

КРАТКОСРОЧНЫЙ ПРОГНОЗ ЕЖЕДНЕВНЫХ РАСХОДОВ ВОДЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РЕГРЕССИОННЫХ МОДЕЛЕЙ И МЕТОДА ДИНАМИЧЕСКИХ РУСЛОВЫХ ВОДНЫХ БАЛАНСОВ ДЛЯ ЗАМЫКАЮЩИХ СТОРОВ ПРИТОКОВ КРАСНОДАРСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА И ГИДРОМЕТРИЧЕСКОГО СТОРА Г. КОМСОМОЛЬСК-НА-АМУРЕ

Т.И. Яковлева<sup>1</sup>, канд. техн. наук, Ю.В. Шарина<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Государственный гидрологический институт, Санкт-Петербург, Россия

THE SHORT-TERM DAILY DISCHARGE FORECAST USING REGRESSION MODELS AND THE METHOD OF DYNAMIC CHANNEL WATER BALANCES FOR THE OUTFALLS OF THE KRASNODAR RESERVOIR TRIBUTARIES AND KOMSOMOLSK-ON-AMUR GAUGING SECTION

T.I. Yakovleva<sup>1</sup>, Cand. Sc., Yu.V. Sharina<sup>1</sup>

<sup>1</sup>State Hydrological Institute, St. Petersburg, Russia

*Рассматриваются два подхода при разработке методов краткосрочного прогноза расходов воды: с использованием принципа соответственных расходов и уровней воды, и на основе расчета динамических русловых водных балансов.*

*Two approaches in the development of the short-term daily discharge forecast methods are considered: using the principle of the corresponding discharges and water levels, and based on the calculation of dynamic channel water balances.*

Структура моделей краткосрочного прогноза, основанная на принципе соответственных расходов и уровней воды с использованием метода множественной регрессии, выбиралась для различных участков в зависимости от особенностей формирования и перемещения паводочной волны на рассматриваемом участке. В качестве одного из предикторов уравнения, учитывающего значение сформировавшегося в верхних створах притока воды, принимался расход в верхнем створе расчетного участка или сумма расходов в верхних створах, наиболее удаленных от расчетного. При движении сформировавшихся в расчетных створах расходов воды по руслам рек происходит их изменение ( $\Delta Q_p$ ) за счет распластывания. Учитывая, что величина  $\Delta Q_p$  зависит от самого перемещающегося расхода воды и от степени заполнения русел на рассматриваемом участке, она может быть приближенно оценена через расходы воды, характеризующие крутизну волны паводка, т.е. расходы в ограничивающих створах [1].

Методики краткосрочного прогноза расходов воды разработаны для замыкающих створов на реках Кубань и Лаба: гидрологических постов (ГП): ст-ца Ладожская и х. Догужиев.

Закономерности перемещения паводочной волны на бесприточном участке реки Кубань от г. Армавир до станицы Ладожской оценивались двумя способами: на основе идентификации параметров зависимости множественной линейной регрессии, включающей в качестве предикторов расходы воды в ограничивающих створах с различной заблаговременностью; на основе решения уравнения кинематической волны.

Регрессионная зависимость для прогноза расходов воды в створе ГП р. Кубань – ст-ца Ладожская с заблаговременностью 2 суток получена в следующем виде:

$$Q_{\text{Лад}_t} = 7,5 + 0,237Q_{\text{Лад}_{(t-2)}} + 0,737Q_{\text{Арм}_{(t-2)}} \quad (1)$$

Здесь  $Q_{\text{Лад}_{(t-2)}}$  и  $Q_{\text{Арм}_{(t-2)}}$  – расходы воды в день выпуска прогноза соответственно по ГП р. Кубань – ст-ца Ладожская и г. Армавир.

Идентификация параметров уравнения (1) выполнялась по данным прошлых лет, когда гидрометрический учет стока в этих створах по нашим оценкам признан наиболее надежным, а именно, по данным 1978 и 1980 годов.

Расчетное уравнение для краткосрочного прогноза с использованием уравнения кинематической волны [2] для участка р. Кубань от г. Армавир до ст-цы Ладожская имеет вид:

$$Q_{\text{Лад}_t} = Q_{\text{Лад}_{(t-\Delta t)}} - (Q_{\text{Лад}_{(t-\Delta t)}} - Q_{\text{Арм}_{(t-\Delta t)}}) \frac{\Delta t}{\tau} \quad (2)$$

При расчетах по предложенной модели время добега  $\tau$  (в часах) определялось по зависимости, представленной на рисунке 1.

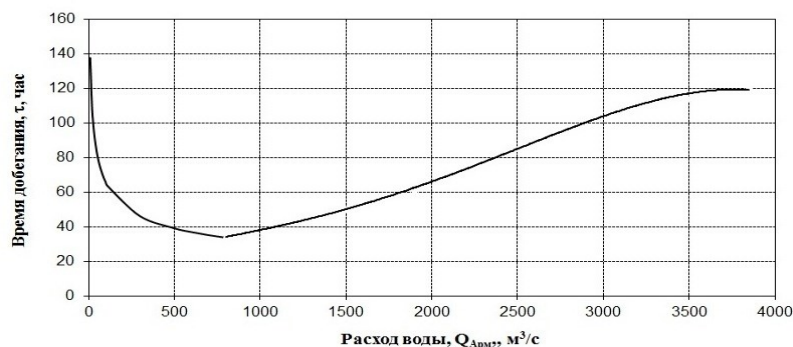


Рис. 1. Зависимость времени добега  $\tau$  на участке р. Кубань г. Армавир – ст-ца Ладожская от расхода воды  $Q_{Арм}$  на ГП Армавир

Интервал  $\Delta t$  выбирается таким образом, чтобы была обеспечена устойчивость расчетов, то есть заблаговременность прогноза  $\Delta t_{не}$  должна превышать значения времени добега  $\tau$  на участке.

При прохождении паводков, сопровождающихся выходом воды на пойму, на участке от г. Армавир до ст-цы Ладожская происходит значительное распластывание паводочной волны, как это произошло в июне 2002 г. В такие периоды при использовании любой, предложенной выше модели прогноза необходимо учитывать эффект пойменного регулирования. Прогноз на период с 21 июня по 10 июля 2002 г. составлен с учетом расхода пойменного регулирования на участке, который вычислялся по формулам, приведенным в [3] с использованием материалов полевых обследований участка.

Прогнозное значение расхода воды для ГП р. Кубань – ст-ца Ладожская в период с 21 июня по 10 июля 2002 г вычислялось по уравнению (1) или (2) с учетом значения расхода воды пойменного регулирования. Как видно из графика (рис.2) расходы, поступавшие на пойму во время прохождения их максимальных значений, превышали 1000  $m^3/c$ . И, напротив, на ветви спада паводка наблюдался дополнительный приток воды в русло со стороны поймы.

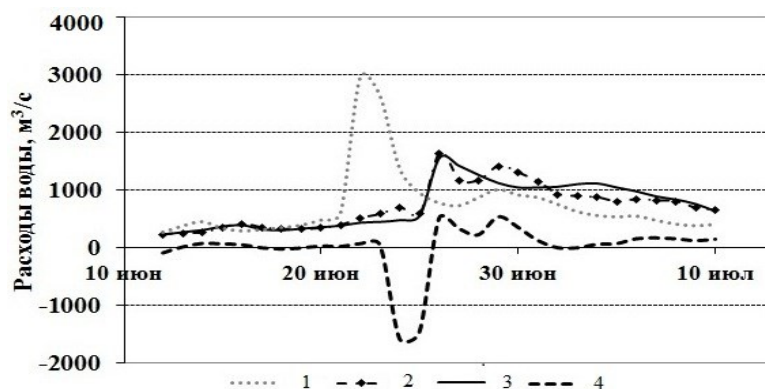


Рис. 2. Фактические и рассчитанные гидрографы июньского паводка 2002 г. в створах р. Кубань: Армавир (1-факт.), Ладожская (2 – факт. 3 – прогноз) и ход пойменного регулирования (4)

Для регрессионной модели прогноза расходов воды в нижнем створе р. Лаба – х. Догужиев использовались данные на участке от верхнего створа р. Большая Лаба – ниже Азиатского моста до х. Догужиев. В качестве первого предиктора используется сумма расходов воды в день выпуска прогноза по наиболее удаленным от замыкающего створа гидрологическим постам: р. Большая Лаба – ниже Азиатского моста и р. Малая Лаба – с. Бурное ( $\sum Q_{в.п}(t-2)$ ); второй переменной в расчетном уравнении является сумма расходов воды в день выпуска прогноза по водпостам: на ниже впадающих притоках: р. Ходзь – ст-ца Бесленевская, р. Фарс – ст-ца Дондуковская и р.

Чамлык – ст-ца Вознесенская ( $\sum Q_{y,np(t-2)}$ ). Для учета распластывания паводочной волны в уравнение включен в качестве дополнительной переменной расход воды в самом замыкающем створе х. Догужиев в день выпуска прогноза ( $Q_{Дог(t-2)}$ ).

Для прогноза расходов воды в замыкающем створе р. Лаба для условий прохождения катастрофического паводка 2002 г уравнение приобретает вид:

$$Q_{Дог_t} = -3,9 + 0,576Q_{Дог(t-1)} + 0,40 \sum_1^2 Q_{в.п.р(t-2)} + 0,999 \sum_1^3 Q_{н.п.р(t-2)} \quad (3)$$

Фактический и прогнозный гидрографы стока в створе р. Лаба – х. Догужиев в июне 2002 г. приведены на рисунке 3:

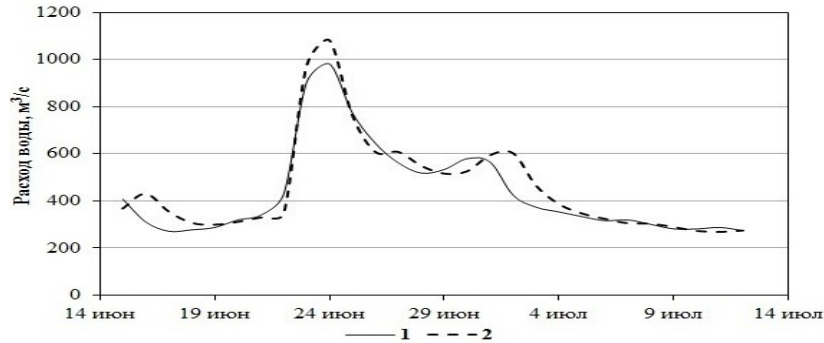


Рис. 3. Фактический (1) и прогнозный (2) гидрографы июньского паводка 2002 г. в створе р. Лаба – х. Догужиев

Эффективность предложенных моделей прогноза оценивалась с учетом требований [4] по данным независимых совокупностей с 1981 по 2006 г. По результатам такой оценки выявлено, что для ГП р. Кубань – ст-ца Ладожская для маловодных лет более эффективна модель, построенная на основе кинематической волны, а для многоводных – регрессионная модель. Для ГП р. Лаба – х. Догужиев предложенная модель оказалась эффективна для 20 лет из проверенных 26.

В подходе, основанном на расчете динамических русловых водных балансов (РВБ), для прогноза используются данные расчета элементов руслового водного баланса для участка реки [3]: расходов воды в замыкающих створах, руслового и пойменного регулирования, бокового притока и потерь стока на расчетном участке. При расчете РВБ за короткие промежутки времени (сутки) учитывается время добегания и трансформации волны паводка на участке.

Для участка р. Амур от г. Хабаровска до г. Комсомольска в период свободного ото льда русла уравнение РВБ по гидрометрическим данным записывается в виде:

$$Q_{с} - Q_{н} + Q_{близ} + Q_{бопрасч} + \dots \pm Q_{рр} - Q_{нрп} + Q_0 = 0, \quad (4)$$

в котором представлены лишь элементы, определяемые гидрометрическим способом или по планам русловых съемок ( $Q_{рр}$ ). Здесь  $Q_{близ}$  – расход боковых притоков, определенный гидрометрическим способом;  $Q_{бопрасч}$  – рассчитанный расходы неучтенного бокового притока;  $Q_{нрп}$  – суммарные потери стока в русле и на пойме на испарение, заполнение бессточных участков поймы, а также инфильтрацию при выходе воды на надпойменные террасы.

Основной вклад в уравнение РВБ вносят значения расходов в ограничивающих участок створах на гидрологических постах Хабаровск и Комсомольск. На расчетном участке наблюдения за стоком ведутся также на трех притоках в створах ГП: р. Тунгуска – с. Архангеловка, р. Манома – с. Манома 1-я, р. Гур – пос. Снежный. Неосвещенная наблюдениями площадь водосбора на участке составляет 60320 км<sup>2</sup>. Сток с этой территории оценивался по методу аналогии с корректирующим коэффициентом 0,9. В качестве аналогов использованы все три притока, на которых ведется учет стока воды. В отдельные годы не наблюдался также сток по постам – с. Архангеловка, с. Манома 1-я, и пос. Снежный. При отсутствии данных по какому-то из этих постов использовались связи расходов воды на них с расходами соседних притоков. Коэффициенты этих связей получены по данным совместных наблюдений