

РАСЧЕТ ХАРАКТЕРИСТИК ГОДОВОГО СТОКА В БАССЕЙНЕ ЗАПАДНОГО БУГА ПРИ ОТСУТСТВИИ ДАННЫХ НАБЛЮДЕНИЙ

В.Б. Валуев, А.А. Волчек

Территория Белоруссии относится к средней по водообеспеченности зоне страны, но неравномерное пространственно-временное распределение стока уже в настоящее время создает трудности в обеспечении водой ряда отраслей народного хозяйства. Наиболее неблагоприятным по условиям восполнения запасов подземных вод является бассейн Западного Буга. Здесь, в перспективе, ожидаются значительные дефициты стока. В связи со слабой гидрогеологической изученностью данной территории, остро стоит проблема корректной оценки величин годового стока при разработке водоохранных мероприятий. На практике, при отсутствии данных гидрометрических наблюдений, величина среднего многолетнего (норма) стока (Y , мм) и коэффициент вариации (C_v) определяются по соответствующим картам изолиний интерполяцией между их значениями, полученными по рекам-аналогам, имеющим достаточные или приведенные к многолетнему периоду ряды наблюдений. Но при неравномерном ходе по площади изолиний, норму стока необходимо определять не простой линейной интерполяцией, а как средневзвешенное значение.

По результатам анализа измеренных расходов воды рек Белоруссии, нами установлена аппроксимирующая функция трехмерной интерполяции, которая используется при оценке годовой нормы слоя стока:

$$Y = 0,2973X - 0,024L + 0,2405H + 133,76 \text{ (мм)}, \quad (1)$$

где Y - норма годового слоя стока, мм;

X, L - условные прямоугольные координаты (широта, долгота)

расчетного пункта, принимаемые для бассейна Западного

Буга относительно пункта Минск, км;

H - абсолютная отметка расчетного пункта, м.

Для уравнения (I) получены: коэффициент множественной корреляции $r^2 = 0,92 \pm 0,002$ и критерий Спитера $-F = 73,8$ при таблическом его значении $-F^T = 2,28$. Оценка точности расчетов с использованием независимых данных показала, что для 67% случаев ошибка не превышает $\pm 5\%$, для 75% случаев ошибка составляет не более $\pm 10\%$.

При переходе к модулю стока (M_0) и расходам воды (Q_0) используются зависимости:

$$M_0 = \frac{Y}{31,5} \cdot \lambda / (\text{с. км}^2); \quad (2)$$

$$Q_0 = \frac{YA}{31500} \cdot \text{м}^3/\text{с.}, \quad (3)$$

где A - площадь водосбора, км²

Как показали наши исследования, при общей характеристике распределения в течение годового стока на территории Белоруссии достаточно использовать пространственные корреляционные функции типа (I). Интегрируя уравнение (I) по площади водосбора (A), с учетом максимальной амплитуды изменения отметок поверхности водосбора (ΔH), можно получить объем годового стока:

$$W_0 = 10^3 \int_A \int_{\Delta H}^{\text{Hmax.}} \int_{\text{min.}} Y(\lambda, \lambda, H) d\varphi d\lambda dH, \text{ м}^3, \quad (4)$$

где $\Delta H = H_{\text{max.}} - H_{\text{min.}}$ - разность, соответственно, максимальной и минимальной абсолютных отметок поверхности водосбора, м.

Среднегодовое количество расхода воды в расчетном (замыкающем) створе составит:

$$Q_0 = \frac{W_0}{T} \cdot \text{м}^3/\text{с.}, \quad (5)$$

где $T = 31,5 \cdot 10^6$ - продолжительность гидрологического года, с.

Обеспеченные значения годового стока ($Q_{p\%}$) рассчитываются с использованием параметров аналитических кривых распределения, установленных по изученным рекам, являющимся аналогами для данного района:

$$Q_{p\%} = Q_0 \cdot K_{p\%}, \quad (6)$$

где $K_{p\%} = 1 + C_{v(A)} \cdot \Phi(\Phi^{-1}(P))$ - модульный коэффициент расчетной обеспеченности;

$C_{v(A)}$ - коэффициент вариации суммарного годового стока;

C_B - коэффициент асимметрии годового стока;

Φ - нормированное отклонение ординаты кривой обеспеченности;

P - расчетная вероятность превышения годового стока.

Методика определения C_v при отсутствии данных гидрометрических наблюдений опирается на использование в качестве основного параметра - площади водосбора реки до расчетного створа (A). Но, строго говоря, водосборная площадь, сама по себе, не должна являться основным и определяющим фактором вариации годового стока. Теоретическое решение задачи о влиянии размеров речного бассейна на вариацию стока дано С.Н.Крыжким и М.Ф.Менкелем, хотя авторы полно не раскрыли полученную ими теоретическую формулу:

$$C_{v(A)} = C_{v(AA)} \cdot \sqrt{\bar{R}}, \quad (7)$$

где $C_{v(AA)}$ - коэффициент вариации годового стока с "элементарной" площади речного бассейна;

\bar{R} - средний для бассейна коэффициент корреляции между величинами годового стока с "элементарных" площадей.

Из уравнения (7) ясно, что количественная оценка влияния водосборной площади на изменчивость годового стока связана с анали-

ном пространственно-временной корреляций характеристик стока.

Средний для бассейна коэффициент корреляции, как одна из показателей статистической структуры и меры синхронности поля стока, определяется нами из выражения:

$$\bar{R} = \frac{1}{A} \iint_A R(\rho, \lambda) d\rho d\lambda, \quad (8)$$

где $R(\rho, \lambda)$ - функция коэффициентов корреляции от расстояния (ρ) между центрами элементарных составляющих бассейна.

При этом, пространственно-временные корреляционные функции годового стока рек Белоруссии (R) аппроксимируются зависимостью:

$$R = \exp(-0,005 \rho^{0,911}). \quad (9)$$

Подставив зависимость (9) в выражение (8), с заменой ρ и λ на $\rho = \sqrt{\Delta x_i^2 + \Delta y_i^2}$, получим:

$$\bar{R} = \frac{1}{A} \int_{\lambda_{S(мин)}}^{\lambda_{S(мак)}} \int_{\rho_{S(мин)}}^{\rho_{S(мак)}} \exp(-0,005(\Delta x_i^2 + \Delta y_i^2)^{0,455}) d\rho d\lambda, \quad (10)$$

где $\Delta x_i, \Delta y_i$ - соответственно приращения координат элементарных площадей в границах рассматриваемого бассейна (от $\rho_{S(мин)}$ до $\rho_{S(мак)}$ и от $\lambda_{S(мин)}$ до $\lambda_{S(мак)}$).

Выражение (10) аналитически не интегрируется, а решается численными методами с использованием ЭВМ. При ручном счете используется соответствующая номограмма для определения \bar{R} в зависимости от проекций длины и ширины речного бассейна на оси координат ($\Delta x_s, \Delta y_s$).

Вскрытые механизмы косвенного учета размеров водосборной площади в процессе оценки изменчивости годового стока дают возможность отказаться от чисто географического интерполирования при построении и пол'зовании картами в случае отсутствия данных гидрометрических

наблюдений. Географическое интегрирование применимо лишь к обобщенным факторам, свободным от влияния размеров водосбора.

Оценивая коэффициент вариации годового стока неизученных рек в бассейне Западного Луга, кроме картографического материала, рекомендуется использовать уравнение:

$$C_{v(2A)} = -0,2292 X_i^2 - 0,0195 \lambda_i - 0,1575 H_i + 0,0003 X_i^2 + 0,0001 \lambda_i^2 + 0,0002 H_i^2 - 0,0002 X_i \lambda_i + 0,0010 X_i H_i + 0,0002 \lambda_i H_i + 16,11, \quad (II)$$

где $C_{v(2A)}$ - коэффициент вариации годового стока с элементарной составляющей речного бассейна, приуроченной к центру тяжести водосбора, %;

X_i, λ_i - соответствующие координаты данного элементарного участка, км;

H_i - абсолютная отметка поверхности в центре водосбора, м.

Уравнение (II) характеризуется коэффициентом множественной корреляции $-r^2 = 0,90$ и критерием Фишера $-F = 14,74$ при таблическом его значении $-F_{\alpha} = 2,26$.

Расчетные значения отношения коэффициента асимметрии к коэффициенту вариации ($C_s = f(C_v)$) следует принимать как среднее из значений, установленных по данным группы рек с наиболее продолжительными наблюдениями за годовым стоком в гидрологически однородном районе.

В настоящей работе использовано соотношение $-C_{s(2A)} = 2 C_{v(2A)}$.

Предлагаемый подход позволяет в автоматизированном режиме определить основные статистические характеристики годового стока при отсутствии данных гидрометеорологических наблюдений.