октября 2012 г. – Томск, 2012. – С. 69–71.
4. *Линслей Р., Колер М., Паулюс Д.* Прикладная гидрология. – Л.: Гидрометеиздат, 1962. – 759 с.
5. Наставление по службе прогнозов. Раздел 3. Часть 1. Прогнозы режима вод суши. – Л.: Гидрометеиздат, 1962. – 193 с.
6. *Попов Е.Г.* Вопросы теории и практики прогнозов речного стока. – М.: Гидрометеиздат, 1963. – 395 с.
7. *Рождественский А.В., Чеботарев А.И.* Статистические методы в гидрологии. – Л.: Гидрометеиздат, 1974. – 424 с.
8. РД 52.27.284-91. Методические указания. Проведение производственных (оперативных) испытаний новых и усовершенствованных методов гидрометеорологических и гелиогеофизических прогнозов. – Л.: Гидрометеиздат, 1991. – 150 с.
9. *Шуляковский Л.Г., Еремина В.А.* К методике прогноза заторных уровней воды // Метеорология и гидрология. – 1952. – № 1. – С. 46–51.