Міністерство освіти і науки України
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

МАКСИМАЛЬНИЙ СТІК ДОЩОВИХ ПАВОДКІВ У ПЕРЕДКАРПАТТІ

к.геогр.н., ст.н.с. НДЧ ОДЕКУ
ГОПЦІЙ МАРИНА ВОЛОДИМИРІВНА

Одеса – 2 0 1 6

Актуальність теми

Актуальність теми.

Максимальний стік є не лише однією з фаз гідрологічного режиму річок, але також і важливою базовою характеристикою при проектуванні та експлуатації гідротехнічних споруд в долинах та руслах гідрографічної мережі.

Карпати є одним із найбільш паводконебезпечних регіонів України. Тут на протязі року може спостерігатися по декілька дощових паводків, які часто набувають катастрофічного характеру, як це мало місце, наприклад, у Передкарпатті в 2008 році.

В Україні розрахунок характеристик гідрологічного режиму річок спочатку здійснювався на основі нормативного документу СН 435-72, а потім і до цього часу за СНиП 2.01.14-83. З 2004 року юридично він свою дію припинив і в Україні розпочата активно підготовка нового нормативного документу. У зв’язку з цим терміново необхідно створити сучасні теоретичну й методичну бази. Саме ці питання складають головний зміст дисертаційного дослідження. Його реалізація здійснена на прикладі річок Передкарпаття.

Наукова новизна

Наукова новизна полягає у наступному:

Вперше:

- для нормування розрахункових характеристик дощових паводків у регіоні застосовано операторну модель формування максимального стоку;
- визначені чисельним шляхом й узагальнені по території тривалості схилового припливу до руслової мережі;
- обґрунтовані залежності для визначення коефіцієнтів трансформації паводкових хвиль під впливом тривалості руслового добігання і русло-заплавного регулювання.

Удосконалено:

- науково-методичну базу для нормування характеристик максимального стоку дощових паводків річок Передкарпаття, порівняно з діючим в Україні нормативним документом СНиП 2.01.14-83;
- на регіональному рівні удосконалено методику визначення розрахункових шарів стоку дощових паводків річок.

Дістало подальшого розвитку:

- методичні підходи до просторового узагальнення розрахункових характеристик максимального стоку (шарів стоку і тривалості припливу) у гірських умовах Передкарпаття.

Практичне значення та апробація результатів

Практичне значення одержаних результатів:

Обґрунтована автором методика розрахунку характеристик максимального стоку дощових паводків у межах Передкарпаття може бути без додаткових доробок безпосередньо використана у водогосподарських установах.

Окремі результати дослідження увійшли до проміжних та заключного звітів кафедри гідрології суші ОДЕКУ 2012 року за НДР «Розрахунки і прогнози характеристик максимального стоку рівнинних річок України» та заключного звіту НДР молодих вчених 2012 року «Актуальні проблеми гідрометеорології та охорони навколишнього середовища».

За темою НДР автором опубліковано 4 наукових статей, з них 4 у фахових періодичних виданнях України, та 11 тез доповідей.

Основні результати досліджень доповідалися на:

- 4 міжнародних конференціях, 1 міжнародному семінарі;
- 3 всеукраїнських; 4 університетських і 1 науково-практичній конференціях.

Окремі положення НДР представлялись для участі у конкурсі на кращу науково-дослідну роботу серед молодих вчених ОДЕКУ у 2012 році.

Мета і задачі дослідження. **Полягають у розробці нової науково-методичної бази для нормування характеристик максимального стоку дощових паводків у Передкарпатті.**

Головні задачі, які підлягали вирішенню:

- **здійснення всебічного аналізу сучасної наукової бази, яка використовується для нормування характеристик максимального стоку дощових паводків в Україні;**
- **виконання статистичного аналізу часових рядів максимальних витрат води й шарів стоку дощових паводків та узагальнення їх розрахункових характеристик у межах Передкарпаття;**
- **науково-методичне обґрунтування нових підходів щодо нормування характеристик максимального стоку;**
- **визначення та узагальнення по території базових параметрів схилового припливу і руслової трансформації, що входять до запропонованої розрахункової схеми;**
- **доведення запропонованої методичної бази до рівня практичних рекомендацій для річок Передкарпаття.**

Предмет дослідження **- теоретичне і методичне обґрунтування нормативної бази по розрахунках характеристик максимального стоку дощових паводків різної ймовірності перевищення та її реалізація на території Передкарпаття.**

Об'єкт дослідження **- максимальний стік дощових паводків у межах Передкарпаття. Річки верхнього Дністра та його праві притоки (до Бистриці Надвірнянської).**

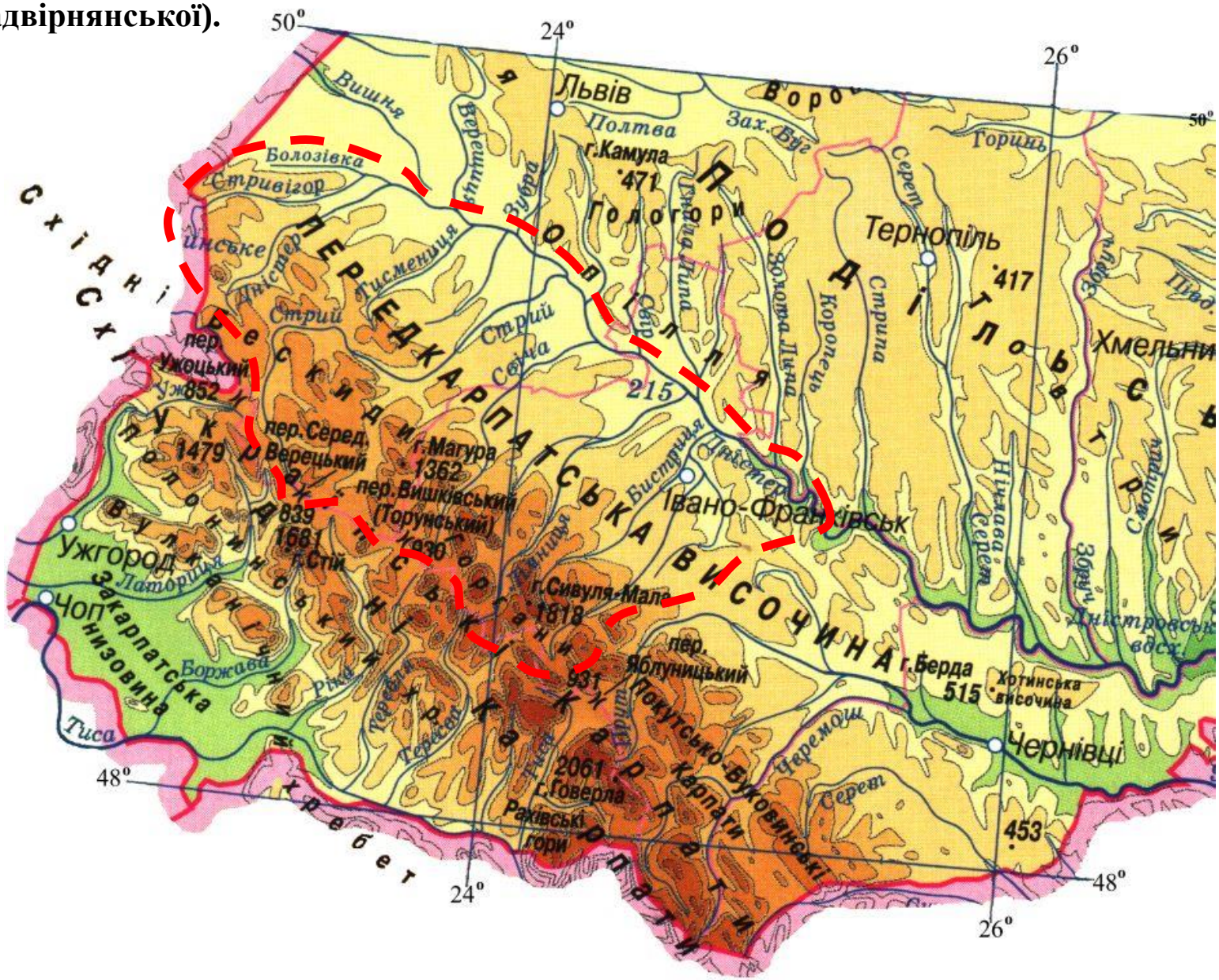


Рис. 1 – Фізична карта. Західна Україна

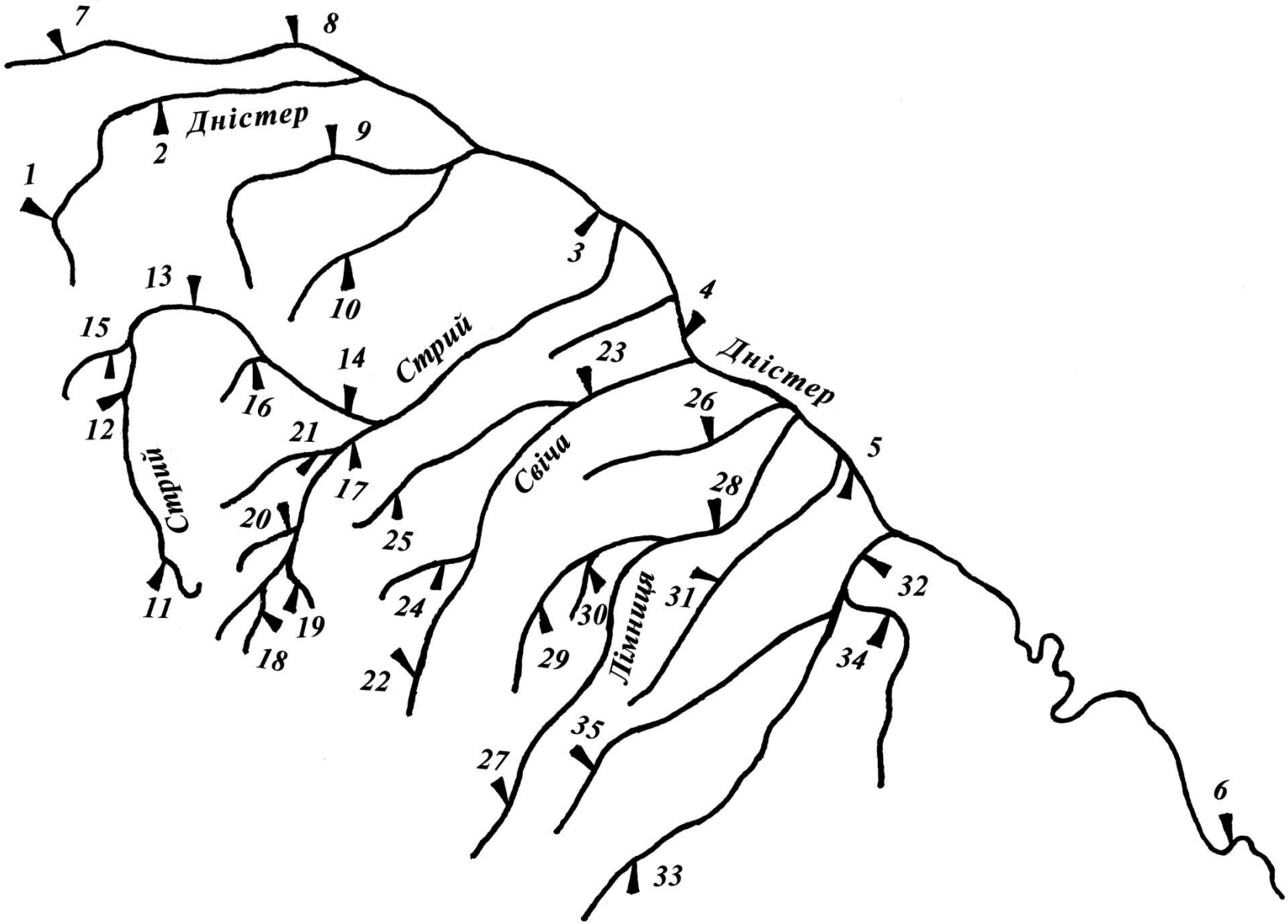


Рис. 2 – Карта-схема розміщення гідрологічних постів на річках Передкарпаття

Таблиця 1

Розподіл гідрологічних постів по тривалості спостережень

Річки	Кількість років спостережень					Усього
	<10	11-15	16-20	21-50	>50	
Передкарпаття	0	0	1	23	11	35
у %	0	0	3	66	31	100

Таблиця 2

Розподіл гідрологічних постів по розмірах водозборів

Річки	Площа водозбору, км²					Усього
	<500	500-2000	2001-5000	5001-10000	>10000	
Передкарпаття	21	8	2	2	2	35
у %	60	22	6	6	6	100

Об'єкт дослідження

Рис. 3 – Карта-схема* територій, постраждалих від повені у липні 2008 року (позначено блакитним)

*** - Олена Кашик** "ЕКОЛОГО-ГЕОГРАФІЧНИЙ АНАЛІЗ НАЙМАСШТАБНІШИХ НАДЗВИЧАЙНИХ ПРИРОДНІХ СИТУАЦІЙ У ТЕРНОПІЛЬСЬКІЙ ОБЛАСТІ У 2008 РОЦІ **", наукові записи №1, 2009 – с.156-164**

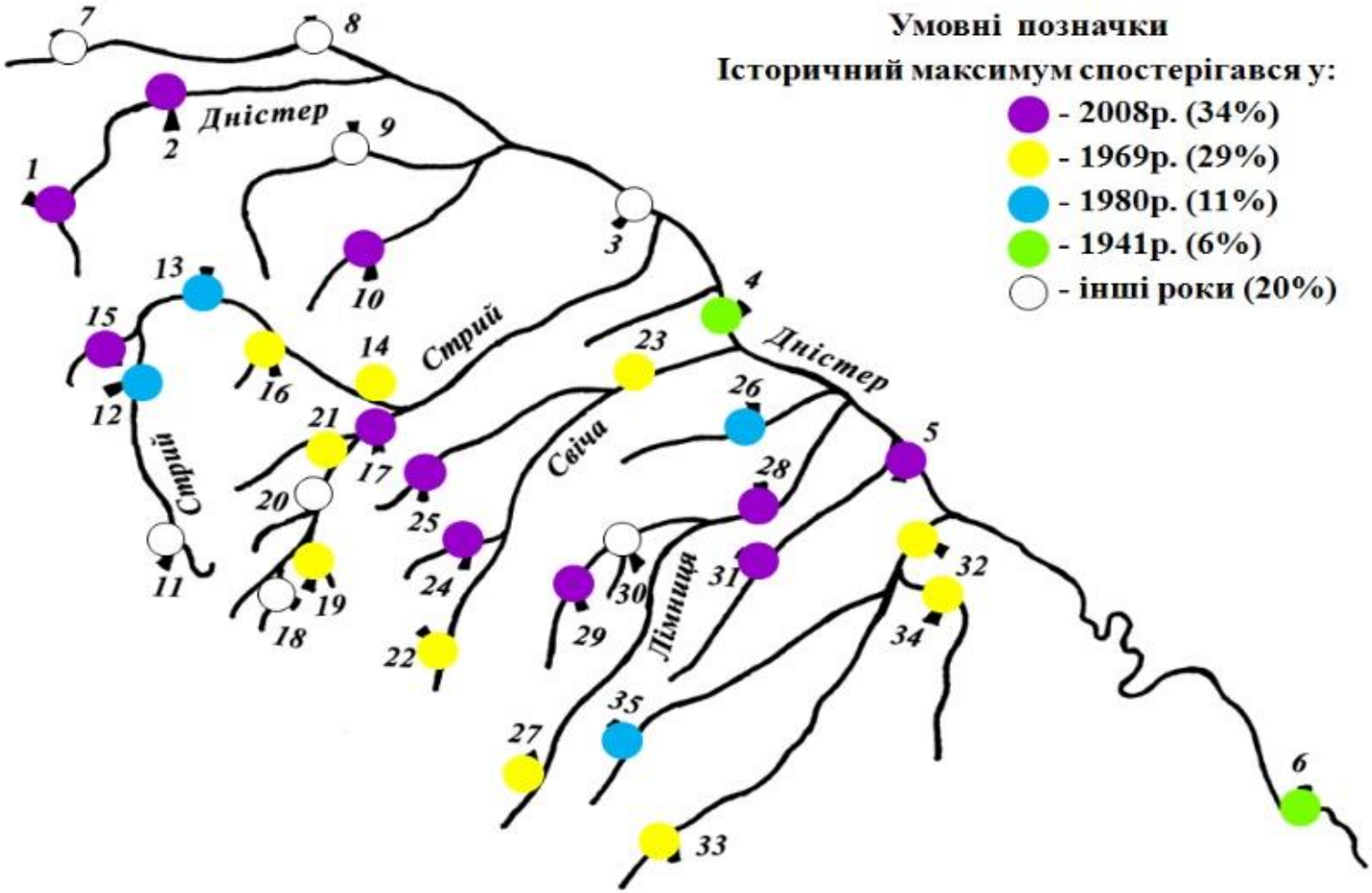


Рис. 4 – Карта-схема розподілу спостережених максимумів* по роках і кількості постів (у дужках, у %) на річках Передкарпаття

*** Найбільші паводки на території Передкарпаття спостерігалися у 1164, 1230, 1649, 1668, 1700, 1785, 1814, 1841, 1850, 1864, 1877, 1932, 1947, 1955, 1967, 1969, 1998, 2008 роках**

Наслідки паводку 2008 року

Наслідки паводку 2008 року

Наслідки паводку 2008 року

Сучасний стан нормативно-методичної бази в галузі розрахунку максимальних витрат води на річках України

Усі формули максимального стоку можна поділити на дві групи:

1. Основані на схематизації схилового та руслового (або лише руслового) гідрографів. До них відносяться формули:

а) редукційні (в тому числі й емпіричні);

б) об'ємні.

2. Ті, що спираються на теорію руслових ізохрон, до яких відносяться:

а) так звані «генетичні» формули;

б) формули граничної інтенсивності.

В якості вихідної моделі гідрографи схилового і руслового стоку описуються рівняннями редукційного типу:

- схиловий стік

$$q'_t = q'_m \left[1 - \left(\frac{t}{T_0} \right)^n \right]; \quad (1)$$

- русловий стік

$$q_t = q_m \left[1 - \left(\frac{t}{T_n} \right)^{m_1} \right], \quad (2)$$

де q'_t, q_t - ординати редукційних гідрографів схилового припливу і руслового стоку;

q'_m, q_m - їх максимальні значення;

T_0 і T_n - тривалість схилового і руслового стоку.

Виходячи з (1) і (2),

$$q_m = \frac{k_0 y_m}{1 + t_p / T_0} k_m k_n, \quad (3)$$

де k_0 - коефіцієнт схилової трансформації, що дорівнює:

$$k_0 = \frac{n+1}{n} \frac{1}{T_0}; \quad (4)$$

k_m і k_n - редукційні коефіцієнти, обумовлені русло-заплавним регулюванням, причому

$$k_m = \frac{m+1}{m} \Big/ \frac{n+1}{n}, \quad (5)$$

а

$$k_n = \frac{T_0 + t_p}{T_n}. \quad (6)$$

- **1.** Якщо можливо у межах того чи іншого річкового басейну або якоїсь території осереднити тривалість схилового припливу T_0, то максимальний модуль q_m дорівнює

$$q_m = \frac{k_0 Y_m}{(F+1)^{n_1}}, \tag{7}$$

де k_0 - коефіцієнт дружності; Y_m - максимальний шар стоку, мм.

- **2.** При осередненні по території не лише T_0, але й шару стоку Y_m, чисельник (7) буде представляти собою добуток двох осереднених у просторі величин, які чисельно дорівнюють максимальному модулю схилового стоку q'_m, а

$$q_m = \frac{q'_m}{(F+1)^{n_1}}. \tag{8}$$

Розрахунковий варіант (8), використаний у СНиП 2.01.14-83, має вигляд

$$q_p = q_{200}\left(\frac{200}{F}\right)^{n_1} \delta\delta_2\lambda_p, \tag{9}$$

де q_{200} - модуль максимальної миттєвої витрати води забезпеченістю $P = 1\%$ віднесений до площі $F = 200$ км^2; λ_p - коефіцієнт забезпеченості.

- **3.** Якщо неможливо по території осереднити T_0, то структури, які будуються на геометричних моделях схилового і руслового гідрографів повинні прийматися у вигляді

$$q_m = \frac{m+1}{m}\frac{Y_m}{T_n}. \tag{10}$$

Серед моделей, заснованих на теорії руслових ізохрон, найбільше поширення в країні отримала теоретична схема А.М. Бефані (1958, 1961), згідно якої розрахункове рівняння має вигляд

$$q_m = \frac{Y_m}{t_p} \varphi k_\Gamma \varepsilon'_n \quad , \tag{11}$$

де t_p - тривалість руслового добігання; ε'_n - коефіцієнт русло-заплавного регулювання максимального стоку; k_Γ - гідрографічні коефіцієнти, причому:

а) при $t_p / T_0 < 1{,}0$

$$k_\Gamma = \left(\int_0^{t_p} q'_t B_t dt \right) \Big/ \left(B_{cp} \int_0^{t_p} q'_t dt \right); \tag{12}$$

б) при $t_p / T_0 \geq 1{,}0$

$$k_\Gamma = \left(\int_0^{T_0} q'_t B_t dt \right) \Big/ \left(B_{cp} \int_0^{T_0} q'_t dt \right); \tag{13}$$

B_t - ширина водозборів по ізохронах руслового добігання; φ - коефіцієнт повноти схилового припливу:

а) при $t_p / T_0 < 1{,}0$

$$\varphi = \left(\int_0^{t_p} q'_t dt \right) \Big/ \left(\int_0^{T_0} q'_t dt \right); \tag{14}$$

б) при $t_p / T_0 \geq 1{,}0$

$$\varphi = 1{,}0. \tag{15}$$

Нормативний документ СНиП 2.01.14-83

Розрахунки максимальних витрат води дощових паводків, відповідно до СНиП 2.01.14-83, визначаються в залежності від розмірів водозборів:

- при площах водозборів $F < 200$ км^2 – за формулою граничної інтенсивності

$$q_p = A_{1\%} H_{1\%} \eta \delta \lambda_p \,, \qquad (16)$$

де q_p - максимальний модуль стоку забезпеченістю $P\%$, м^3/ (с·км^2) ;

$A_{1\%} = 16{,}67\overline{\psi}(\tau)$ - максимальний модуль стоку забезпеченістю $P = 1\%$, м^3/ (с·км^2);

$H_{1\%}$- добовий максимум опадів (в мм) забезпеченістю $P = 1\%$;

η - збірний коефіцієнт стоку;

δ - редукційний коефіцієнт для врахування впливу водойм проточного типу;

λ_p- коефіцієнт для переходу від забезпеченості $P = 1\%$ до інших;

- в діапазоні водозбірних площ $F > 200$ км^2 – за одним з варіантів редукційної формули, а саме (9)

$$q_p = q_{200} \left(\frac{200}{F} \right)^{n_1} \delta \delta_2 \lambda_p \,.$$

Згідно рекомендацій П.Ф. Вишневського (1964), структура розрахункової формули максимального стоку дощових паводків має вигляд:

$$Q_m = 1{,}67 F h_m \varphi_1 n r r_1 k_1 \lambda \ , \qquad (17)$$

де F - площа водозборів у км^2;

h_m - максимальна зливова водовіддача (у мм) за розрахунковий інтервал часу 10 хв;

φ_1 - коефіцієнт редукції.

Усі інші параметри (n, r, r_1, λ) є поправочними коефіцієнтами, які вводяться тоді, коли водозбори залісені, заболочені, зарегульовані ставками, водосховищами і широкими заплавами, а також коли потрібно визначити витрати води різної забезпеченості.

У випадку розрахунків максимальної витрати води з відносно великих водозборів (при $F = 500$ км^2), які повністю не зрошуються дощовою хмарою та де водовіддача здійснюється не усією площею водозборів, вводиться коефіцієнт k_1, який враховує цей вплив.

При розрахунках шарів стоку та витрат води різної ймовірності перевищення приймаються індивідуальні оцінки C_v та нормоване значення $C_s/C_v = 3{,}0$ (для Q_m) і $C_s/C_v = 4{,}0$ (для Y_m). Розрахунок максимальних витрат води різної забезпеченості Q_p здійснювався з використанням кривої трипараметричного гама-розподілу.

<u>При узагальнені шарів стоку</u> $Y_{1\%}$ по території впливу широтного положення водозборів та місцевих чинників (залісеності та заболоченості) не виявлено.

Тому для розрахункових шарів стоку $Y_{1\%}$ на регіональному рівні рекомендується формула

$$Y_{1\%} = 195 + 0{,}15(H_{cp} - 800)\ , \qquad (18)$$

де H_{cp} - середня висота водозборів, м.

<u>Середньоквадратична похибка вихідної інформації по максимальному стоку</u> <u>становить</u>: 17,9% - для витрат води , та 18,7% - для шарів стоку .

Для розрахунку максимального стоку річок Передкарпаття пропонується застосувати формулу, засновану на моделі руслових ізохрон, використовуючи рівняння, запропоновані проф. Е.Д. Гопченком:

а) при $t_p < T_0$

$$Q_m = V \int_0^{t_p} q'_t \, B_t \varepsilon_t dt \; ; \qquad (19)$$

б) при $t_p \geq T_0$

$$Q_m = V \int_0^{T_0} q'_t \, B_t \varepsilon_t dt \; . \qquad (20)$$

Після інтегрування (19) та (20), а потім поділивши Q_m на F, отримаємо розрахунковий вираз відносно максимального модуля паводків та водопіль.

Базова структура має вигляд

$$q_p = q'_{1\%}\,\psi(t_p/T_0)\,\varepsilon_F\, r\,\lambda_p, \qquad (21)$$

де q_p - максимальний модуль руслового стоку забезпеченістю *P%*, м^3/с·км^2;

$q'_{1\%}$ - максимальний модуль схилового припливу (м^3/с·км^2) опорної забезпеченості *P=1%*

$$q'_{1\%} = 0{,}28\,\frac{n+1}{n}\,\frac{1}{T_0}\,Y_{1\%}\ ; \qquad (22)$$

$\frac{n+1}{n}$ - коефіцієнт часової нерівномірності схилового припливу;

T_0 - тривалість схилового припливу, год.;

$Y_{1\%}$ - шар стоку дощових паводків забезпеченістю *P=1%*, мм;

$\psi(t_p/T_0)$ - трансформаційна функція, яка обумовлена часом руслового добігання t_p;

ε_F - коефіцієнт русло-заплавного регулювання;

r - коефіцієнт зарегулювання максимального стоку озерами і водосховищами проточного типу;

λ_p - коефіцієнт забезпеченості.

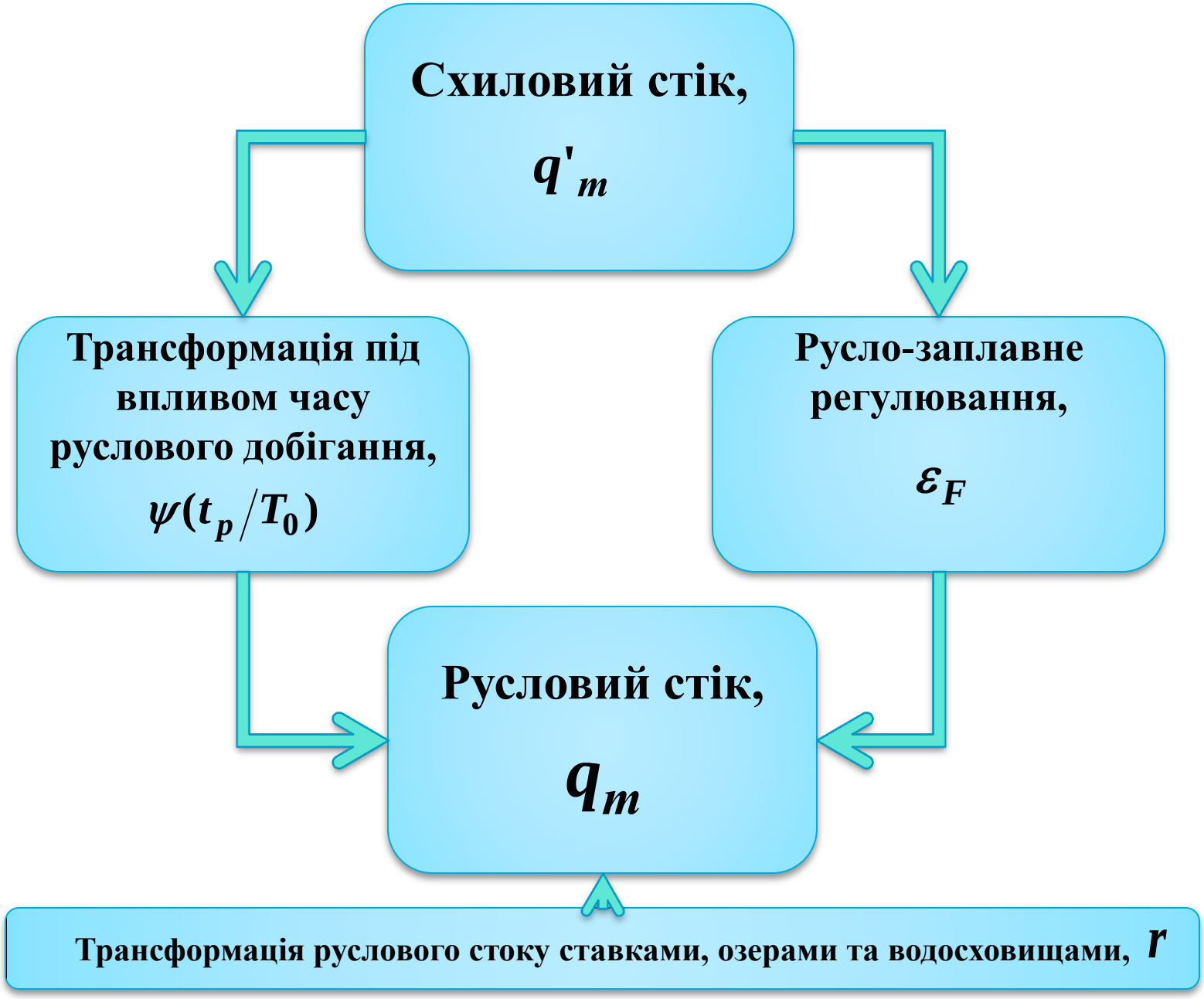


Рис. 5 – Принципова схема трансформації схилового стоку у русловий

Характеристики схилового припливу, q'_m

коефіцієнт часової нерівномірності схилового припливу, $\frac{n+1}{n} = \left(\frac{m+1}{m}\right)_{F \to 0}$

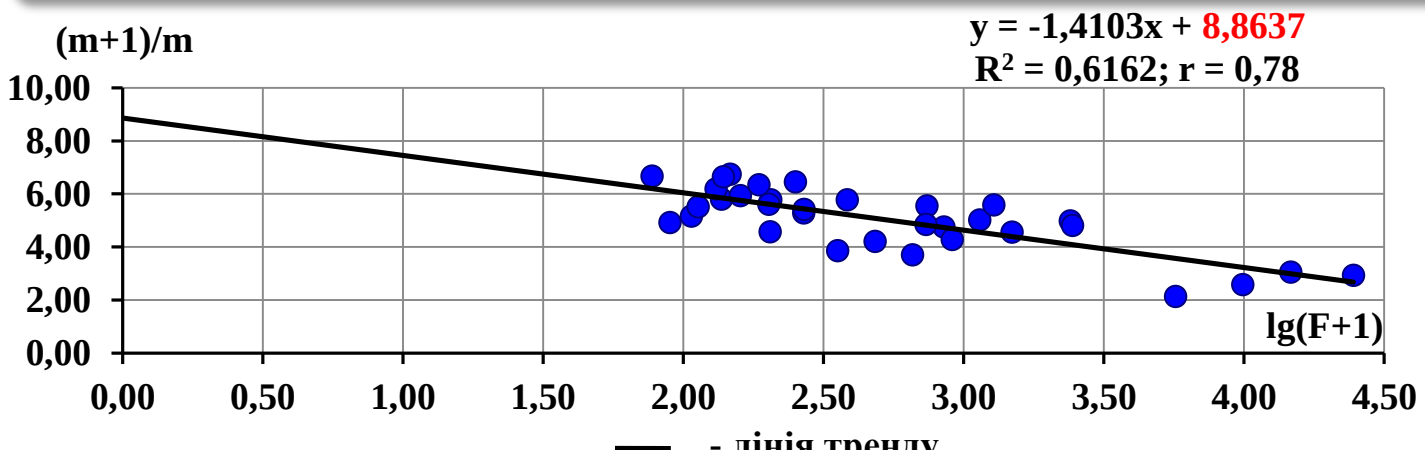
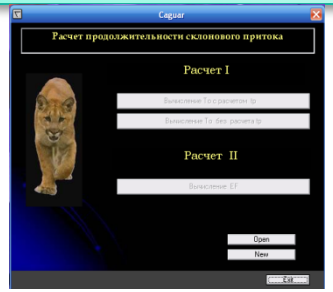


Рис. 6 - Залежність коефіцієнта часової нерівномірності руслового стоку дощових паводків від площі водозборів (басейни річок Передкарпаття)

Для річок Передкарпаття слід прийняти: $\frac{n+1}{n} = 8{,}86$ **, а** $n = 0{,}13$ **.**

тривалість схилового припливу, T_0



Вхідні данні для розрахунків за програмою “Caguar_T_0”:

- F - площа водозборів (км²),
- L - довжина річок (км),
- I - середньозважений уклон ($^0/_{00}$)

При нормуванні характеристик максимального стоку дощових паводків річок Передкарпаття $T_0 = 66$ *год.*

Трансформація паводків під впливом часу руслового добігання $\psi(t_p/T_0)$

Ступінь трансформації визначається:

- а) при $t_p/T_0 = 0$ → $\psi(t_p/T_0) = 1{,}0$; (23)
- б) при $0 < t_p/T_0 < 1{,}0$ → $\psi(t_p/T_0) = 1 - 0{,}83\left(\frac{t_p}{66}\right)^{0{,}13}$; (24)
- в) при $t_p \geq T_0$ → $\psi(t_p/T_0) = \frac{7{,}59}{t_p}\left(2 - \frac{35}{t_p}\right)$; (25)
- г) при $t_p \rangle\rangle T_0$ → $\psi(t_p/T_0) = 0$. (26)

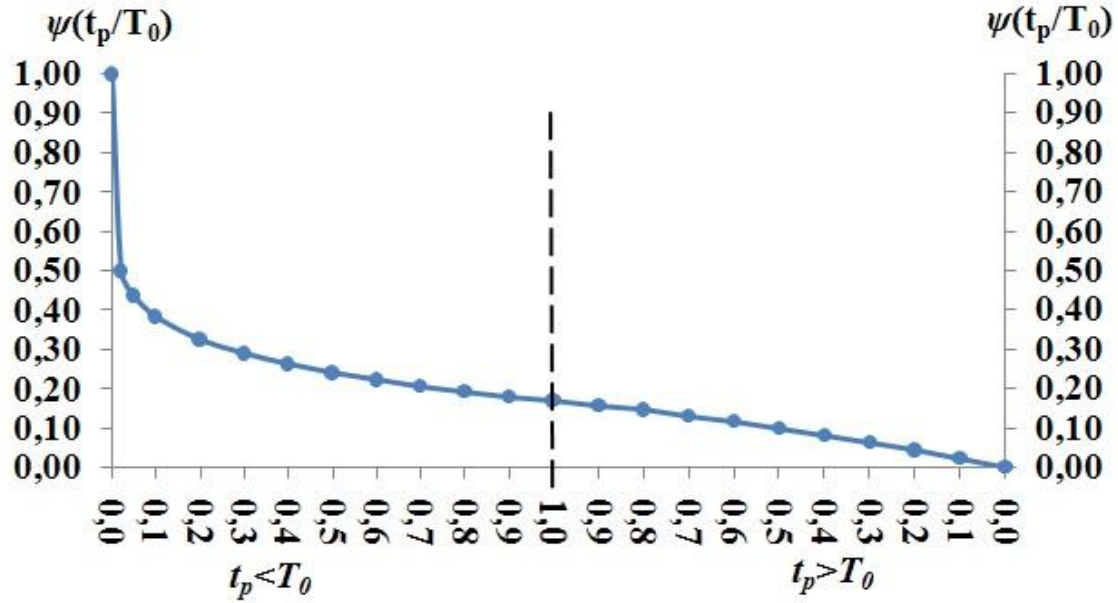


Рис. 7 – Трансформаційна функція у межах Передкарпаття

Русло-заплавне регулювання,

$$q_p = q'_{1\%}\,\psi(t_p/T_0)\,\varepsilon_F\, r \;\Rightarrow\; \varepsilon_F = \frac{q_{1\%}/q'_{1\%}}{\psi(t_p/T_0)} \qquad (27)$$

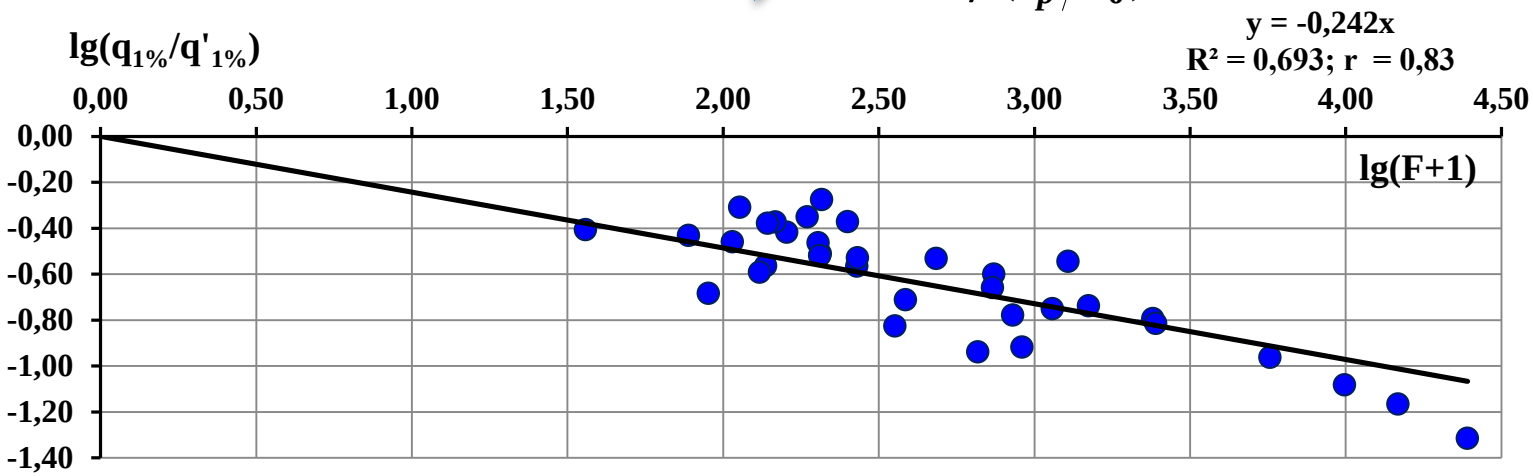


Рис. 8 – Залежність коефіцієнтів загальної редукції від площі водозборів (у межах Передкарпаття)

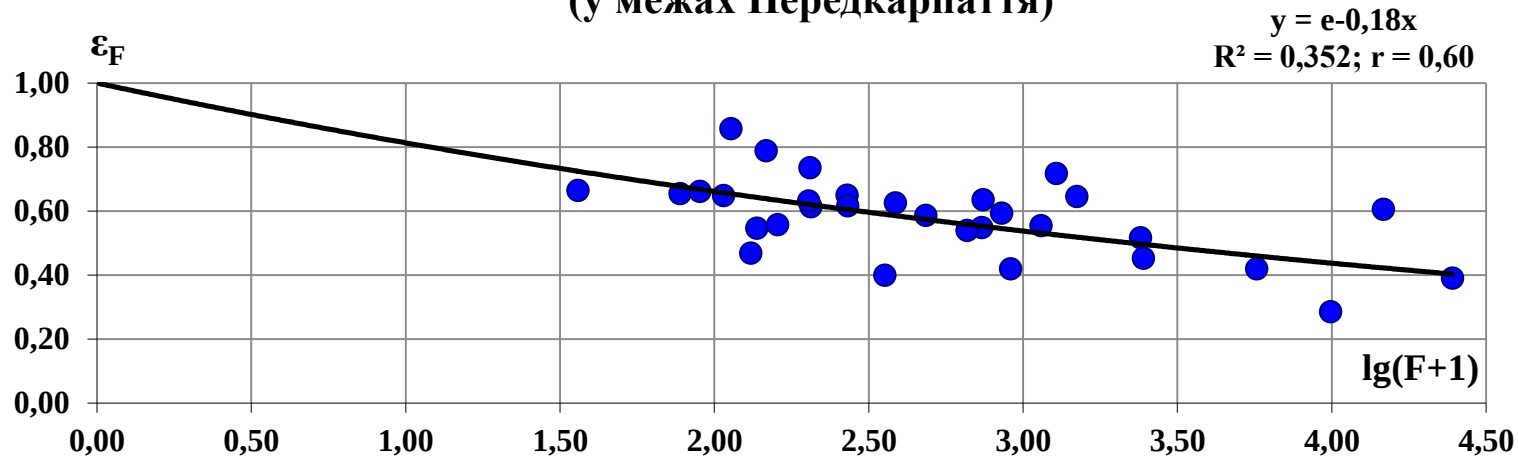


Рис. 9 – Залежність коефіцієнтів русло-заплавного регулювання (у межах Передкарпаття)

$$\varepsilon_F = \exp\left[-0{,}18 \cdot \lg(F+1)\right] \qquad (28)$$

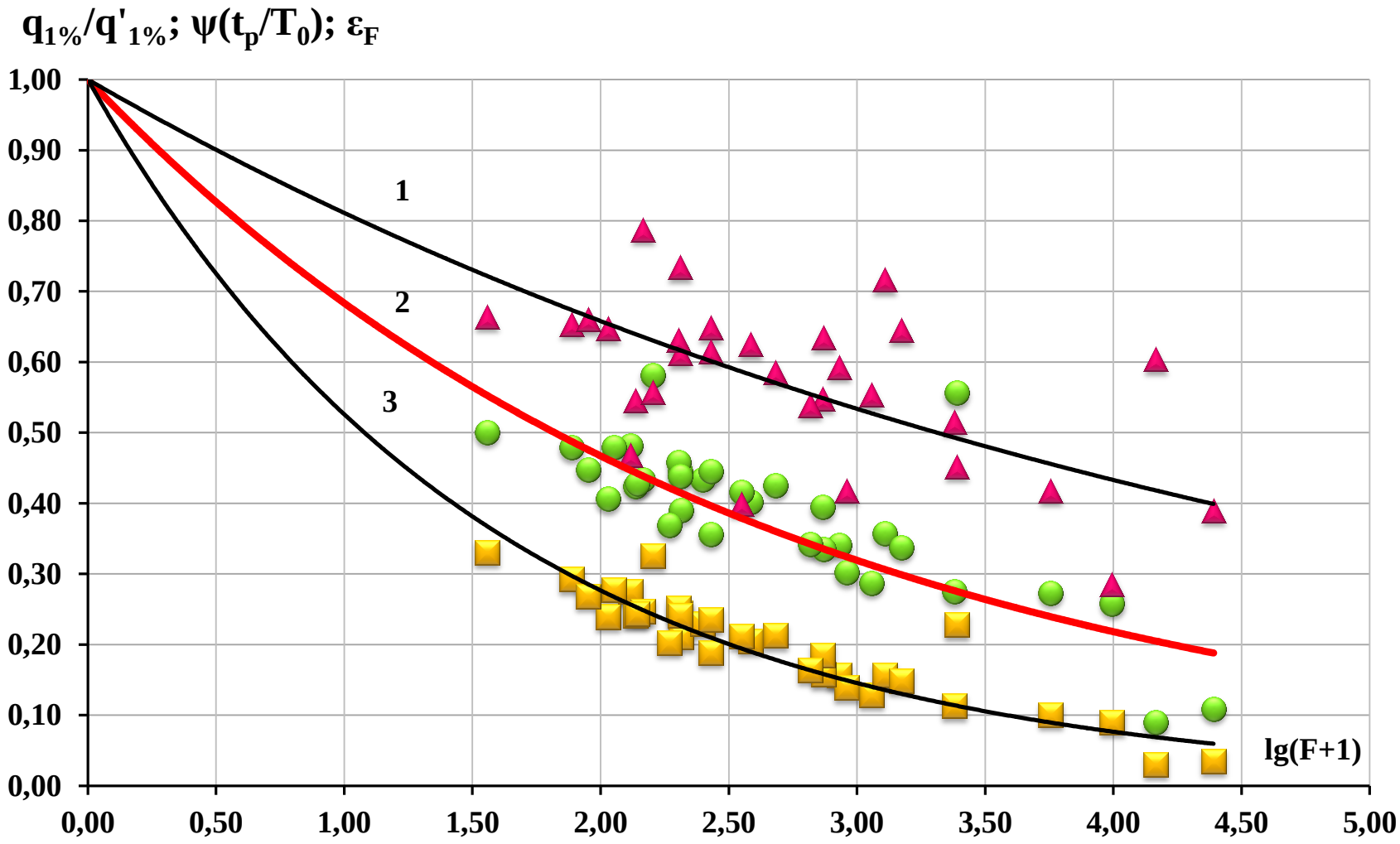


Рис. 10 – Трансформаційні функції максимального стоку дощових паводків у межах річок Передкарпаття:

1 - $\psi(t_p/T_0)$; 2 - ε_F ; 3 - $q_{1\%}/q'_{1\%}$

Перевірочні розрахунки

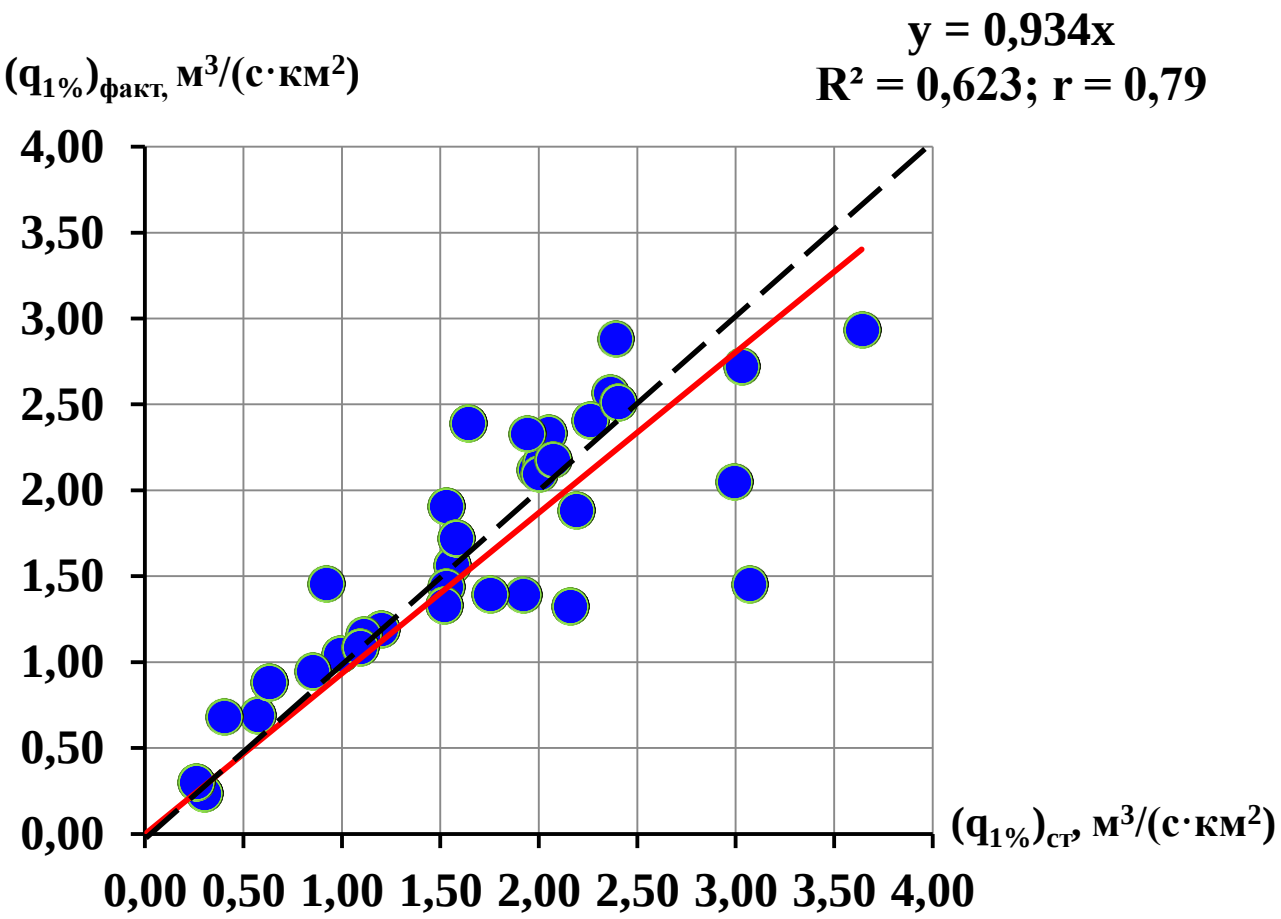


Рис. 11 – Результати перевірочних розрахунків запропонованої методики

Висновки

1. Для річок Передкарпаття більш значними за величиною є дощові паводки, ніж весняне водопілля (при діапазоні площ водозборів від 35,1 до 24600 км^2).
2. Паводок 2008 року у Передкарпатті не по всій території перевищив історичний максимум.
3. Існуючі науково-методичні рекомендації з розрахунку характеристик дощових паводків не відповідають сучасному рівню розвитку гідрології. Головний недолік полягає у відсутності можливості врахування в окремих категоріях чинників схилової і руслової трансформації.
4. Нормування характеристик максимального стоку здійснюється на основі формул, одержаних, виходячи з моделі руслових ізохрон.
5. Шари стоку дощових паводків $Y_{1\%}$ узагальнені по території у вигляді регіонального рівняння, в залежності від висотного положення водозборів.
6. Базовий параметр розрахункової схеми - максимальний модуль схилового припливу - змінюється по території від 4,61 до 9,40 м^3/(с·км^2) і обумовлений головним чином шарами паводкового стоку.
7. Коефіцієнт часової нерівномірності схилового припливу дорівнює *8,86*, а *n=0,13*. Тривалість схилового припливу визначена за допомогою чисельного методу і осереднена по регіону (T_0 = *66 год.*).
8. Точність запропонованої методики знаходиться на рівні 18,9% (при точності вихідної інформації по максимальному стоку 17,9%).

ОДЕКУ

Дякую за увагу!