

дренажного стока в пределах системы и проектного срока ее функционирования $q_s = 0,38 \text{ л/(с} \cdot \text{га)}$, что соответствует экологическому уровню эффективности работы дренажа, т. е. $q_s \rightarrow \bar{q}_{\text{экол}}$.

УДК 556.512+556.013

А. А. ВОЛЧЕК, Н. Н. ШЕШКО

Беларусь, Брест, БрГТУ

E-mail: volchak@tut.by; optimum@tut.by

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ СТАТИСТИЧЕСКИ ЗНАЧИМЫХ ТРАНСФОРМАЦИЙ ЛАНДШАФТОВ С ПОЗИЦИИ ИЗМЕНЕНИЯ РЕЧНОГО СТОКА

В марте 2012 г. население Земли превысило 7 млрд людей в первый раз, что представляет собой удвоение мирового населения менее чем за 50 лет (Бюро переписи населения). Подсчитано, что более 55 % мирового населения проживают в городах и 394 города мира имеют количество населения, которое превышает 1 млн жителей [3]. Кроме того, предполагается, что 83 % развитых стран и 53 % населения развивающегося мира будут жить в городских районах к 2030 г. [1]. Поскольку мировое население продолжает расти быстрыми темпами, расширение городских районов по-прежнему представляет серьезную угрозу для естественных процессов, доступности и наличия ресурсов, а также качества окружающей среды. В этих условиях знания о процессах трансформации речного стока в результате активной урбанизации становятся все более приоритетной задачей в области гидрологических наук [2].

Антропогенный ландшафт имеет заметное воздействие на метеорологические и гидрологические процессы. Изменения термического режима и увеличение твердых частиц в атмосферном воздухе в городских районах влияют на интенсивность формирования осадков и вероятность возникновения конвективных летних гроз. Увеличение площади городских территорий приводит к увеличению слабопроницаемых поверхностей и расширению применения искусственных дренажных систем, что носит разнонаправленный характер и требует комплексного анализа [4].

Одним из ключевых факторов антропогенных преобразований стока является трансформация подстилающих поверхностей [5]. Модуль стока формируется за счет подземной и поверхностной составляющей. Влияние морфометрических характеристик русла и параметров водосбора на подземный сток принято учитывать коэффициентом неполноты дренирования подземных вод. Данный коэффициент показывает, насколько полно река вскрывает водоносный горизонт грунтовых вод. Коэффициент при полном дренировании приближается к единице. Как показали исследования, при приближении площади к некоей критичной река может наблюдать незначительное уменьшение подземного стока. Анало-

гичные подходы применимы при учете антропогенных трансформаций подстилающих поверхностей.

Имея экспертно назначенные коэффициенты стока, можно вычислить действительное значение модуля поверхностного стока, вводя коэффициент трансформации поверхностного стока. Величину коэффициента трансформации поверхностного стока для i -го ландшафта будем определять по следующему соотношению:

$$\beta_i = \frac{\alpha_i}{\alpha}, \quad (0.1)$$

где α – средний коэффициент стока водосбора в естественных условиях; α_i – коэффициент стока i -го ландшафта.

Тогда для небольших водотоков (площадь водосбора менее $A_{\text{кп}}$) норма модуля стока, $\text{м}^3/\text{с}\cdot\text{км}^2$, определяется с учетом трансформации подстилающих поверхностей

$$\bar{q}_T = \beta_{\text{ср}} \cdot q_{\text{пов}} + K_{\text{др}} \cdot q_{\text{подз}}, \quad (0.2)$$

где $q_{\text{пов}}$ – норма модуля поверхностного стока; $\beta_{\text{ср}}$ – средневзвешенный коэффициент трансформации подстилающих поверхностей; $K_{\text{др}}$ – коэффициент, учитывающий неполное дренирование подземных вод; $q_{\text{подз}}$ – подземная составляющая зональных значений нормы модуля стока, определяемая по разности общего и поверхностного стока, $\text{м}^3/(\text{с}\cdot\text{км}^2)$.

В зависимости от площади водосбора влияние застроенных (преобразованных) ландшафтов может как значительно влиять на поверхностный сток, так влияние может не превышать стандартную ошибку или точность оценок. Для количественной оценки степени преобразованности ландшафта введем понятие коэффициента трансформации подстилающих поверхностей, который будет представлять собой отношение площади нарушенных земель на водосборе к общей площади водосбора. К нарушенным будем относить все ландшафты, кроме естественных (лесных, болотных, луговых и пахотных земель). При некоем критическом отношении площади трансформации A_T к площади водосбора A будем наблюдать статистически значимые изменения величины речного стока, данное

$$\mu = \frac{A_T}{A}$$

отношение обозначим как $\mu = \frac{A_T}{A}$. Площадь водосбора, при которой наблюдаются значимые отклонения в величине стока, назовем критической площадью поверхностного стока $A_{\text{кп}}$. При различных уровнях трансформации подстилающих поверхностей $A_{\text{кп}}$ будет меняться. Размер критической площади поверхностного стока определим исходя из допустимой ошибки среднемноголетнего стока.

Функционально предполагаем, что $A_{\text{кп}}$ будет зависеть от следующих факторов: соотношения трансформированной площади водосбора к площади в естественном состоянии μ ; средневзвешенного коэффициента трансформации поверх-

ностного стока β_{cp} ; изменчивости среднегодового стока (в качестве изменчивости принимаем среднеквадратическое отклонение) $\sigma_{\bar{Q}}$. Тогда получаем:

$$A_{кп} = f(\mu, \beta_{cp}, \sigma_{\bar{Q}}). \quad (0.3)$$

Рассмотрим модельный водосбор A , на котором присутствует суммарная трансформированная водосборная площадь A_T , тогда изменения величины стока ΔQ для данной площади могут быть определены:

$$\Delta Q = Q'_T - Q_T, \quad (0.4)$$

где Q_T – величина стока, образующаяся на участке площадью A_T без учета влияния изменений в характеристиках подстилающей поверхности, м³/с; Q'_T – то же, только с учетом изменений в характеристиках подстилающей поверхности, м³/с.

Учитывая уравнения (0.2) и (0.4), запишем

$$\Delta Q = Q'_T - Q_T = (A_T \cdot q'_{пов} + A_T \cdot K_{др} \cdot q_{подз}) - (A_T \cdot q_{пов} + A_T \cdot K_{др} \cdot q_{подз}), \quad (0.5)$$

сокращая и вынося за скобки, получим

$$\Delta Q = Q'_T - Q_T = A_T (q'_{пов} - q_{пов}), \quad (0.6)$$

заменим $q'_{пов} = q_{пов} \cdot \beta_{cp}$, тогда имеем

$$\pm \Delta Q = A_T \cdot q_{пов} (\beta_{cp} - 1), \quad (0.7)$$

Выдвигаем нулевую статистическую гипотезу: естественная изменчивость стока меньше изменений обусловленных трансформацией подстилающих поверхностей. Тогда запишем условие:

$$H_0: F_{\eta_1, \eta_2, \alpha} = \frac{\sigma_{\bar{Q}}^2}{(\Delta Q)^2} \quad (0.8)$$

Таким образом, критическую площадь $A_{кп}$ будем определять из условия соблюдения равенства

$$F_{\eta_1, \eta_2, \alpha} = \frac{\sigma_{\bar{Q}}^2}{(\Delta Q)^2} \quad (0.9)$$

Выразим среднеквадратическую ошибку следующим уравнением:

$$\sigma_{\bar{Q}}^2 = A^2 \cdot \sigma_{\bar{q}}^2, \quad (0.10)$$

Подставим уравнения (0.10) и (0.7) в (0.9)

$$F_{\eta_1, \eta_2, \alpha} = \frac{A^2 \cdot \sigma_{\bar{q}}^2}{(A_T \cdot q_{пов} (\beta_{cp} - 1))^2} = \frac{A^2 \cdot \sigma_{\bar{q}}^2}{A_T^2 \cdot q_{пов}^2 \cdot (\beta_{cp} - 1)^2} \quad (0.11)$$

Заменим отношение площадей и выразим его из уравнения (0.11):

$$\mu = \frac{\sigma_{\bar{q}}}{q_{пов} \cdot |\beta_{cp} - 1| \sqrt{F_{\eta_1, \eta_2, \alpha}}} \quad (0.12)$$

Если рассматривать отдельные участки водосбора, то относительная площадь будет зависеть от уровня осреднения (элементарной фигурой), поэтому ее величину определим как средневзвешенную. При этом размер элементарной фигуры и будет равен искомой $A_{\text{кп}}$:

$$\mu_{\text{ср}} = \frac{A_{\text{кп}} \sum_{i=0}^n \mu_i}{A} \Rightarrow A_{\text{кп}} = \frac{A \cdot \mu_{\text{ср}}}{\sum_{i=0}^n \mu_i} \quad (0.13)$$

Принимая с определенным уровнем допущений равными между собой μ и $\mu_{\text{ср}}$, подставим уравнение (0.12) в (0.13), откуда получим

$$A_{\text{кп}} = \frac{A \cdot \sigma_{\bar{q}}}{q_{\text{нов}} \cdot |\beta_{\text{ср}} - 1| \sqrt{F_{\eta, \nu_2, \alpha}} \cdot \sum_{i=0}^n \mu_i} = \frac{\sigma_{\bar{q}}}{q_{\text{нов}} \cdot |\beta_{\text{ср}} - 1| \sqrt{F_{\eta, \nu_2, \alpha}} \cdot \sum_{i=0}^n \mu_i} \quad (0.14)$$

Окончательно получаем

$$A_{\text{кп}} = \frac{\sigma_{\bar{q}}}{q_{\text{нов}} \cdot |\beta_{\text{ср}} - 1| \sqrt{F_{\eta, \nu_2, \alpha}} \cdot \sum_{i=0}^n \left(\frac{A_{T_i}}{A_{\text{кп}}} \right)} \quad (0.15)$$

Уравнение (0.15) решается методом подбора с применением ГИС. При сопоставлении полученного уравнения с первичной функциональной зависимостью (0.3) видно, что в вычислении $A_{\text{кп}}$ участвуют все предполагаемые параметры, а в качестве статистического критерия значимости используется F-критерий Фишера при заданном уровне значимости.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Cohen, B. Urban Growth in Developing Countries: A Review of Current Trends and a Caution Regarding Existing Forecasts / B. Cohen // World Development. – 2004. – № 1 (32). – P. 23–51.
2. Niemczynowicz, J. Urban hydrology and water management – present and future challenges / J. Niemczynowicz // Urban Water. – 1999. – № 1 (1). – P. 1–14.
3. United Nations World Urbanization Prospects: The 2011 Revision // Economic & Social Affairs. – 2012.
4. Волчек, А. А. Сток с урбанизированных территорий и его очистка / А. А. Волчек, И. В. Бульская // Вестн. Брест. гос. техн. ун-та. – 2013 (2). – С. 88–92.
5. Крашенинникова, С. В. Влияние урбанизированных территорий на формирование поверхностного стока / С. В. Крашенинникова // Изв. Пенз. гос. пед. ун-та. – 2008 (10 (14)). – С. 119–121.