

ГІДРОЛОГІЯ, ВОДНІ РЕСУРСИ

УДК 556.166

Е.Д. Гопченко, В.А. Овчарук

ПРАКТИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ОПЕРАТОРНОЙ МОДЕЛИ МАКСИМАЛЬНОГО СТОКА НА ПРИМЕРЕ РЕК ПРЕДКАРПАТЬЯ

Рассмотрена теоретическая модель формирования максимального стока рек, основанная на схеме русловых изохрон. Приведен пример ее практической реализации для рек Предкарпатья.

Постановка проблемы

Надежный расчет характеристик максимального стока является актуальной задачей для регионов, в которых часто формируются паводки, вызванные ливневыми осадками в различные периоды года. Так, убытки от действия ноябрьского паводка 1998 г. в Закарпатье оцениваются в 810 млн. грн., мартовского 2001 г. – в 300 млн. грн. В целом, по данным Госводхоза Украины, ежегодные потери от их прохождения составляют 200 млн. грн., к этой сумме добавляется 77 млн. грн. экологического ущерба и 19 млн. грн. на социальные выплаты [4].

Бассейн Днестра в соответствии с его орографическими и климатическими особенностями делится на три части: Карпатскую, Волыно-Подольскую и нижнюю, или южную [8]. Карпатская, горная часть бассейна, представляет собой верхнюю правобережную часть водосбора до впадения р. Быстрицы с сильно развитой гидрографической сетью и является главной областью формирования стока р. Днестр. Повышенная ливневая деятельность на северо-восточных склонах Карпатских гор обуславливает возникновение часто повторяющихся ливневых паводков, что составляет характерную особенность режима Днестра, равно как и других рек района, берущих начало в Карпатах. Половодье здесь часто проходит несколькими волнами, что особенно проявляется при ранних вскрытиях и возвратах холодов. Нередко половодье осложняется и усиливается выпадающими весенними дождями, и в таких случаях второй пик половодья значительно превышает первый. Чаще всего наивысшими в году являются уровни дождевых паводков, и только в годы со значительными снеготопками и в

засушливые годы, когда летом осадков выпадает меньше нормы, весенний максимум превышает дождевой.

По условиям формирования стока в горной и предгорной зонах выделяются три гидрологических района: Закарпатский, Предкарпатский и Подольский. В данной работе рассматриваются реки Предкарпатского гидрологического района, для которого характерно наличие дождевых паводков в теплый период и смешанного происхождения в холодный период года.

Анализ исследований и публикаций

Многолетние исследования проф. Гопченко Е. Д. и его учеников в области методов расчета максимального стока рек свидетельствует о том, что многим из них, включая и нормативные документы, присущи те или иные, прежде всего, структурные недостатки. Следствием этого обстоятельства является некоторая условность параметров, которые их описывают. В первую очередь это относится ко всем формулам редуцированного и объемного типов, а также формулам предельной интенсивности [3, 9]. Поэтому для расчета максимального стока рек Предкарпатья предлагается применить генетическую формулу, основанную на модели русловых изохрон. По этой схеме [2, 3, 9] формирование максимального стока рассматривается в виде двухоператорной модели трансформации осадков в русловой сток. Первый оператор (склоновый сток) описывается характеристиками подстилающей поверхности склонов, а второй – трансформацией склонового притока речной сетью (через время руслового добегания, русло-пойменное регулирование и под влиянием озер, водохранилищ и прудов проточного типа).

Цель работы – обоснование параметров операторной модели для расчета максимального стока холодного периода для рек Предкарпатья.

Метод исследований

Предлагается единая формула для расчета максимального стока паводков и половодий во всем диапазоне площадей. Структура формулы позволяет выполнять расчеты с использованием данных по максимальным суточным осадкам (для дождевых паводков); по данным о максимальных снегозапасах на начало весеннего половодья и по осадкам,

выпавших за период половодья; и с использованием данных по максимальным слоям стока (как для паводков, так и для половодий).

Базисная структура, принятая в качестве основы при разработке методики расчета максимальных модулей, имеет вид:

$$q_{p\%} = q'_{l\%} \psi(t_p / T_0) \varepsilon_F r \lambda_P, \quad (1)$$

где r – коэффициент регулирования максимального стока озерами и водохранилищами проточного типа; q'_m – максимальный модуль склонового притока, который равен:

$$q'_m = 0.28 \frac{n+1}{n} \frac{l}{T_0} Y_m; \quad (2)$$

где $\psi(t_p/T_0)$ – трансформационная функция, причем:

а) при $t_p < T_0$:

$$\psi(t_p / T_0) = 1 - \frac{m_1 + l}{(n + 1)(m_1 + n + 1)} \left(\frac{t_p}{T_0} \right)^n, \quad (3)$$

б) при $t_p \geq T_0$:

$$\psi(t_p / T_0) = \frac{n}{n + 1} \frac{T_0}{t_p} \left[\frac{m_1 + l}{m_1} - \frac{n + 1}{m_1 (m_1 + n + 1)} \left(\frac{T_0}{t_p} \right)^{m_1} \right] \quad (4)$$

В формуле (2) 0,28 – коэффициент размерности при $q_{l\%}$ в $\text{м}^3/\text{с} \cdot \text{км}^2$; t_p – время руслового добега в час; Y_m – слой стока в мм; λ_p – коэффициент обеспеченности; n и m_1 – показатели степени в уравнениях кривых притока и изохрон соответственно.

На основании формулы (1):

$$\varepsilon_F = \frac{q_m}{q'_m} / \psi(t_p / T_0). \quad (5)$$

Если расчет опирается на паводкоформирующие осадки H_m (для паводков) или на максимальные снегозапасы и осадки, выпавшие за период половодья $(S_m + x)_m$ (для весенних половодий), то:

$$q'_m = 0.28 \frac{n+1}{n} \frac{1}{T_0} H_m \eta \quad (6)$$

или

$$q'_m = 0.28 \frac{n+1}{n} \frac{1}{T_0} (S_m + x)_m \eta, \quad (7)$$

где $\frac{n+1}{n}$ – коэффициент неравномерности склонового притока.

Материалы исследований

Для обоснования основных параметров формулы использовались данные 45 г/м постов по максимальному стоку холодного периода рек Предкарпатья. Диапазон изменения площадей рассматриваемых рек от 18,1 км² (р. Каменка – с. Дора) до 2450 км² (р. Быстрица - с. Ямница). Период наблюдений – от даты открытия постов по 1997 г. включительно.

Результаты исследований

Первый оператор в расчетной формуле представлен в виде максимального модуля склонового притока q'_m , который учитывает основные характеристики графиков склонового притока: слой стока весеннего половодья Y_m , коэффициент неравномерности склонового притока и продолжительность притока воды со склонов в русловую сеть – T_0 . Распластывание максимального модуля при перемещении паводочных волн по русловой сети под влиянием времени руслового добега учитывается через трансформационную функцию $\psi(t_p/T_0)$. Для учета эффектов русло-пойменного регулирования и водообмена вводится функция ε_F , а для учета возможного влияния озер, водохранилищ и прудов проточного типа предлагается применить формулу, рекомендуемую нормативным документом СНиП 2.01.14-83 [7].

Для рек Предкарпатья определены все параметры, входящие в предлагаемую схему. Слой стока холодного периода представлен в виде карты районов (рис. 1). Районирование произведено на основе метода совместного анализа С.Н.Крицкого и М.Ф.Менкеля, подробно описанного в работах [5, 6].

В итоге для расчета среднего максимального слоя стока холодного периода рек Предкарпатья предлагается уравнение, учитывающее влияние залесенности и средней высоты водосбора:

$$\bar{Y}_m = a - bf_l + 0.3(H_{cp} - 1000), \quad (8)$$

где a и b – районные параметры, представленные в табл. 1.

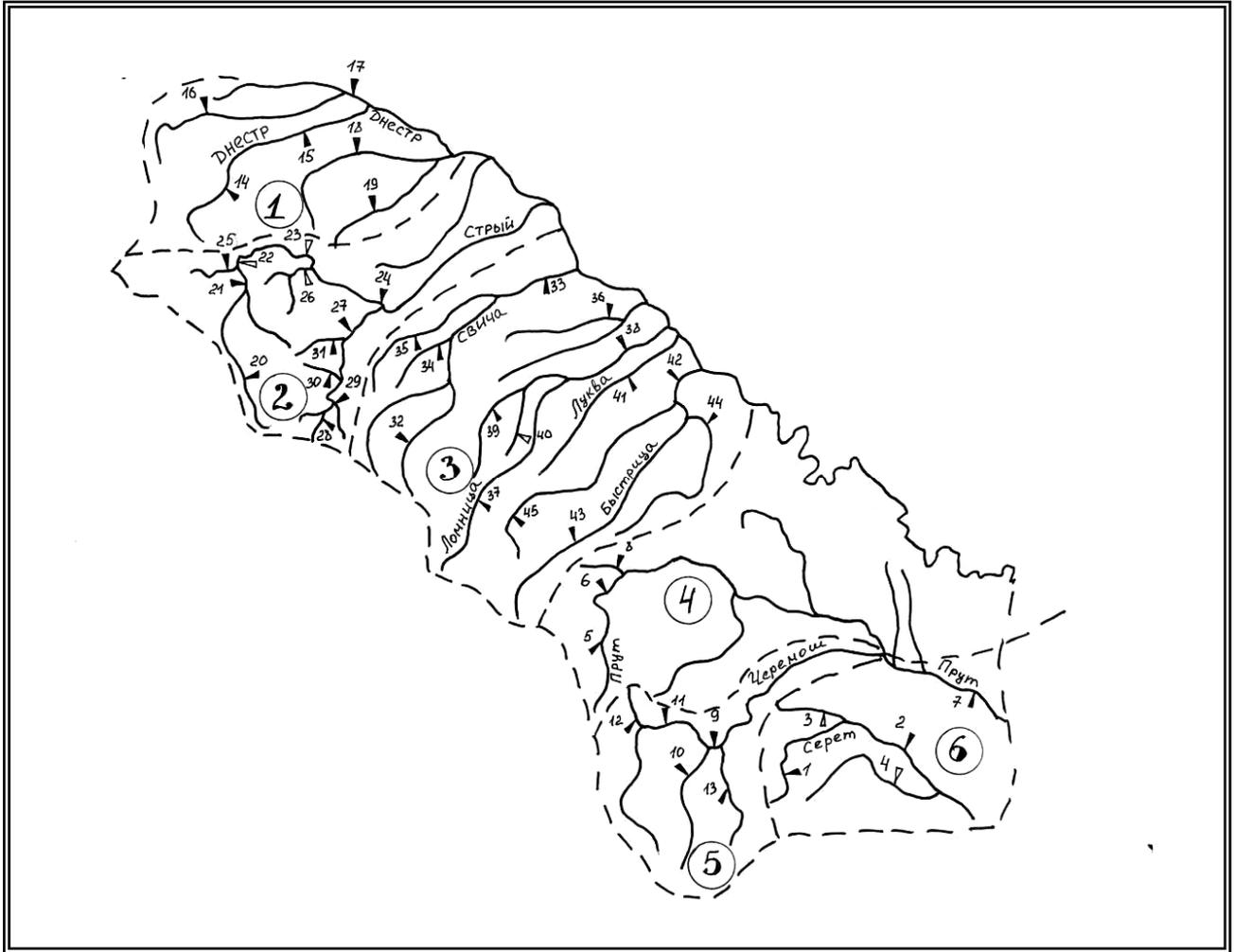


Рис. 1. Карта-схема районирования территории по распределению слоев паводочного стока

Таблица 1

Районные значения параметров уравнения слоя стока холодного периода в зависимости от средней высоты водосборов и их залесенности

Район	a	b
1	276	1,25
2	259	0,68
3	272	1,44
4	344	2,67
5	404	6,80
6	334	3,24

Коэффициент вариации C_v и соотношение C_s/C_v также осреднены для всей территории на основе метода совместного анализа и равны 0,55 и 2,0 соответственно. Тогда расчетный 1%-ный слой стока холодного периода для рек рассматриваемой территории может быть рассчитан по уравнению:

$$Y_{1\%} = \bar{Y}_m \cdot K_{1\%}, \quad (9)$$

где $K_{1\%}$ – модульный коэффициент, равный 2,3.

Коэффициент неравномерности склонового притока $\frac{n+1}{n}$ определялся через коэффициент неравномерности руслового стока $\frac{m+1}{m}$ по методике, предложенной Е.Д. Гопченко [1]. Согласно этой методике:

$$\frac{m+1}{m} = \frac{\bar{Q}_m \bar{T}_n}{\bar{Y}_m F} 86.4, \quad (10)$$

где \bar{Q}_m – среднее многолетнее значение расхода воды паводка или половодья; \bar{Y}_m – средний многолетний слой стока за паводок или половодье; \bar{T}_n – средняя многолетняя продолжительность паводка или половодья.

Вычисленные по формуле (10) значения коэффициента $\frac{m+1}{m}$ для рек Предкарпатья обобщены в виде зависимости от площади водосборов (рис. 2).

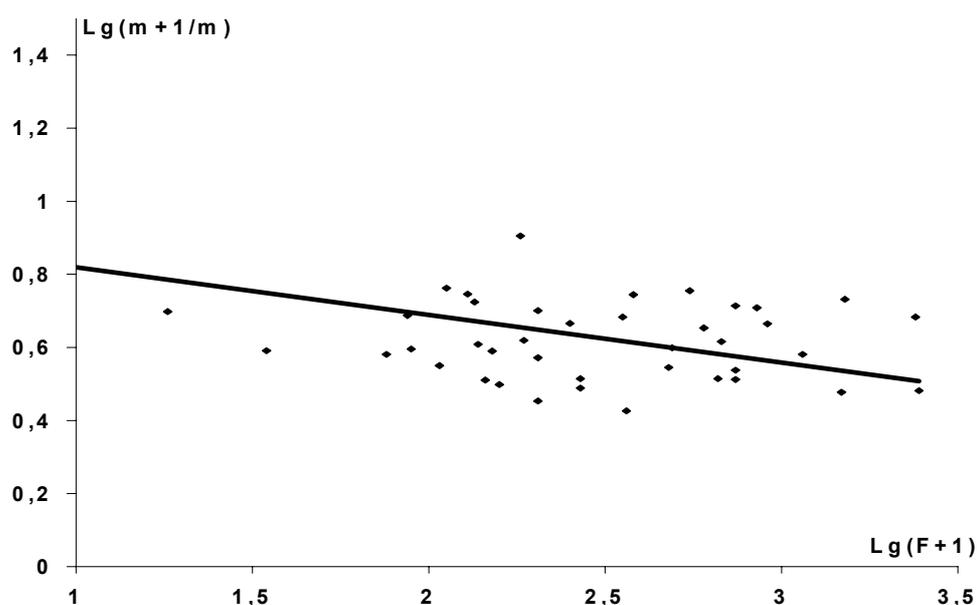


Рис. 2. Зависимость коэффициента неравномерности руслового стока от площади водосборов

Полученная зависимость позволяет довольно просто экстраполировать ее на ось ординат с целью установления $\frac{n+1}{n}$ как значения: $\left(\frac{m+1}{m}\right)_{F \rightarrow 0} = \frac{n+1}{n}$. Для рек Предкарпатья: $\frac{n+1}{n} = 9.0; n = 0.13$.

Продолжительность склонового притока T_0 определялась численным методом с использованием программного комплекса, разработанного на кафедре гидрологии суши ОГЭКУ [3]. Распределение по территории полученных величин продолжительности притока, как известно, может определяться не только географическим положением водосборов, но и комплексом местных факторов – залесенностью, заболоченностью, закарстованностью территории, типом почв, растительности и т.д.

Поэтому нами исследовалось возможное влияние средней высоты водосборов и залесенности – зависимость от этих факторов не обнаружена. Определенное влияние на распределение T_0 оказывает тип почв – наибольшие значения приурочены к горным почвам (горно-луговым и горно-торфяным), которые обладают наибольшей водопроницаемостью. В итоге полученные значения T_0 обобщены на карте (рис. 3).

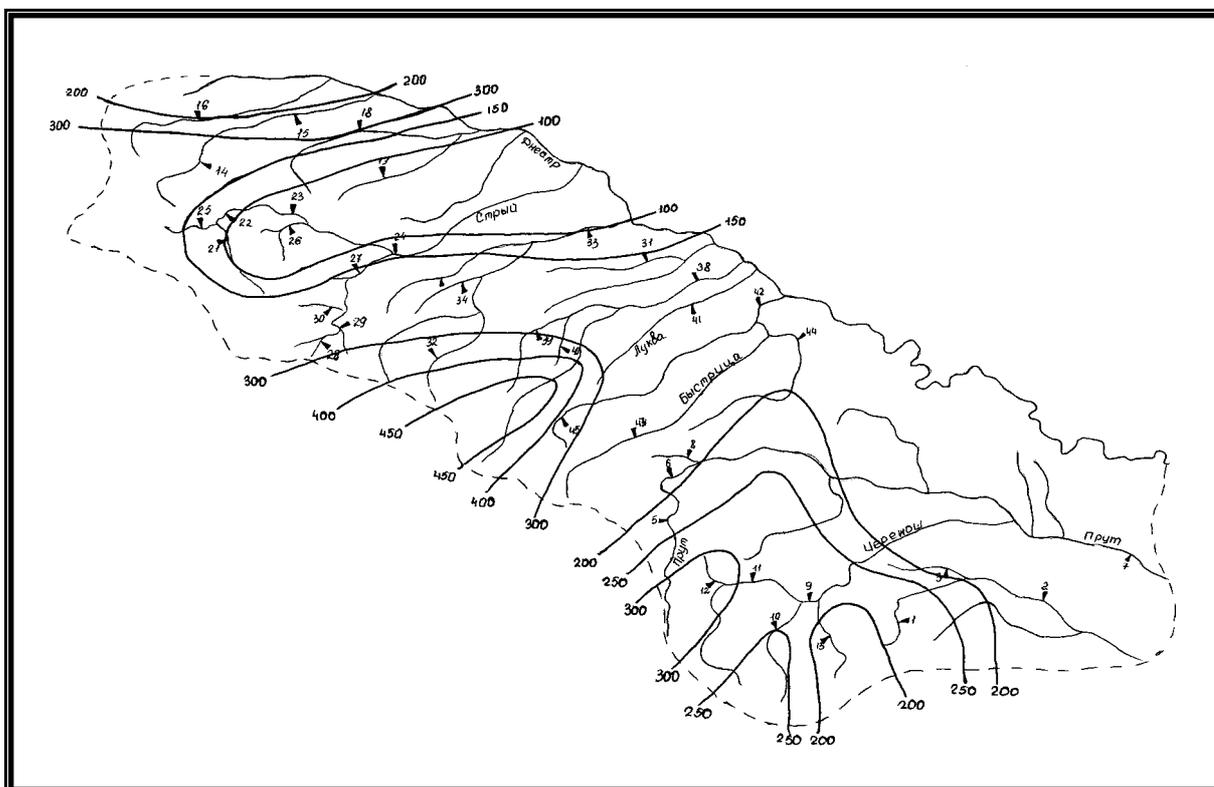


Рис. 3. Карта-схема распределения продолжительности притока воды со склонов в холодный период для рек Предкарпатья

Как видно из рис. 3, величина продолжительности притока в период весенних максимумов на рассматриваемой территории изменяется в пределах от 100 до 450 час. Расчетные максимальные модули склонового притока q'_m изменяются в широком диапазоне – от 1,23 м³/с км² (район 6, р. Малый Сирет) до 19,2 м³/с км² (район 2, р. Стрый).

Трансформационная функция $\psi(t_p/T_o)$ рассчитана для всех постов в рассматриваемом бассейне по формуле (3) при $n = 0,13$ и $m_1 = 1,0$. Полученные значения изменяются от 0,42 (р. Быстрица - с. Ямница) до 0,81 (р. Стрый – пгт Синевидное).

Коэффициент русло-пойменного водообмена и регулирования ε_F получен обратным расчетом по формуле (5) и обобщен в виде зависимости $\varepsilon_F = f(F)$ (рис. 4). Как видно из этого рисунка, наибольшее регулирование происходит на водосборах с площадью 1000 км² и более, для которых значения ε_F составляют 0,1 и менее.

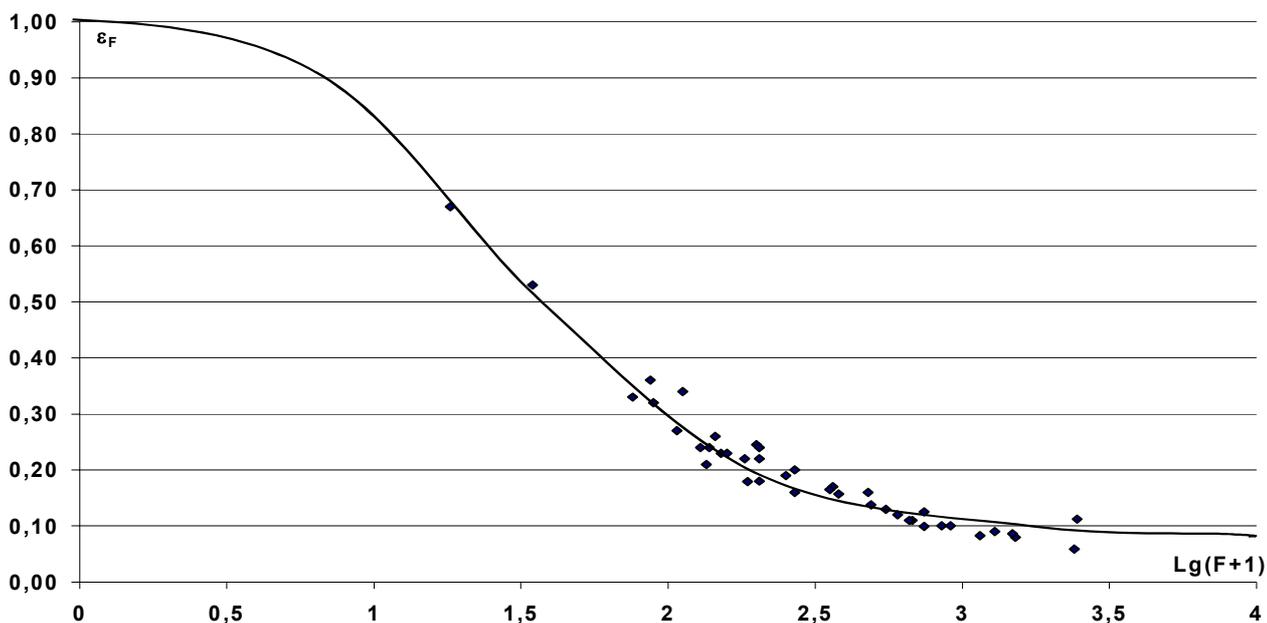


Рис. 4. Зависимость коэффициента русло-пойменного водообмена и регулирования от площади водосборов

Для водосборов с площадями менее 50 км² русло-пойменное регулирование незначительное: ε_F находятся в пределах 0,5-0,7.

Экстраполяция зависимости $\varepsilon_F = f(F)$ в области, где отсутствуют данные наблюдений, проведена с учетом физического предела коэффициента ε_F , равного 1,0.

Сравнение расчетных и фактических максимальных модулей стока указывает на их хорошую сходимость (рис. 5). Точность методики для рек Предкарпатья составляет $\Delta = \pm 17.0\%$, что при точности исходной информации $\sigma_{Q_{1\%}} = 16.1\%$ можно считать хорошим результатом.

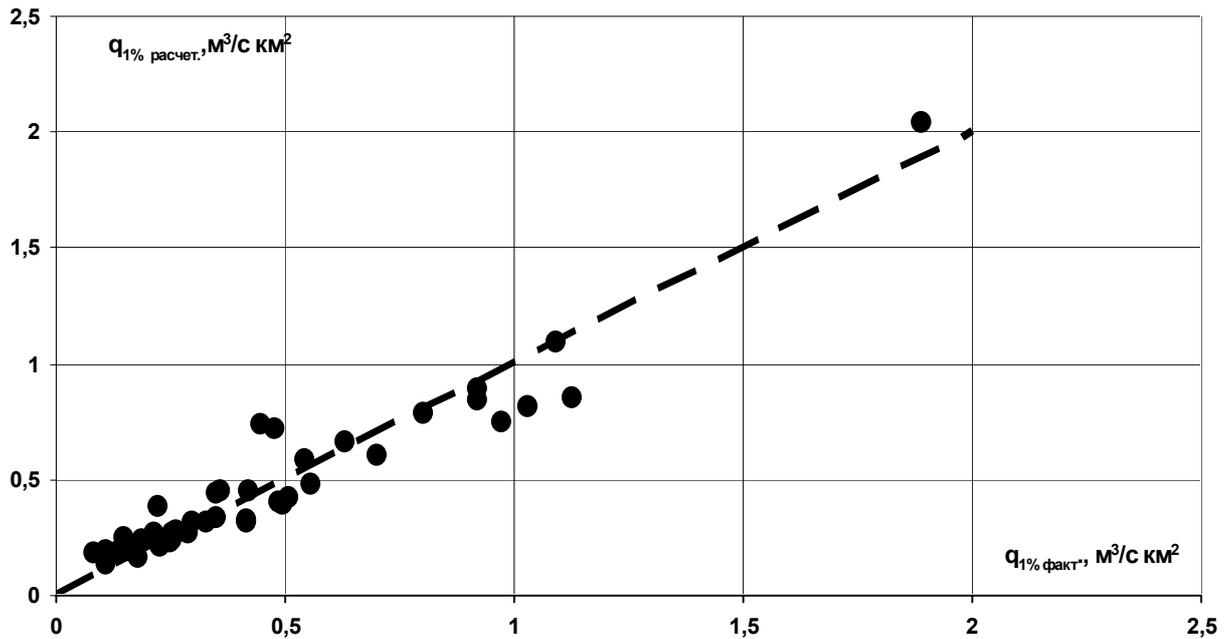


Рис. 5. Сравнение фактических (ось абсцисс) и расчетных (ось ординат) модулей стока холодного периода 1%-й обеспеченности для рек Предкарпатья

Выводы

- Предлагаемая методика в полной мере учитывает все стокоформирующие факторы Прикарпатья.
- Точность методики находится на уровне точности исходной информации.
- Эту методику можно рекомендовать для практического использования без каких-либо доработок, причем не только для рек Предкарпатья, но и для всего бассейна Днестра.

Предлагаемая модель может стать базовой при создании нового нормативного документа для расчета максимального стока рек Украины.

* *

Розглянуто теоретичну модель формування максимального стоку річок на основі схеми руслових ізохрон. Наведено приклад її практичної реалізації для річок Передкарпаття.

* *

1. Андреевская Г.М., Гопченко Е.Д., Овчарук В.А. О форме графиков притока воды со склонов в русловую сеть // Метеорология, климатология и гидрология. – 1996. – Вып. 33. – С. 106-111.
2. Гопченко Е.Д., Казанкова Т.А., Романчук М.Е. Обоснование расчетной схемы максимального стока, опирающейся на теорию русловых изохрон // Метеорологія, кліматологія та гідрологія. – О. – 1999. – Вип. 36 – С. 170-180.
3. Гопченко Е.Д., Овчарук В.А. Формирование максимального стока весеннего половодья в условиях юга Украины.– О.: ТЭС, 2002. – 110 с.
4. Киндюк Б.В. Гидрографическая сеть и паводочный сток рек Украинских Карпат. – О.: ТЭС, 2003. – 221 с.
5. Овчарук В.А. Статистична обробка характеристик максимального стоку холодного періоду та районування території басейнів річок правобережної частини Дністра і Прута // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. – К: ВГЛ „Обрії”, 2003. – Т. 5. – С. 112-119.
6. Овчарук В.А. О предельных значениях максимального модуля склонового притока холодного периода для рек Предкарпаття // Україна: географічні проблеми сталого розвитку. – К.: ВГЛ „Обрії”, 2004. – Т. 3 – С. 274-277.
7. Пособие по определению расчетных гидрологических характеристик. – Л.: Гидрометеоиздат, 1984. – 448 с.
8. Ресурсы поверхностных вод СССР. – 1974. – Т. 6. – Вып. 1. – Л.: Гидрометеоиздат. – 884 с.
9. Eugene Gophenko, Valeriya Ovcharuk. Theoretical ground of normative base for calculation of the characteristics of the maximum runoff and its practical realization // Transboundary Floods: Reducing Risks through Management. NATO Sciences Series. IV Earth and Environmental Sciences. – Vol. 72. – Springer, 2006. – P. 91-99.

Одеський державний екологічний університет