

УДК 556.01:556.51/54

КІНДЮК Б.В.

ДОСЛІДЖЕННЯ МОРФОМЕТРИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК РІЧКОВИХ БАСЕЙНІВ ЗАКАРПАТТЯ

Необхідність подібної розробки пов'язана з тією обставиною, що при виконанні математичного моделювання річковий басейн поділяється на частини. Звичайно це квадрати, кола, в деяких випадках трикутники. Зрозуміло, що ці геометричні фігури мають мало спільного з реальною формою річкового басейну. Дослідивши залежність між формою басейну та його довжиною, ми отримуємо можливість внести ці результати до структури математичної моделі. Це дозволить зблизити реальні процеси стокоутворення на водозборі з їх математичним представленням у моделі підстилаючої поверхні.

Дане дослідження відрізняється від аналогічних тим, що в ньому запропоновано кількісну оцінку форми річкового басейну й показано її зв'язок з коефіцієнтом площі, котрий відображає будову гідрографічної мережі.

У раніш опублікованих дослідженнях було побудовано рівняння зв'язку між площею водозбору та довжиною ріки, однак ці праці було виконано для рівнинних територій України [3]. Регіон Карпат лишався поза межами зору дослідників й дана праця покликана ліквідувати цей пробіл.

Дане дослідження є частиною більш загальної праці, присвяченої побудованню моделі формування дощового стоку, а саме, одному з її блоків, пов'язаному з урахуванням факторів підстилаючої поверхні.

Річкова мережа є продуктом складного фізико-географічного процесу, що відображує взаємодію кліматичних факторів та підстилаючої поверхні. Форма річкового басейну є відображенням ступеню розвитку гідрографічної мережі та місцевих особливостей рельєфу. Основними параметрами річкових водозборів є їх площа F та довжина L . Ці характеристики пов'язані між собою деяким співвідношенням [3, 4, 5], котре залежить від ландшафтних умов. Залежність між величинами F та L була встановлена численними авторами та звичайно представлена у вигляді рівняння:

$$F = a_1 L^{b_1},$$

(1)

де a_1 та b_1 – емпіричні параметри.

Дослідження, здійснені, виходячи з даних по 103 водозборам річок Закарпаття, засвідчили, що найбільш ймовірні величини цих параметрів $a_1 = 0,435$, та $b_1 = 1,83$. Коефіцієнт кореляції R_1 , що характеризує щільність зв'язку між аргументом та функцією, виявився дорівнюючим 0,82. Це дозволяє дати позитивну оцінку пропонованої функції й рекомендувати її для практичних обрахунків. Зазначимо, що для рік США Д. Грей [3] отримав близькі розрахунки, величина a_1 складала 0,55, а $b_1 = 1,76$. Настільки східні результати свідчать про спорідненість фізико-географічних процесів, що протікають при формуванні річкових долин. Закони, котрі визначають розвиток гідрографічної мережі, дозволяють встановити кількісні співвідношення між її частинами. Складна мережа водотоків лише на перший погляд здається хаотичною та безсистемною. Насправді ж річкова мережа є цілою системою взаємно супоряджених елементів. Першим на ці закономірності звернув увагу Р.Е. Хортон, котрий запропонував ряд формул, що пов'язують довжини потоків та їх кількість з ієрархічною будовою. В основі схеми Хортон лежить поняття «порядок водотоку P_i » [6]. Так, водоток першого рівня ієрархії P_1 – елементарний нерозгалужений потік. Другий рівень, P_2 , це результат злиття двох приток першого порядку, і

т.д.

Виходячи з цієї схеми, здійснено ідентифікацію понад 103 водозборів річок, розташованих на території Закарпатського регіону. Це надало змогу визначити рівень ієрархії кожного водотоку у вигляді конкретної кількісної величини, що дозволяє порівнювати різні за площею водотоки.

Наступним етапом дослідження став пошук залежності між площею водозбору та довжиною річки за їх порядками. Так, виявилось, що для кожного рівня ієрархії існує своя конкретна залежність між величинами F та L . Уявлення щодо динаміки цих характеристик надає таблиця 1, в котрій подано значення емпіричних коефіцієнтів a_1 та b_1 , що входять до структури формули (1).

Таблиця 1

Основні параметри рівняння (1) в залежності від порядку водотока

Параметр	Порядок водотока				
	2	3	4	5	6
a_1	0,918	1,908	1,912	23,55	23,85
b_1	1,374	1,307	1,294	0,962	0,929

Як свідчать дані розрахунків, з ростом порядку ріки спостерігається виразна тенденція збільшення коефіцієнту a_1 та зменшення параметру b_1 . Аналогічні результати отримали автори праці [3], де поділ водозборів здійснювався за величиною їх площі. Дані таблиці 1 дозволяють уточнити формулу (1) й більш детально пристосувати її до практичних задач. Коефіцієнти кореляції отриманих рівнянь змінюються від 0,83 у річок другого порядку, до 0,97 на водотоках шостого порядку.

Виходячи з супорядженості різних частин водозбору, в працях [1,6] запропоновано закон, пов'язуючий розміри басейнів рік суміжних порядків. Згідно йому, площі водотоків суміжних порядків F_k та F_{k-1} знаходяться між собою у співвідношенні:

$$(2) \quad \gamma_0 = \frac{F_k}{F_{k-1}},$$

де γ_0 – коефіцієнт площ водозборів. Практична реалізація цього закону означає, що величини γ_0 утворюють висхідну геометричну прогресію. Наприклад, у річки 5-го порядку Тересля до с. Буштино площі басейнів складають ряд $\Pi_1 = 283 \text{ км}^2$, $\Pi_2 = 379 \text{ км}^2$, $\Pi_3 = 485 \text{ км}^2$, $\Pi_4 = 619 \text{ км}^2$, та $\Pi_5 = 757 \text{ км}^2$. Неважко помітити, що усереднений знаменник цієї геометричної прогресії складає $\gamma_0 = 1,28$. Аналогічні ряди зібрано практично за всіма 103 водозборами Українських Карпат й вони показали стабільність значень γ_0 для території цього регіону. Найбільші величини $\gamma_0 = 1,51$ у річки Шопурки, найменші $\gamma_0 = 1,25$ на басейні р. Ріка.

Наявність цього закону дозволяє, виходячи з властивостей геометричної прогресії, здійснити розрахунок площі водозбору притоки довільного порядку k за формулою:

$$(3) \quad F_k = F_1 \gamma_0^{k-1},$$

де F_1 – середня площа водозбору річок першого порядку.

Для умов Закарпаття ця величина коливається в межах від 85 км² у р. Шопурка до 650 км² на водозборі ріки Уж.

Отримані закономірності можна оформити графічно. На малюнку 1 показано залежність, що відображує зростання площ водозбору від порядку річки Пі. Виявилось, що у одних річок вона вища, як, наприклад, у р.Ріки, - п. Бистрий, а у інших вона може мати відмінні значення.

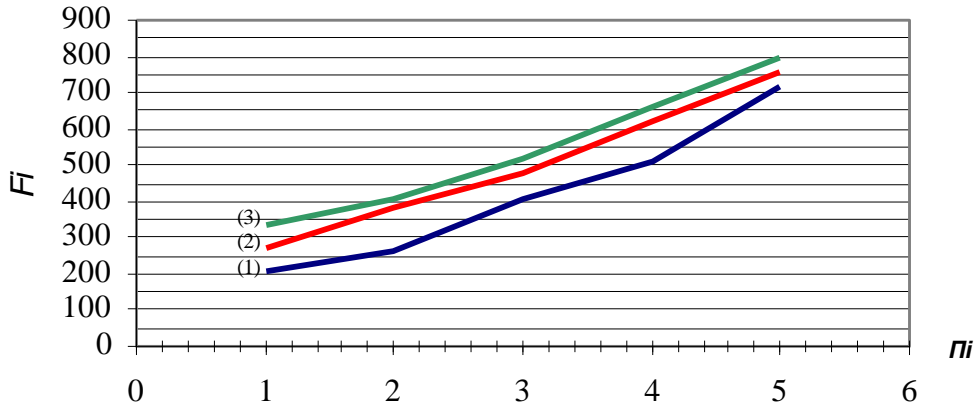


Рис.1. Залежність площ водозборів від порядку водотока Пі:

Тересва – с. Дубове (1), Тересля – с.Буштино (2), Ріка – с.Нижній Бистрий (3).

Графік річки Тересва – с.Дубове розташований в нижній частині малюнку 1, а посередині розташована лінія, що відповідає даним щодо площ у р.Тересля – до с. Буштино. Подібні залежності було побудовано численними авторами [3, 4], однак їм не вдалося переконливо пояснити причину такого розташування ліній на відповідних графіках.

Як виявилось в ході більш поглиблених досліджень, динаміка коефіцієнтів γ_0 залежить від конфігурації або форми річкового басейну. Той факт, що геометрія водозбору відіграє визначену роль у процесах формування стоку, відомий дуже давно [3, 4, 5]. Однак, рекомендацій стосовно урахування особливостей форми річкових басейнів існує небагато [2, 5]. Одним з таких варіантів репрезентації особливостей конфігурації басейну є крива зростання площ по довжині ріки, в основі котрої лежить графік поодиноких ширин. Цей метод, запропонований у середині минулого століття А.В. Огієвським [4], отримав другу назву ідограми водозбору. Сутність цього способу розглянемо на практичному прикладі її побудування для ріки Тересва до с.Дубове.

Приклад побудування ідограми. Гідрографічна мережа річки Тересви до с.Дубове складається з восьми часткових водозборів. Загальна площа цього басейну 757 км², довжина 55 км. У таблиці 2 наведено їх основні характеристики: відстань від гирла, X км, довжини, li , площі водозборів, fi . Найбільш значними притоками є Мокранка, Брустуранка, Красна. Решта п'ять приток впадають у цю річку на різній відстані від гирла, три з них відомі – Дубовець, а два водотоки не мають назви (табл.2).

Таблиця 2
Площі та довжини приток р.Тересви до с.Дубове $F=757$ км², $L= 55$ км

№	Частковий водозбір	Відстань від гирла, X км ²	Довжина річки, li км	Площа часткового водозбору, fi	Ширина часткового водозбору, $b = fi / li$ км

1	Мокранка – гирло	17	31	231	7,25
2	Брустуранка – гирло	16,8	32	340	10,6
3	Усть-Чорна – гирло	15,6	4	3	0,75
4	Озеренка – гирло	14	8	15	1,87
5	Без назви	10	9	18	2
6	Без назви	8,5	8	18	2,25
7	Красна – гирло	7,5	13	50,7	3,9
8	Дубовець	0,5	8	8,7	1,09
	$\Sigma f_{пр}$			684,4	

На першому етапі довжину основної річки відкладаємо на осі абсцис. Потім на цій же осі зазначаємо точки впадіння приток у тій же послідовності, як це має місце за її гідрографічною схемою й відкладаємо їх довжини li . Далі, виходячи з розмірів площ та їх довжин, обраховуємо ширини часткових водозборів $bi = fi / li$ (табл.2).

Маючи в розпорядженні значення bi , їх відкладаємо по вертикальній осі. Спершу відкладаємо безпритоківі ділянки, а потім ширини басейнів річкової системи. В результаті такого побудування отримуємо ідограму басейна, котра після складання часткових bi по висоті, перебудовується на графік поодиноких ширин $bi = f(L)$, як показано на малюнку (2). Для побудування інтегральної кривої зростання площі басейну по довжині, достатньо перемножити поточні ординати графіку bi на значення довжин, враховуючи, що здобуток, $bi * li$, є значенням часткової площі басейну. Складаючи ці величини, можна отримати криву зростання площі басейну по довжині річки (мал.3).

Маючи в розпорядженні криву площ, неважко виконати переобрахунок її значень на відносні величини. Для цього, задавшись загальною величиною $F_{заг}$, перераховують кожен з ординат цього графіка в % або частки одиниці від неї. В нашому конкретному прикладі функція величин площ для р.Тересва до с. Дубове $F = f(L)$ представляє собою увігнуту лінію відносно осі абсцис.

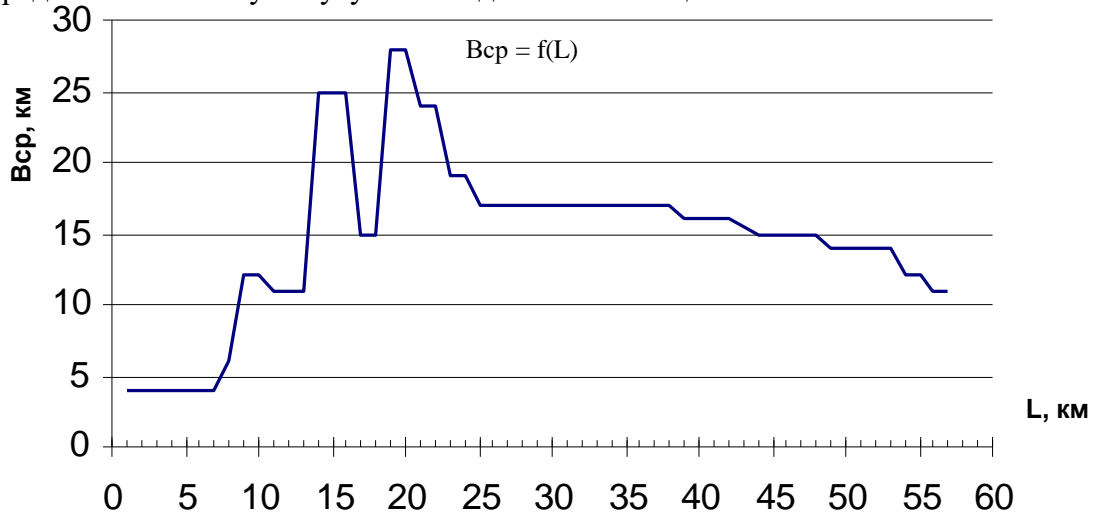


Рис. 2. Залежність середньої ширини басейну від його довжини (від гирла, км).

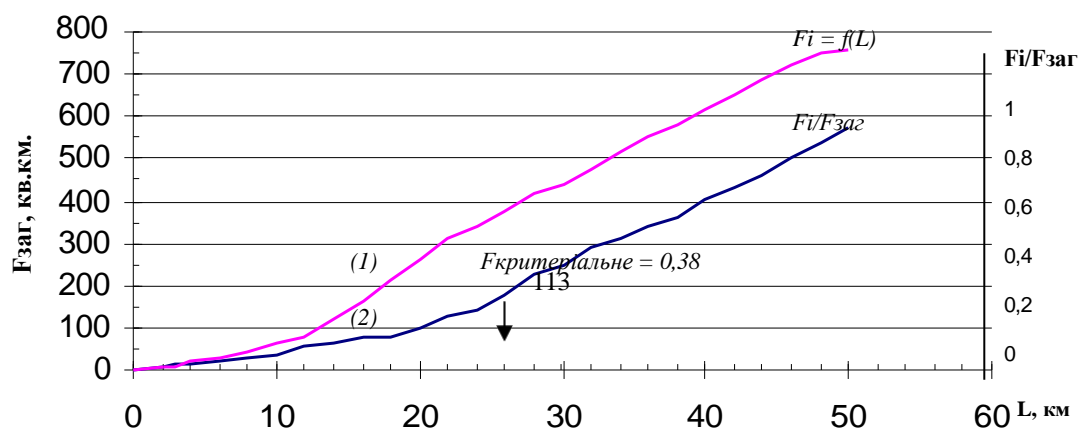


Рис.3. Ріка Тересва – с. Дубове

- (1) – залежність зростання площ водозбору по його довжині від гирла до витoku,
 (2) – залежність відносних значень площ та басейну від загальної площі по довжині.

Така робота виконана практично по всім 103 водозборам річок Закарпатського регіону. Отримані криві свідчать про значне розмаїття форм. Так, для овальних басейнів графіки $f(L)$ представляють собою рівномірно висхідні функції. У грушовидних басейнів їх форма може бути випуклою або увігнутою в залежності від того, де знаходиться найбільш широка його частина. Оперуючи абсолютними величинами, складно виявити будь-які загальні закономірності, з тієї причини, що водозбори відрізняються за розмірами своєї площі. Так, у досліджуваному районі величини площ водозборів змінюються від 25 до 2000 км². Для того, щоб здійснити їх порівняння, застосовано метод, запропонований у праці [2]. Суть його полягає в тому, що поточні ординати графіків $F(L)$ виражено у відносних величинах, тобто у відсотках від величини загальної площі басейну, тоді на одному графіку можна представити криві зростання площ різних за своїми розмірами річок.

Аналіз зібраних процентних графіків надав змогу більш точно виявити особливості їх форм. З метою отримання конкретної кількісної характеристики, що відображує особливості їх будови, було використано поняття критеріальної площі басейну $F_{кр}$. Під цією величиною розуміють площу за інтегральною кривою, що відповідає середині її довжини або $0,5 L$. Іншими словами, задавши значення поточної абсциси $L_i = 0,5 L_{заг.}$, ми знімаємо з осі ординат відповідне їй значення площі F_i , котре приймаємо як критеріальне, $F_{кр}$. Поділивши $F_{кр}$, в км² на загальну площу річкового басейну, можна визначити цю характеристику у відносних величинах.

Фізичний зміст цього поняття полягає в наступному. Численні дослідники зазначають, що крива $F(L)$ може бути випуклою, увігнутою або рівномірно зростаючою. Діапазон довжини ріки, на котрій має місце таке розширення чи звуження, як правило, відповідає величині $(0,2 - 0,8) L_{заг.}$ Виходячи з цієї особливості, І.А. Железняк [2] запропонував використовувати середину довжини ріки у якості параметра, відносно котрого перебігають характерні зміни площі басейну.

При заданій величині $L_i = 0,5 L_{заг.}$, та наявності графіків зростання площ, виражених у відсотках, виявилось можливим визначити критеріальні площі у практично всіх річок досліджуваного регіону. В таблиці 3 наведено дані по трьом річкам з найбільш характерними формами, розташованим у різних частинах регіона. Дані зкомпоновано у групу з приблизно однаковою площею басейнів та з виразно відзначними величинами критеріальних площ.

Таблиця 3

Основні гідрографічні характеристики, розміри площ водозбору по порядкам річок

<i>№</i>	<i>Ріка - пункт</i>	<i>Площа</i>	<i>Критері-</i>	<i>Коефіціє</i>	<i>Порядок водотоку</i>
----------	---------------------	--------------	-----------------	-----------------	-------------------------

		водозбор- ру F , км ²	альна пло- ща, $F_{кр}$	нт площ, γ_0	1	2	3	4	5
1	Тересва – с. Дубове	757	0,38	1,4	212	255	463	508	757
2	Теребля – с. Буштино	756	0,45	1,28	283	379	485	619	756
3	Ріка – с. Нижній Би- стрий	781	0,62	1,25	303	385	498	658	781

Аналіз зібраного матеріалу дозволяє дійти висновку щодо наявності зв'язку між розміром критеріальної площі та величинами водозбірних площ, обрахованими за порядками річок.

Так, виявилось, що у водозборів з більшим значенням $F_{кр}$ графіки залежності площ від порядку ріки займають верхнє положення. Наприклад, р.Ріка – с. Нижній Бистрий при $F_{кр} = 0,62$ й на малюнку (1) ця лінія розташована вище за інші. У випадку, коли критеріальна площа менша, як у р.Теребля – с. Буштино $F_{кр} = 0,45$, то її графік $F = f(Pi)$ розташований нижче. На р. Тересва – с. Дубове спостерігається достатньо увігнутий графік зростання водозбірної площі, що знаходить своє відображення у величині $F_{кр} = 0,38$. У цьому випадку крива $F = f(Pi)$ цього водозбору займає найнижче положення.

Таким чином, можна вважати за доведений факт впливу форми водозбору на структуру гідрографічної мережі басейну.

Результатом даного дослідження є наступне: 1) встановлення кількісної залежності між площею водозбору та довжиною ріки; 2) побудування розрахункових формул, що пов'язують величини F та L по порядкам річок; 3) запропоновано кількісну оцінку форми водозбору у вигляді параметру – критеріальної площі й встановлено його зв'язок зі структурою гідрографічної мережі.

Практичним результатом праці є можливість обрахунку площі водозбору або його частин, маючи в розпорядженні рівняння зв'язку $F = f(L)$ для різних порядків річок по даній довжині водотоку.

Завдання подальших досліджень полягає у введенні параметру форми водозбору, у вигляді критеріальної площі, як уточнення блоку моделі, що описує процес формування паводкового стоку з малих гірських басейнів Українських Карпат. Наступною задачею є пошук залежності між критеріальною площею та басейновим коефіцієнтом γ_0 .

1. Гарцман И.Н. Топология речных систем и гидрографические индикационные исследования. – «Водные ресурсы», 1973, №3 С.109 – 123; 2. Киндюк Б.В. К расчету гидрографов дождевых паводков на малых реках Украинских Карпат. – Труды УкрНИИ Госкомгидромета, 1986, вып. 215, С. 78 – 85; 3. Нежиховский Р.А. Руслвая сеть бассейна и процесс формирования стока воды. Л., Гидрометеониздат. 1971; 4. Огиевский А.В. Основные закономерности в процессах стока на речных бассейнах. Гидрометеониздат. Л., 1945; 5. Панов Б.П. Количественная характеристика речной сети. – Тр. ГГИ, 1948, вып.4 (58). С. 122 – 149; 6. Хортон Р.Е. Эрозионное развитие рек и водосборных бассейнов. – М. Издательство иностранной литературы, 1948.

The article is seeking the peculiarities of Zakarpattya region rivers' basins structure. It is proved the relationship between basin shape and hydrographic network's structure peculiarities, some quantitative proportions reciprocating the subwatershed area and river length being obtained.