

РАЗРАБОТКА ГИДРОЛОГО-МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПРОГНОЗА МАКСИМАЛЬНОГО УРОВНЯ ПОВОДОДЬЯ

Зиновьев А.А.

НИИ труда Министерства труда и социальной защиты Республики Беларусь
пр. Победителей, 23, г. Минск, 220004, Республика Беларусь, 375@mail.ru

Software for automated forecast of high floods was developed. The article presents an information technology based on the creation of a mathematical model of the formation of the maximum water levels during the spring flood, which makes it possible to increase the lead time of the forecast. The model uses data from meteorological and hydrological stations. The developed software processes the data automatically.

К паводкоопасным бассейнам в Республике Беларусь относятся практически все бассейны крупных рек. Наводнения на реках Беларуси наблюдаются как в период прохождения весенних половодий, так и летне-осенних паводков. Опасность наводнений зависит, прежде всего, от высоты подъема уровня воды в реке. При этом важнейшей характеристикой является максимальный уровень воды, который характеризует площадь, слой и продолжительность затопления местности.

Математическая модель прогноза максимального половодья, притока воды в водохранилища и в бассейны рек разработана на основе уравнения множественной регрессии. Уравнение множественной регрессии может быть представлено в виде:

$$Y = f(\beta, X) + \varepsilon, \quad (1)$$

где $X = X(X_1, X_2, \dots, X_m)$ - вектор независимых (объясняющих) переменных;

β - вектор параметров (подлежащих определению); ε - случайная ошибка (отклонение); Y - зависимая (объясняемая) переменная.

Представим данные наблюдений и параметры модели в матричной форме, где:

$Y = [y_1, y_2, \dots, y_n]'$ - n – мерный вектор – столбец наблюдений зависимой переменной;

$B = [a, b_1, b_2, \dots, b_p]'$ - $(p+1)$ – мерный вектор – столбец параметров уравнения регрессии (3);

$Y = [y_1, y_2, \dots, y_n]'$ - n – мерный вектор – столбец отклонений выборочных значений y_i от значений \hat{y}_i .

Для удобства записи столбцы записаны как строки и поэтому снабжены штрихом для обозначения операции транспонирования.

Значения независимых переменных запишем в виде прямоугольной матрицы размерности $n \times (p+1)$:

$$X = \begin{bmatrix} 1 & x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1p} \\ 1 & x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2p} \\ \vdots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1 & x_{n1} & x_{n2} & \dots & x_{np} \end{bmatrix} \quad (2)$$

Каждому столбцу этой матрицы отвечает набор из n значений одного из факторов, а первый столбец состоит из единиц, которые соответствуют значениям переменной при свободном члене.

В настоящее время в гидрометеорологическом центре для прогнозирования максимального уровня половодья и построения математической модели используются 3 переменные: общие снегозапасы, высота снега, зимний сток. При построении такой модели для гидрообъекта «Полоцк» по данным 1966-1993 годов средняя ошибка аппроксимации составляет 10,32 %.

Для повышения качества и точности прогнозирования максимального уровня половодья и построение математической модели, был проведен анализ факторов, обуславливающих максимальный уровень половодья. Были выявлены наиболее влиятельные факторы формирования пика половодья: осадки до наступления максимального уровня, общие снегозапасы, высота снега, зимний сток, талодождевой сток (общий), талодождевой сток (поверхностный), талодождевой сток (групповой), осадки во время прохождения половодья, глубина промерзания почвы.

Дальнейший анализ полученной математической модели показал, что наибольшее влияние на прогнозируемый максимальный уровень оказывает талодождевой сток.

Модель использует как метеорологические параметры так и гидрологические. Ход снеготаяния и осадков рассчитывается по данным станций. Построенная гидролого-математическая модель прогноза максимального уровня половодья имеет следующий вид:

Формула для расчета:

$$Q_{\max} = 559,96763 + (-0,81392) \cdot O_d + (-1,17322) \cdot O_s + 3,47625 \cdot H_s + 0,91764 \cdot W_f + 46,17325 \cdot T_o + (-42,27888) \cdot T_r + (-45,59609) \cdot T_g + (-0,26909) \cdot O_p + (-0,7699) \cdot G$$

где: Q_{\max} – максимальная высота половодья, мм.,

O_d – осадки до наступления максимального уровня, мм.,

O_s – общие снегозапасы, мм.,

H_s – высота снега, мм.,

W_f – зимний сток,

T_o – талодождевой сток (общий),

T_r – талодождевой сток (поверхностный),

T_g – талодождевой сток (групповой),

O_p – осадки во время прохождения половодья, мм.,

G – глубина промерзания почвы, мм.

Фактические и расчётные максимальные уровни половодья представлены на рисунке.

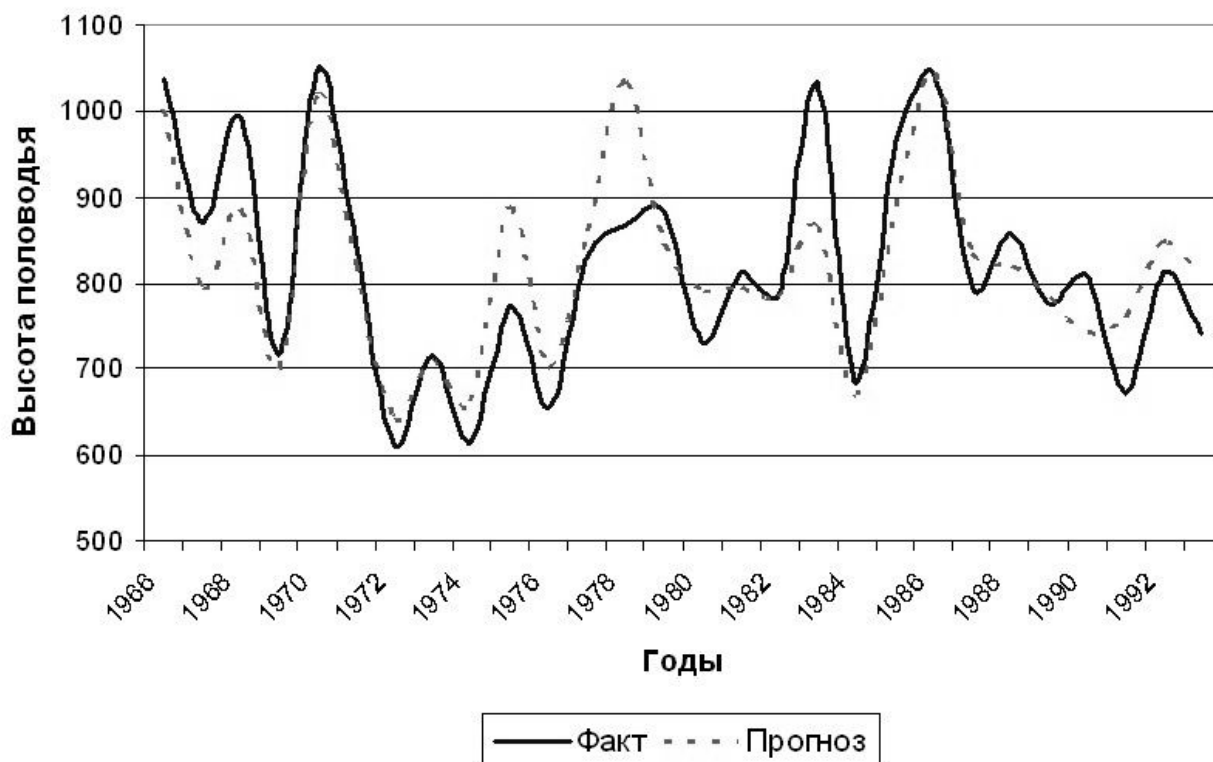


Рисунок –. Отклонение фактических значений максимальной высоты половодья от рассчитанных (гидрообъект «Полоцк»).

Построение математической модели по 9 переменным повысит точность прогноза и снизит среднюю ошибку аппроксимации 6,27482 %.

Проверка расчетов показала высокую точность предлагаемых методов.

Представлена информационная технология, основанная на создании математической модели формирования максимального уровня воды в период весеннего половодья, которая дает возможность увеличить заблаговременность прогноза. Метод прогноза оперирует с определенными математическими моделями гидрологических процессов. В разработанной методике прогноза вычисляются параметры модели и устанавливается связь этих параметров с различными факторами на основании данных гидрометеорологических наблюдений. По результатам основных данных программа позволит более точно спрогнозировать максимальный уровень половодья, формирования катастрофических и особо опасных наводнений.

Список использованных источников

1. Корень, В.И. Математические модели гидрологических прогнозов // М.: Гидрометеиздат, 1991, 199 с.
2. Бураков, Д.А. Математическая модель расчета гидрографа весеннего половодья для равнинных заболоченных бассейнов // Метеорология и гидрология, 1978, № 1. С. 49-59.
3. Бефани Н.Ф., Калинин Г.П. Упражнения и методические разработки по гидрологическим прогнозам // Гидрометеиздат, 1983, 390 с.
4. Зиновьев, А.А. Программное обеспечение комплексного гидрологического прогнозирования и анализа. Официальное свидетельство о регистрации компьютерной программы, 16 ноября 2016 г. № 917.