

УДК 556.01:556.51/54

КІНДЮК Б.В.

ХАРАКТЕРИСТИКИ БУДОВИ РІЧКОВОЇ МЕРЕЖІ І ФАКТОРИ ФОРМУВАННЯ МАКСИМАЛЬНОГО ЗЛИВОВОГО СТОКУ В БАСЕЙНІ Р. РІКА

Розрахунки характеристик паводочного стоку є однією із найважливіших задач гідрологічної науки. В Українських Карпатах особливо руйнівний вплив на народне господарство регіону оказують зливові паводки. Фактори, які визначають їхнє формування, поділяються на дві групи. Одна з них – це гідрометеорологічні умови, що характеризуються попереднім зволоженням водозборів, кількістю атмосферних опадів, що випадають, та їх інтенсивністю. Друга – це фактори підстилаючої поверхні: річкова мережа, її ємність, ухили водотоків, умови стікання зливових вод.

Розглянемо дію цих факторів на прикладі історичного паводка, що пройшов на ріках Закарпаття в листопаді 1998р. Вибір водозбору р.Ріка пояснюється наступними причинами. На ньому є густа мережа спостережень за опадами і стоком води, а також тою обставиною, що саме у верхів'ях ріки Ріка знаходилася частина епіцентру зливи, що пройшла в листопаді 1998р. З метою оцінки передпаводкового стану водозбору підраховувалися величини індексу зволоження по формулі М.Л. Колдера:

$$I_w = \frac{\sum_{i=0}^n K_i X_i}{n} \quad (1)$$

де K – емпіричні коефіцієнти, які визначаються в залежності від температури повітря по таблицях, які дані в роботі [3], X – добові суми опадів.

Схема розрахунку величин I_w по формулі (1), передбачає обчислення індексу кожного дня як добуток суми опадів за дану добу і коефіцієнта K_i , що залежить від температури повітря. У таблиці 1 приведені дані про величини I_w , які розраховані за даними про опади, які зафіксовані на метеостанціях, розташованих у басейні р. Ріка. Просліджується велика нерівномірність у розподілі значень індексу по території водозбору і значна динаміка його значень у часі. Величина I_w відносно стабільна до 29.10.98р., потім починається ріст її значень, що досягають максимуму до моменту початку паводка – 4.11.1998р.

Крім цього на водозборі річки спостерігалася сильна нерівномірність у розподілі сум опадів за дощ, від 78 мм на метеостанції Хуст до 200 мм і більш цих величин у її верхів'ях.

Наступним етапом досліджень стало вивчення ролі гідрографічної мережі у формуванні зливого стоку. У більшості сучасних моделей дощового стоку ієрархія чи будова річкових долин, враховується непрямыми методами чи у виді осереднених величин [1], що не відповідає реальній картині, того що відбувається на річковому водозборі.

З метою обліку цього важливого фактора використані способи опису і теоретичні розробки, виконані різними авторами [2,4,6]. В основі методів по вивченню будови річкових долин лежать закони, відкриті на початку 30-х років минулого століття американським ученим Р.Хортоном [6]. Їм запропоновані

закони, що зв'язують число притоків S_i , їхню середню довжину l_i , площу водозбору F_i з кількісною оцінкою положення водотоку в ієрархії річкової системи. Таким чисельним показником є поняття порядку водотоку Π_i . За схемою Хортон, удосконаленої пізніше іншими авторами, притоком першого порядку вважається елементарний нерозгалужений водотік Π_1 . Потік другого рівня ієрархії утвориться від злиття двох притоків Π_1 . Таким чином, кожен наступний рівень Π_i утвориться від з'єднання двох потоків рівня Π_{i-1} і необмеженого числа притоків меншого порядку. Останнє зауваження є дуже корисним, тому що воно дає однозначність рішення задачі по визначенню порядку водотоку і завдяки йому в один клас Π_i не можуть потрапити велика ріка і маленький струмок. Розглянемо конкретний приклад з розрахунку ієрархії річкових потоків за даними про гідрографічну мережу р.Ріки. Вона є одним з найбільш великих притоків р.Тиси, бере свій початок із джерел на висоті 1120 м, що знаходяться на схилі гори Чорна Ріпа. Довжина ріки 91 км, площа водозбору до м.Хуст 1130 км², середній ухил 10.5‰. Гідрометеорологічний режим цього басейну характеризується випаданням рясних опадів, які часто формують високі дощові паводки. Ріка володіє могутньою гідрографічною мережею і вже в районі с.Лопушне величина Π_i стає рівної трьом. Трохи нижче за течією в с.Верхній Бистрий, р.Ріка зливається з р.Бистра, що має Π_i також рівне трьом, тому за схемою Хортон порядок водотоку стає $\Pi_i=4$. Упадання ріки Голятинка і багатьох інших дрібних водотоків не змінює величину Π_i основної річки. Трохи вище села Сойми р.Ріка з'єднується з р.Репінка що має $\Pi_i=4$, так як з'єднуються два потоки, що мають однакове $\Pi_i=4$, у цьому місці основна річка набуває нового значення порядку $\Pi_i=5$. Це значення Π_i не змінюється до м.Хуст, тому що всі притоки, що впадають у неї, мають величину $\Pi_i<5$. У таблицях 2 і 3 приведені дані про характеристики основних притоків р.Ріка, їхні площі водозборів, довжини, чисельні значення порядку, дані про притоки першого порядку.

Таблиця 1
Величини індексів попереднього зволоження
в період листопадового паводка 1998р.

Дата	Індекси попереднього зволоження по метеостанціям						
	Пили- пець	Подо- бець	Лопуш- не	Золо- миско	Верх. Студьо- ний	Ново- селиця	Лопуш- не Верхн
27.10	152,8	160,4	129,7	232,7	133,4	148,2	116,2
28.10	151,9	164,0	127,5	237,5	130,4	147,0	115,2
29.10	184,5	202,5	155,9	319,6	147,8	163,2	155,3
30.10	193,3	208,6	174,1	353,4	160,9	182,5	172,3
31.10	196,6	214,9	187,1	348,4	164,4	190,3	186,0
1.11	197,1	219,7	190,8	356,3	165,4	191,3	189,4
2.11	202,4	214,5	192,7	346,7	163,1	190,4	189,0
3.11	206,8	218,0	196,3	344,7	159,6	186,3	191,7
4.11	256,0	331,1	266,4	453,8	186,1	224,0	274,0

Схема, запропонована Р.Хортоном, є значним кроком уперед по створенню системи опису ієрархії річкових потоків. Однак вона розглядає гідрографічну мережу методом укрупнених показників. На прикладі ідентифікації рік басейну

Ріки можна помітити, що частина водотоків у моделі не враховується, тому що їхній порядок менше величини Π_i основної ріки. Цілком зрозуміло, що ці ріки і їхня гідрографічна мережа, відіграють визначену роль у процесі формування дощових паводків. Цей недолік може бути усунутий шляхом введення нового кількісного показника – приведенного числа притоків S_i' . У роботі [1] пропонується такий показник і усі величини S_i приводяться до довжини притоків четвертого порядку. Ця розробка виконана по ріках Далекого Сходу, де в розрахунок приймалися водотоки з площами водозборів 30-100 тис.км². Більш перспективним представляється застосування в якості «міри» ідентифікації річкової мережі басейну чисельного значення кількості притоків першого порядку - S_1' . Ця величина обчислюється по формулі :

$$S_1' = S_1 + \frac{\sum_{i=1}^k L_i}{l_1}, \quad (1)$$

де S_1 - число притоків першого порядку, $\sum_{i=1}^k L_i$ - сумарна довжина притоків

K -го порядку, l_1 - середня довжина притоків першого порядку.

Як приклад розглянемо схему визначення величини S_1' ріки Голятинка до водпоста Майдан, що має площу 86 км², загальну довжину - 18 км.

Таблиця 2

Приклад розрахунку приведенного числа притоків першого порядку

Приклад розрахунку приведеного числа притоків першого порядку								
Річка-пост	Π_i	Сумарні довжини притоків порядку		Характеристики притоків Π_1		$\sum_{i=1}^2 L_2$	$\sum_{i=1}^3 L_3$	S_1'
		$\sum L_i$,км		Кіл-ть S_1	Ср. довж. l_1	l_1	l_1	
		$\sum_1^2 L_2$	$\sum_1^3 L_3$					
Голятинка –с.Майдан	3	26	19	22	1,95	13,3	9,7	45

По картографічних матеріалах установлюємо порядок водотоку р.Голятинка до с.Майдан - $\Pi_i=3$. Далі підраховуємо кількість притоків першого порядку S_1 , що дорівнює 22 і їхню сумарну довжину $\sum_{i=1}^1 L_1=42.9$. Шляхом ділення величини сумарної довжини притоків першого порядку на їхнє число 22, визначаємо середню довжину притоків першого порядку $l_1=42.9/22=1.95$. Потім підраховуємо, використовуючи картографічні матеріали, сумарні довжини притоків другого і третього порядку $\sum_{i=1}^2 L_2$ і $\sum_{i=2}^3 L_3$. Розділивши ці величини на середню довжину притоків першого порядку, одержуємо приведені кількості притоків другого і третього порядку, у нашому прикладі – 13.3 і 9.7. Підсумовуючи ці величини зі значенням числа притоків першого порядку – 22, одержуємо загальне число притоків першого порядку $S_1'=45$.

Аналогічним образом виконані ідентифікація і розрахунок приведеного числа притоків першого порядку по всіх притоках р.Ріка до м.Хуст (табл.3). Аналіз цих даних показує широкий діапазон зміни величин S_1' від 1 у елементарних водотоків Площанка, Піліпецький, Зюбровець і до 176 на р.Ріка в смт Міжгір'я і 426 у м.Хуст.

Найважливішою характеристикою, що визначає характер стікання води по поверхні водозбору, являє собою ухил русла ріки. Цей параметр має ключове значення у всіх формулах з розрахунку величин швидкості добігання хвиль зливових паводків. Представляє великий практичний інтерес визначення цієї характеристики, виходячи з особливостей будови гідрографічної мережі. По усіх водотоках Закарпатської водно-балансової станції і нижче розташованої частини басейну р.Ріка, по наявних довідкових посібниках, зібрані дані про ухили русел. Виходячи з цих величин, побудований графік залежності

$$I = f(S_1') = a(S_1')^b, \quad (2)$$

де I - ухил русла водотоку, a і b числові коефіцієнти, рівні відповідно 156 і -0.43.

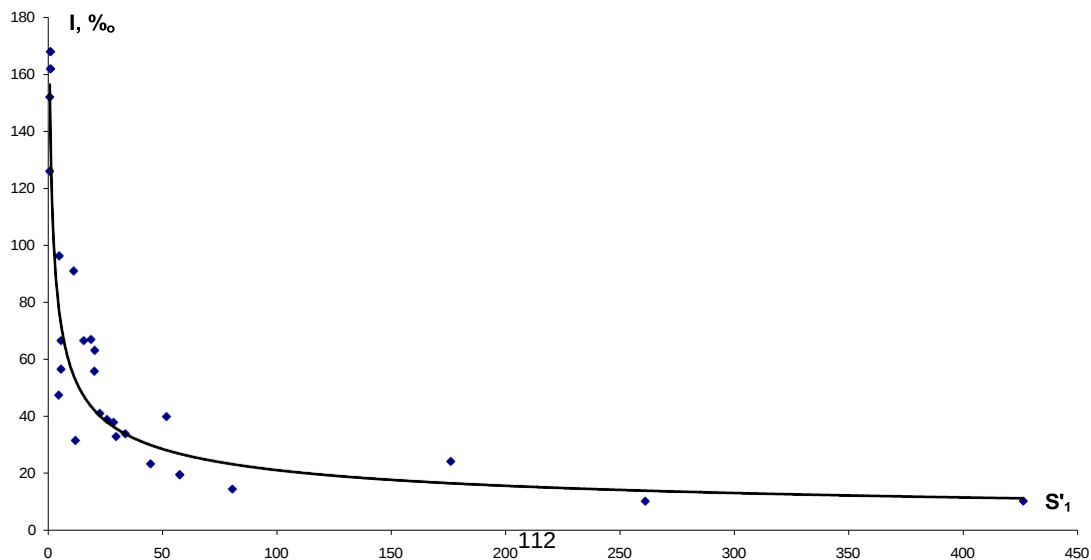


Рис.1-Залежність між ухилом водотоку та приведеним числом притоків першого порядку

Фізичний зміст цієї графічної залежності (рис.1) полягає в тому, що він відображує процес редукції ухилів водотоків з ростом масивності розміру річкових потоків. Аналогічні побудови, де як аргумент виступає площа водозбору є в роботі [4]. Однак через розпливчастість формулювань опису рельєфу місцевості, по них складно визначити значення I для конкретної ріки.

Аналітичне вираження цієї залежності дозволяє виконати розрахунок значень ухилу для маловивчених рік і у випадках недоліку необхідної інформації. Високе значення коефіцієнта кореляції $R = 0.92$ свідчить про тісний зв'язок між аргументом і функцією, а також про можливість практичного використання формули (2).

Крім ухилу, гідравлічні умови стікання зливових вод залежать від місцевих умов русла, його будови, складу порід і ступеня наповнення водою. Інтегральною характеристикою, що відображає всю цю складну взаємодію різних факторів, є час добігання хвилі зливових паводків. Численними дослідженнями встановлене існування залежності між умовами стікання і ємністю річкових долин [4]. Цілком зрозуміло, що регулюючий обсяг річкових систем зростає в міру росту руслових систем.

Кількісною характеристикою річкових русел є час добігання τ , а структура гідрографічної мережі описується приведеним числом притоків першого порядку S_1' . Таким чином, виходячи з логічних розумінь, можна припустити наявність зв'язку між τ і S_1' . Для побудови графіка цієї функції використані дані про величини часу добігання високих зливових паводків, які опубліковані в роботі [5]. Значення приведених чисел притоків першого порядку підраховувалися для цих водотоків за схемою, яка викладена вище. Графік залежності між цими величинами відображує взаємодію паводочної хвилі і руслової мережі. У цілому спостерігається ріст часу добігання зі збільшенням потужності руслової системи – від мінімальних значень τ у струмка Студений – с.Верхній Студений 0.6 години при $S_1' = 5.9$ до 17.8 год. у р.Ріки до м.Хуст при $S_1' = 426.5$.

Однак ця взаємодія носить нелінійний і неоднозначний характер. На початку величина τ збільшується із ростом S_1' , приблизно до значень $S_1' = 75$, потім спостерігається деяка стабільність величин τ на рівні 4-5 годин і величин $S_1' = 80-200$ одиниць. Далі настає різке збільшення значень часу добігання з ростом ємності системи до його максимального значення на р.Ріка в м.Хуст рівного 17.8 години. Це добре відповідає фізичній картині явища трансформації паводочної хвилі, докладно описаної в роботі [4]. Знаючи величини часу добігання, можна перебудувати графік 2, з метою одержання динаміки величин швидкостей добігання в русловій мережі різного порядку. Швидкість руху паводочної хвилі $V_0 = L/\tau$, де L - довжина водотоку і її значення є відображенням величин зворотних значенням часу добігання. У даному конкретному прикладі швидкість добігання росте зі збільшенням потужності руслової мережі, досягає свого максимуму рівного 7.0 км/год, що приблизно відповідає розмірам водотоків третього порядку. Далі починається її зменшення, спочатку плавне, а потім більш різке до величини $V_0 = 3$ км/год. Це зв'язано з тим, що в цьому випадку відбувається вихід води на заплаву, збільшується площа поперечного перерізу і як результат зменшується швидкість руху паводочної хвилі.

Основною задачею, яка вирішується при проектуванні інженерних

споруджень є визначення найвищих максимальних витрат води. У розглянутому районі переважаюче значення мають максимуми зливових паводків, саме їхньої величини, на малих водозборах із площами $F = 1000 - 2000 \text{ км}^2$, визначають розміри гідротехнічних споруджень. Деякі дослідники будували залежності між середньою річною водністю рік і кількістю притоків четвертого порядку [1]. Як відзначалося вище, для рік гірських районів Українських Карпат представляється більш корисним використовувати приведені довжини притоків першого порядку. Як характеристику водності потоків варто використовувати максимальні витрати

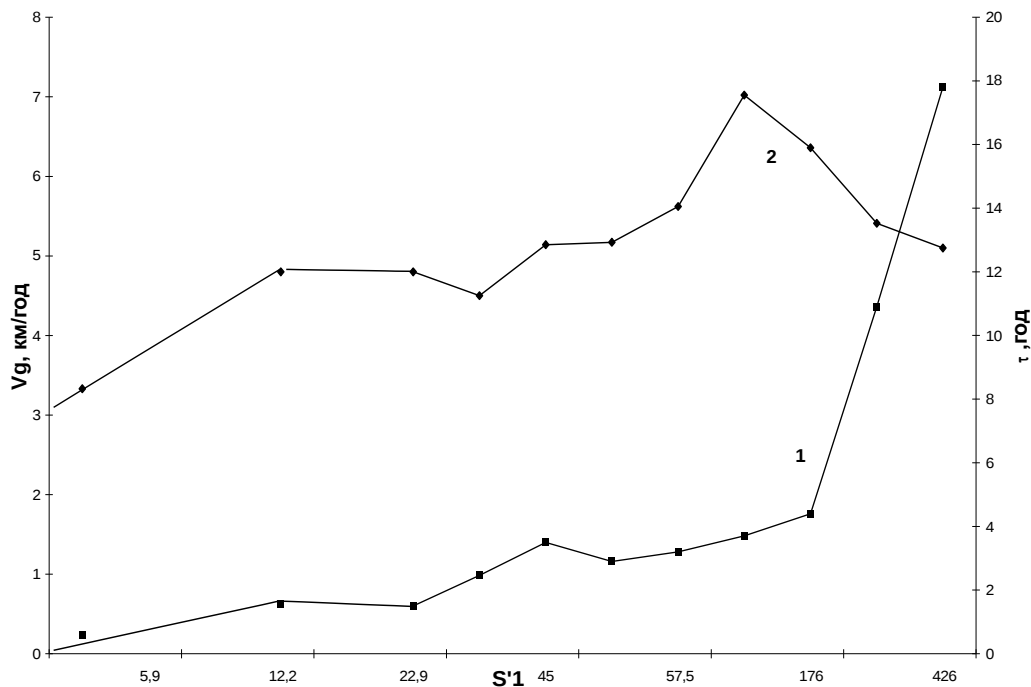


Рис.2 - Залежність між часом добігання τ (1), швидкістю добігання Vg (2) та приведеним числом притоків 1-го порядку

води зливових паводків Q_{max} . В основі пошуку таких зв'язків лежать наступні розуміння. При проходженні видатних дощових паводків процес формування стоку, як правило, охоплює усю площу водозбору. У цих умовах уся наявна на водозборі гідрографічна мережа перетворюється в шлях руху стоку. У такому випадку між величинами довжин потоків і обсягом води в русловій системі повинна існувати тісна залежність.

Для реалізації цього положення, по усім водпостам у басейні р.Ріка зібрані дані за весь наявний на них період спостережень, інформація про максимальний зливовий стік. Самі довгі ряди на водпосту Репінка – с. Репіно з 1945 по 2000р. (табл.3).

При проведенні цього дослідження по кожному водпосту вибирався найвищий по своїй терміновій максимальній витраті води зливової паводок. У більшості випадків це був листопад 1998р. У трьох випадках найвищий Q_{max}

зафіксований у період липневого паводка 1980р, і тільки на двох водпостах найвищі значення довелися на вересень 1968р. (табл.3). Тут слід зазначити ту обставину, що водпости Голятика- с.Голятин і р.Ріка-с.Нижній Бистрий закриті і дані за період проходження деяких паводків на них відсутні. Зібрані максимальні витрати води змінюються в широкому діапазоні, від 3.62 м³/с на водпосту Середній Звір – с.Лопушне, зафіксованого 5.11.1998р., до 888 м³/з на посту р.Ріка - м.Хуст у період вересневого паводка 1968р. Становить інтерес динаміка максимальних витрат води в період трьох видатних паводків на р.Ріка в смт Міжгір'я. Найвищим виявилася максимальна витрата листопада 1998р $Q_{max}=580$ м³/с , другим по висоті був вересневий паводок 1968р. – 555 м³/с , а третю – витрата води липневого паводка 1980р. – 534 м³/с. Слід зазначити, що шари стоку змінюються в зворотній послідовності. Найвищим був шар 1980року, потім йде 1968р., а тільки потім 1998р. На інших водпостах динаміка максимальних витрат води є аналогічною.

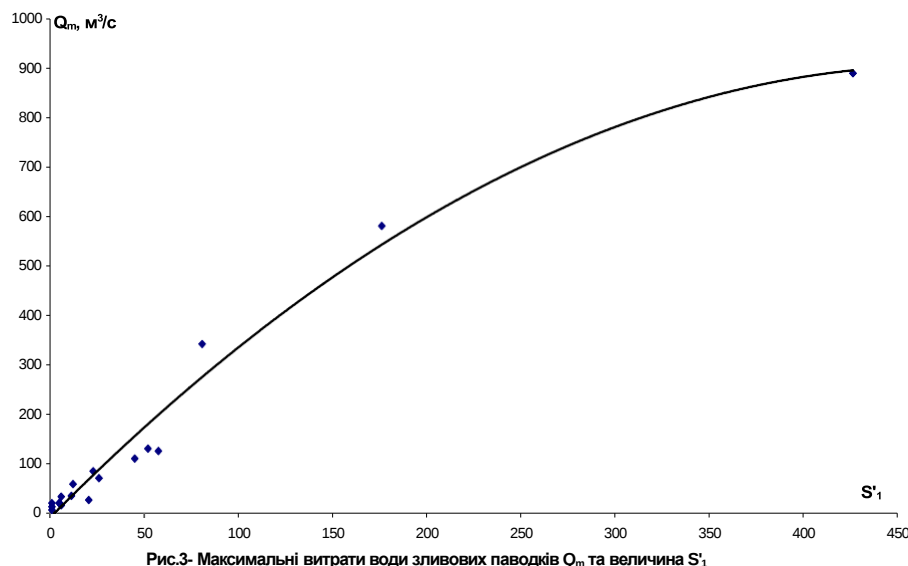
Таблиця 3

*Характеристика гідрографічної мережі,
найвищі максимальні витрати води зливових паводків рік басейну р.Ріка*

№ п/п	Ріка - пункт	Площа водозбору F , $км^2$	Довжина L , $км$	Ухил русла I , $‰$	Приведене число притоків S_1'	Час добігання T , год	Швидкість добігання V_d , $км/г$	Максимальна витрата, Q_m , $м^3/с$	Рік, дата	Період спостережень
	Ріка-с.Верхній Бистрий	165	15	40	52	2,9	5,17	131	1980 23.07	1946- 2000
	Ріка-с.Міжгір'є	550	28	24,3	176	4,4	6,36	580	1998 5.11	1946- 2000
	Ріка- с Нижній Бистрий	781	59	10,3	261	10,9	5,41			1946- 1971
	Ріка - г.Хуст	1130	91	10,4	426	17,8	5,11	888	1968 19.09	1956- 1993
	Лопушна-с.Лопушне (в)	13,2	5,4	96,3	5,1	-	-	20,9	1998 5.11	1959- 2000
	Лопушна-с.Лопушне (н)	37,3	9,4	63,2	20,6	-	-	27,5	1998 5.11	1959- 2000
	Бранище-с.Лопушне	10,3	4,8	66,6	5,9	-	-	16,5	1998 5.11	1959- 2000
	Зюбровець с.Лопушне	3,2	2,3	168	1	-	-	7,5	1998 5.11	1958-75- 78-2000
	Ср.Звір-с.Лопушне	2,0	2,5	152	1	-	-		1998 5.11	1959-75- 81-2000
	Голятинка-Голятин	59	11	39	26	2,46	4,5	71,4	1968 19.09	1959- 1979
	Голятинка-м.Майдан	86	18	23,4	45	3,65	5,14	111	1980 22.07	1956- 2000
	Репінка-с.Ізки	103	18	19,5	57,5	3,2	5,62	126	1980 22.07	1958- 2000
	Репінка-с.Репіно	203	26	14,6	80,7	3,7	7,02	342	1998 5.11	1945- 2000
	Студьоний-	8,0	2,2	56,6	5,9	0,6	3,33	34,2	1998	1958-

В.Студьоний								5.11	2000
Студьоний- Н.Студьоний	25,4	7,5	31,6	12,2	1,57	4,8	59,7	1980 23.07	1946- 2000
Пилипець- с.Подобець	7,8	3,8	47,5	4,9	-	-	21,6	1998 4.11	1958- 2000
Пилипець- с.Пилипець	44,2	6,2	41,1	22,9	1,5	4,13	85,6	1968 19.09	1956- 2000
Площанка- с.Пилипець (В)	12,2	12,2	126	1	-	-	21,1	1998 5.11	1958-75- 83-2000
Площанка- с.Пилипець (Н)	19,9	9,2	91	11,4	-	-	35,9	1998 4.11	1958- 2000
Пилипецький- с.Пилипець	5,7	5,0	162	1	-	-	13,7	1998 5.11	1959- 2000

Частина водпостів була закрита, але наявні по них дані використовувалися. Інформації виявилось досить для побудови залежності $Q_{max} = f(S'_1)$, зображеної на (рис.3). З аналізу цього графіка можна зробити висновок про збільшення значень максимальних витрат з ростом масивності річкової мережі. Коефіцієнт кореляції цієї залежності складає 0,98, що свідчить про високу тісноту зв'язку між аргументом і функцією.



Виконане дослідження доводить ту важливу роль, що грає гідрографічна мережа при формуванні полів швидкостей і максимальних витрат води зливових паводків.

Задачею подальших досліджень є побудова моделі розрахунку гідрографа дощового стоку, що враховує особливості будови річкової мережі.

1. Гарцман И.Н. Русловая сеть и характеристики паводочного стока рек юга Дальнего Востока. Тр.ДВНИГМИ, 1970.- вып.31.- С.63-68.
2. Гарцман И.Н. Топология речных систем и гидрографические индикаторные исследования. Водные ресурсы. №3. 1973. – С.109-124.
3. Линслей Р.К., Коллер М.А.Д.Л., Паулос Х. Прикладная гидрология (пер. с англ.). – Л.; Гидрометеиздат, 1962. – 759с.
4. Нежиховский Р.А. Русловая сеть и процесс формирования стока воды. – Л., Гидрометеоиздат, 1971г.
5. Ресурсы поверхност-

ных вод СССР, т.6, вып.1, Западная Украина и Молдавия. – Л.: Гидрометеиздат, 1969. - 492с.; 6. Хортон Р.Э. Эрозионное развитие рек и водосборных бассейнов. – М. Изд-во иностр.лит., 1948.

Factors of formation of a storm drain as indexes of previous humidifying and characteristics of a structure of a river network are considered. Dependences between inclination of the river-beds, time of runing, speed of movement of a wave of a high water, the maximal charges of water of a storm drain and the given number of inflows of the first order are constructed.