

РУСЛОВА МЕРЕЖА І ХАРАКТЕРИСТИКИ ПАВОДКОВОГО СТОКУ РІЧОК ПІВДНЯ ЗАКАРПАТТЯ

© Кіндюк Б.В., 2003

Рассмотрены особенности строения гидрографической сети рек Закарпатской области: Тиса, Шопурка, Тересва, Теребля. Определены значения основных параметров топологической модели: коэффициентов бифуркации, длин, площадей, уклонов и расходов. Построены графики зависимости средних уклонов, средних максимальных расходов ливневых паводков от порядка реки.

In article features of a structure of a hydrographic network of the rivers of the Zakarpattye area are considered: Tisa, Shopyrka, Teresva, Tereblya. Values of key parameters of topological model are determined: factors of bifurcation, lengths, the areas, inclination and charges. Diagrams of dependence of average inclination, average maximal charges of storm high waters from the order of the river are constructed.

Постановка проблеми і її зв'язок з важливими науковими завданнями

Вивчення особливостей будови річкового долу є одним із найважливіших розділів картографічної науки. У складній і на перший погляд хаотичній системі водотоків закодована найважливіша інформація про геолого-тектонічні, геоморфологічні, гідрометеорологічні і гіdraulічні чинники стоку. Проте зовнішня безсистемність річкової мережі є оманною, насправді всі елементи гідрографічної мережі є взаємозалежними і знаходяться між собою у визначених співвідношеннях. Недооблік особливостей будови річкового долу часто призводить до важких наслідків. Так, у листопаді 1998 р. у Закарпатті пройшов катастрофічний зливовий паводок, що завдав збитку регіону на сотні мільйонів гривень. Передусім постраждали ті народногосподарські об'єкти, що були розміщені без урахування рекомендацій спеціалістів: геодезистів, картографів, гідрологів, геоморфологів. Більшість зруйнованих паводком будинків і споруджень знаходилися в зонах ймовірного підтоплення, у заплавах річок, на прируслових терасах.

При створенні математичної моделі формування і трансформації дощових паводків необхідне створення підсистеми характеристик, що описує обрису і структуру гідрографічної мережі річкового басейну.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Теоретичною базою, що лежить в основі досліджень будови річкового долу, є чотири закони, відкриті в 30-х роках американським ученим Р. Хортоном [6]. Пізніше нові доповнення до цієї схеми вводилися Н.А. Ржаниціним [5], Б. Пановим [4], Шреве та іншими авторами [1].

Вихідним положенням при ідентифікації річкових систем є поняття "порядок" водотоку. Як притока першого порядку приймається елементарний нерозгалужений водотік P_1 . Притока другого рівня P_2 – це результат злиття двох водотоків порядку P_1 . Підвищення порядку річки на такий рівень можливе лише після злиття двох приток одного порядку P_k і нескінченної кількості водотоків менших порядків P_{k-1} . Останнє зауваження є істотним, тому що воно не дозволяє зарахувати в один розряд річку і малий струмок.

Перший закон Хортона називається законом кількості приток, який твердить, що в кожній річковій системі відношення між кількістю приток суміжних порядків є сталою величиною

$$\sigma_0 = \frac{S_{k-1}}{S_k}, \quad (1)$$

де σ_0 – коефіцієнт біфуркації, S_{k-1} і S_k – кількість приток суміжних порядків $k-1$ і k .

Другий закон встановлює, що відношення між довжинами приток річок суміжних порядків залишається в середньому сталим

$$\lambda_0 = \frac{l_k}{l_{k-1}}, \quad (2)$$

де λ_0 – коефіцієнт довжин приток, l_k і l_{k-1} – середні довжини водотоків порядку k і $k-1$.

Третя закономірність полягає в тому, що площа водозборів приток суміжних порядків також знаходиться у визначеному співвідношенні

$$\varphi_0 = \frac{F_k}{F_{k-1}}, \quad (3)$$

де φ_0 – коефіцієнт площ, F_k і F_{k-1} – площа водозборів приток порядку k і $k-1$.

Четвертий закон Хортона встановлює співвідношення між середніми ухилами річок суміжних порядків

$$i_0 = \frac{i_{k-1}}{i_k}, \quad (4)$$

де i_0 – коефіцієнт ухилів річок суміжних порядків $k-1$ і k .

Постановка завдання

Об'єктом нашого дослідження стали річки півдня Закарпатської області – Тиса та її притоки Косовська, Шопурка, Тересва, Теребля. Вибір цих річок зовсім не випадковий. Саме у верхів'ях цих водотоків сформувалося "ядро" опадів листопадового паводка 1998 р. із загальною сумою опадів у його епіцентрі 277 мм та з інтенсивністю 8–10 мм/год. Орфографічна будівля долу цих річок, розташування гірських хребтів Українських Карпат створює в цьому районі дуже сприятливі умови для формування відомих зливових паводків, що були тут у червні 1969 р., травні 1970 р., липні 1980 р.

Першим етапом роботи для кожної з п'ятьох річок проведена ідентифікація приток і визначено числове значення порядку основної річки. Так, наприклад, річка Тиса починається на півночі від м. Рахів, злиттям Білої Тиси і Чорної Тиси. Обидві ці притоки мають 5-й порядок, тому утворена ними річка приймає $P_i=6$ і зберігає це значення P_i до смт Ділове. Такі дві притоки Тиси, як річки Косовська і Шопурка, мають площи водозбору відповідно 135 і 283 км², дуже розгалужену гідрографічну мережу і їхнє значення порядку становить $P_i = 3$ (р. Косовська) і $P_i = 4$ (р. Шопурка). Вищий порядок $P_i = 5$ мають дві інші притоки Тиси – річки Тересва і Теребля. Їхні площи

водозборів відповідно 1200 і 755 км², характеризуються рясною гідрографічною мережею з великою кількістю притоків різноманітного рівня (табл. 1)

Таблиця 1

Основні гідрографічні характеристики річок

Річка – Пункт	Характе- ристики	Порядок водотоку						Середнє значення зnamенника прогресії	Позна- чення
		1	2	3	4	5	6		
Тиса – Ділове	S_i	402	128	32	8	2	1	3.8	σ_0
	l_i	1.8	3.5	9.2	20	39	67.4	2.1	λ_0
	F_i	404	593	711	884	1031	1190	1.41	ϕ_0
	I	–	91	68	43	24	15	1.6	i_0
Шопурка – смт. Великий Бичків	S_i	73	14	3	1			4.3	σ_0
	l_i	1.76	4.8	16.2	38			2.76	λ_0
	F_i	85	140	240	283			1.51	ϕ_0
	I	–	70	46	33			1.45	i_0
Тересва – смт. Тересва	S_i	311	68	14	4	1		4.21	σ_0
	l_i	1.7	3.0	12	22.5	78.5		2.76	λ_0
	F_i	321	398	700	890	1200		1.4	ϕ_0
	I	–	72	46	26	12		1.58	i_0
Теребля – с. Колочава	S_i	224	50	12	3	1		3.91	σ_0
	l_i	1.93	6.0	9.9	41.6	85.6		2.75	λ_0
	F_i	283	379	485	619	756		1.28	ϕ_0
	I	–	52	36	16	12		1.71	i_0
Середні значен- ня max витрат	Q	35.3	101	289	514	806		2.27	K_Q

Використовуючи картографічні матеріали, довідкові гідрографічні посібники для кожної з п'ятьох річок обчислено кількість приток усіх порядків S_i , їхня сумарна довжина $\sum L_i$, площи водозборів дляожної із градації F_i . Шляхом розподілу $\sum L_i$ на кількість приток даного порядку S_i визначені середні довжини l_i приток кожного рівня для всіх річок (табл. 1). Наприклад: для річки Тиси середні довжини приток l_i утворять ряд 1.8, 3.5, 9.2, 20, 39, 67.4. Неважко переконатись, що цей ряд підпорядковується закону геометричної прогресії з загальним знаменником $\lambda_0 = 2.1$. Analogічні ряди утворять кількості приток S_i , площи водозборів F_i . Враховуючи їхні розміри, для кожної річки визначені середні значення знаменників геометричної прогресії $\sigma_0, \lambda_0, \phi_0$ (табл. 1).

При виконанні розрахунків прямування хвиль зливових паводків по гідрографічній мережі річкового басейну найважливіше місце займає визначення ухилу водотоку I . Як основний параметр ці характеристика входить до складу формул із розрахунку швидкості протікання води руслом річки. Зібрали існуючі дані про середні ухили водотоків різного порядку, виконано їхне усереднення за кожною градацією P_i . Далі, за формулою (4), обчислені значення i_0 по 4-х річках досліджуваного регіону (табл. 1). Ці розміри i_0 виявилися близькими за усіма водозборами, причому найбільше $i_0 = 1.71$ у річці Теребля, а найменше – 1.45 у р. Шопурка. Проте усереднити ці значення в цілому у регіоні неможливо через великі розбіжності розмірів ухилів у середині їхніх рядів. Так, для $P_i=2$ розмір середнього ухилу для р. Тиси дорівнює 91 %, а для річки Теребля – 52 %. Тому для кожної з річок побудована своя емпірична залежність $i=f(P_i)$. Графіки цих залежностей (рис. 1) є вгнуті спадаючі криві, причому для кожної з річок існує своя залежність. У цілому ці залежності відображають добре відомий фізичний процес зменшення розмірів ухилів із зростанням порядку річки [2].

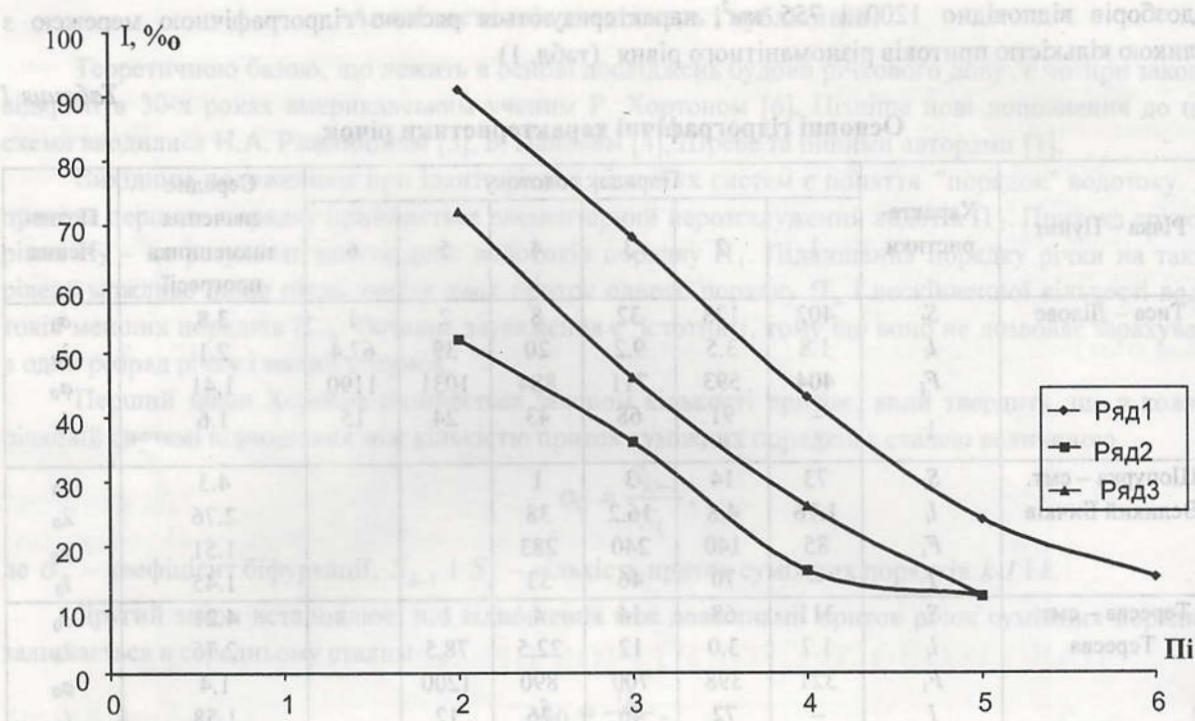


Рис. 1. Залежність середніх ухилів річки від їх порядку Π_i :
ряд 1 – р. Тиса; ряд 2 – р. Теребля; ряд 3 – р. Тересва

При підготовці вихідного матеріалу виникли складності, пов'язані з тим, що пункти спостережень за стоком води не завжди збігаються з гирлами річки. Тільки для річки Тересви недалеко від місця її впадання в річку Тису є водпост смт. Тересва. У басейнах річок Косовська, Шопурка, Теребля пункти спостережень за стоком знаходяться в середині водозбору і немає даних про витрати води по замикаючих створах цих річок. У табл. 1 наведені дані гідрографічної мережі всього басейну, а при побудові залежностей стоку від порядку річки слід було виділяти значення гідрографічних характеристик, вроздріб водозборів, відносячи їх до точок, де є гідрологічні спостереження.

Найважливішою практичною задачею, яку необхідно розв'язати при проектуванні інженерних споруджень є визначення максимальної витрати зливових паводків, особливо у випадках обмеженості або відсутності спостережень за стоком. У аналізованому районі є 17 пунктів спостережень за витратою води, велика частина яких, на жаль, була закрита в 90-ті роки.

Дані про гідрологічну будівлю цих водозборів, їхні основні характеристики наведені в табл. 2.

Для кожного з водпостів, за весь наявний період спостережень, обрані найвищі термінові витрати води зливових паводків. З огляду на ту обставину, що з 1989 р не випускаються гідрологічні щорічники, у табл. 2 наведені максимальні термінові витрати води зливових паводків, які пройшли на річках цього регіону в жовтні 1992 р. і листопаді 1998 р. Ці дані свідчать, що на водпостах Тиса – м. Рахів, Тересва – с. Усть-Чорна, Теребля – Колочава, максимальні витрати 1998 р. перевершили усі раніше спостережені за весь період спостережень. На жаль, деякі пости закриті і немає даних стоку відомого зливового паводка в листопаді 1998 р. З тієї інформації, що є для кожного водпосту обраний один паводок із найвищою терміновою максимальною витратою води (за весь період спостережень). За цими даними побудований графік залежності розмірів Q_{max} від порядку річки Π_i . Усереднивши значення максимальних витрат за кожною із градацій, визначені ординати залежності $Q_i = f(\Pi_i)$, яка відображає фізичний процес збільшення максимальних витрат води зливових паводків із зростанням порядку водотоку (рис. 2).

Таблиця 2

**Характеристики гідрографічної мережі
і максимальні витрати зливових паводків річок Закарпаття**

№ з/п	Річка – Пункт	Площ. водо- збору $F \text{ km}^2$	Довжина річки $L \text{ km}$	Ухил річки $I \%$	Порядок річ- ки P_i	Максимальні витрати зли- вових паводків		Max за уесь період спост.	Рік, дата
						1992 28–30.X	1998 3–8.XI		
1	Чорна Тиса – с. Ясіня	194	22	27,1	4	42,5	142	204	1965 8.06
2	Чорна Тиса – с. Белін	540	43	17,2	5	–	–	471	1969 8.06
3	Біла Тиса – с. Луги	189	19	42,7	3	59,9	63,2	285	1970 13.05
4	Біла Тиса – с. Ростоки	473	30	30,3	5	–	–	388	1970 13.05
5	Тиса – м. Рахів	1070	52	15,3	6	327	749	749	1998 4.11
6	Тиса – с. Ділове	1190	70	12,7	6	–	–	863	1970 13.05
7	Косовська – с. Косов- ська Поляна	122	33	34,8	3	56,7	203	203	1998 4.11
8	Шопурка – с. Кобилець- ка Поляна	240	30	33	3	–	–	153	1970 13.05
9	Мокранка – Руська Мокра	214	30	20,3	4	247	–	247	1992 29.10
10	Брустуранка – с. Лопухів	257	28	28,4	4	–	–	298	1962 8.06
11	Красна – с. Красна	507	14	70,7	2	–	–	353	1969 25.09
12	Лужанка – с. Нересница	149	33	31,2	3	–	–	165	1971 20.11
13	Тересва – с. Усть-Чорна	572	34	20,0	5	387	560	560	1998 4.11
14	Тересва – с. Дубове	757	55	14,9	5	–	–	378	1951 11.05
15	Тересва – с. Нересница	1100	70	12,7	5	775	–	775	1992 29.10
16	Теребля – місц. Остріка	208	16	24,7	3	–	–	119	1955 11.08
17	Теребля – с. Колочава	369	33	16,5	4	330	407	407	1998 4.11

При побудові даної залежності використано інформацію за усіма 17 водостоками, проте дані розподілені дуже нерівномірно. Є всього один пост спостережень, на річці Красна – с. Красна, у районі якого порядок водотоку дорівнює двом. Дещо більше точок у градаціях $P_i = 3$ – п'ять значень, $P_i = 4$ – чотири точки, $P_i = 5$ – п'ять водотоків. На жаль, тільки два водостоки на р. Тисі

мають вищий порядок $\Pi = 6$ – це район м. Рахова і м. Ділове. Визначивши середні максимальні витрати води (Q_{\max}), за кожною градацією Π обчислені коефіцієнти K_Q за формулою

$$K_Q = \frac{Q_k}{Q_{k-1}} = \frac{Q_{k-1} + \Delta Q}{Q_{k-1}} = 1 + \frac{\Delta Q}{Q_{k-1}}, \quad (5)$$

де K_Q – коефіцієнт витрат; Q_{k-1} і Q_k – максимальні витрати зливових паводків на притоках суміжних порядків. Розмір ΔQ – збільшення витрат – визначається за формулою $\Delta Q = Q_k - Q_{k-1}$. Підставивши це співвідношення у формулу (5), після елементарних перетворень одержимо остаточний вираз. З нього випливає, що динаміка розмірів K_Q є показником зміни збільшення витрат ΔQ у середині річкової мережі різноманітного порядку (рис. 2). Між характеристиками водності і показниками структури гідрографічної мережі існують визначені співвідношення. Так, у річкових системах нижчого порядку до 4-го немає трансформації максимальних витрат, тому що розміри K_Q дуже близькі між собою, відповідно 2.86 і 2.89. Отже, у цій мережі відбувається тільки концентрація дощових вод, що підтверджується даними роботи [3]. У ній, враховуючи цілком інші положення, зроблено аналогічний висновок і доведено, що стік малих басейнів або "індикаторів" можна використати як графік припливу для усього значнішого басейну.

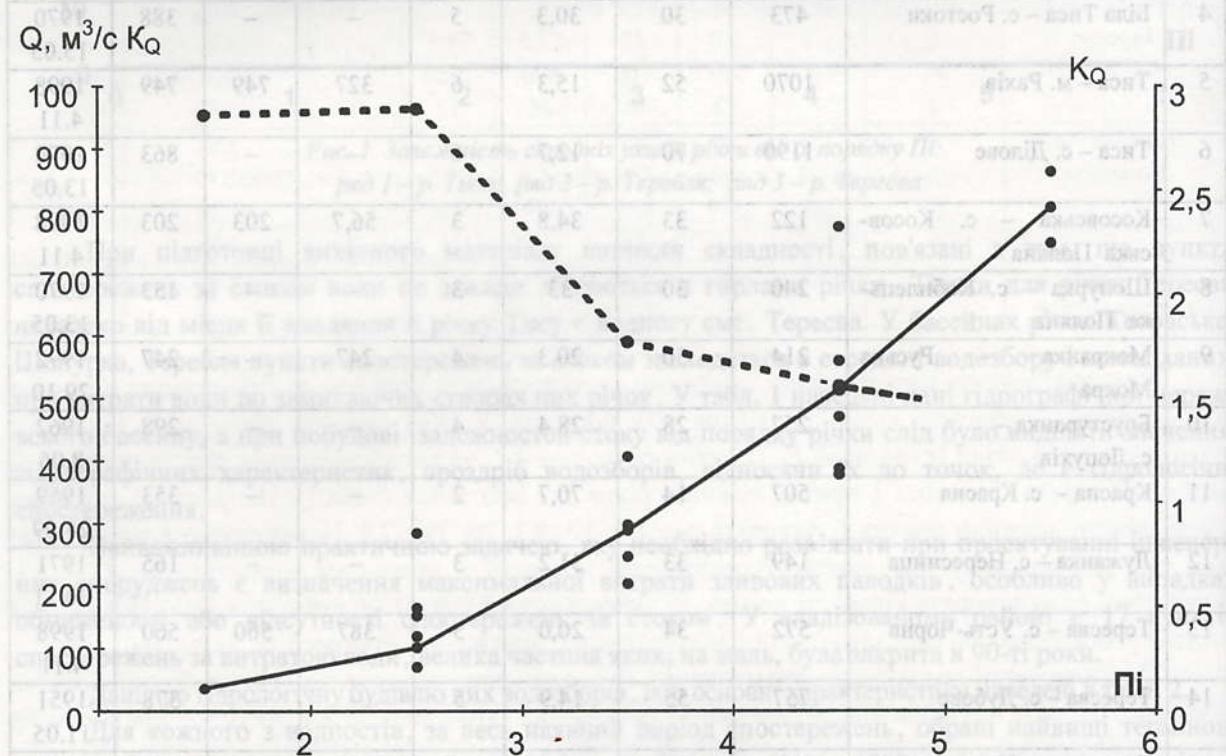


Рис. 2. Залежність середніх максимальних витрат зливових паводків від порядку річки

Русла мережа вищого порядку Π_5 і Π_6 бере участь не стільки в концентрації води, як в її трансформації. Доказом цього є зменшення коефіцієнтів K_Q від вищевказаних до 1.77–1.56, що добре відповідає фізичній картині розпластиування паводкової хвилі під час її прямування гідрографічною мережею [2].

Висновок

Виконане дослідження доводить універсальність відкритих Хортоном законів будови річкового долу. Число значення метричних параметрів $\sigma_0, \lambda_0, \phi_0, i_0, K_Q$ є теоретичною основою моделю-

вання топологічної структури річкового басейну. Отримані залежності і розміри коефіцієнтів мають вкрай важливе практичне значення, тому що за їхньою допомогою можна оцінити гідрографічні характеристики річкової системи і її окремих частин за обмеженості або відсутності необхідної інформації.

1. Гарциман И.Н. Топология речных систем и гидрографические исследования // Водные ресурсы. – 1973. – № 3. – С. 109–123.
2. Нежиховский Р.А. Русловая сеть бассейна и процесс формирования стока воды. – Л.: Гидрометиздат, 1971.
3. Огневский А.В. Бассейны – индикаторы // Тр. НИУ ГУГМС. Сер. IV. – Л.: Гидрометиздат, 1947. – Вып. 26.
4. Панов Б.П. Количественная оценка речной сети // Тр. ГГИ. – 1947. – Вып. 4 (58).
5. Ржаницын Н.А. Морфометрические и гидрологические закономерности строения речной сети. – Л.: Гидрометиздат, 1960.
6. Хортон Р.Е. Эрозионное развитие рек и водосборных бассейнов. – М.: Изд-во иностранной литературы, 1948.