

Киндюк Б.В.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЛЕСА НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ЛИВНЕВОГО СТОКА РЕК ЗАКАРПАТЬЯ

*Цель работы* – исследовать влияние леса на характеристики дождевых паводков, формирующихся в горных условиях Украинских Карпат.

Этот вопрос имеет важное научное и практическое значение. О значимости этой темы в физико-географической науке говорит тот факт, что на страницах печати бывшего СССР дважды проходили Всесоюзные дискуссии, посвященные этой проблеме [5].

*Основной задачей* настоящего исследования является разработка вопроса об оценке совместной роли площади лесов и структуры подстилающей поверхности на характеристики высоких ливневых паводков.

В ранее опубликованных исследованиях влияние лесистости рассматривалось на фоне различных факторов подстилающей поверхности, однако некоторые из них, такие как структура гидрографической сети, в расчет не принимались.

Данное исследование является частью более общей работы, посвященной изучению воздействия факторов подстилающей поверхности на характеристики ливневого стока.

*Фактический материал и методы исследования.* В качестве исходных данных использованы материалы уникального природного полигона – Закарпатской воднобалансовой станции. На ее территории выбрано 15 пунктов наблюдений за стоком в периоды прохождения высоких ливневых паводков. Исходные данные охватывают временной интервал, в течении которого имеется информация о максимальных расходах воды дождевых паводков с 1946 по 2002 гг. Следует отметить, что диапазон изменения площадей водосбора составляет от 2,0 км<sup>2</sup> на ручье Средний Звир (с. Лопушное) – до 550 км<sup>2</sup> на р. Рика (пгт. Межигорье) (табл.1). Характерной чертой гидрографического режима этого бассейна являются часто проходящие высокие ливневые паводки. Максимальные срочные расходы воды ( $Q_m$ ) этих природных феноменов на площадях водосбора до 2000 км<sup>2</sup> всегда выше наивысших значений расходов, наблюдающихся при формировании весенних половодий.

Исходя из этого положения, по каждому пункту наблюдений формировался временной ряд величин  $Q_m$ , подсчитывалось значение среднегогодового расхода воды  $\bar{Q}_{max}$ , выбирались 3 – 4 наивысших ливневых паводка (табл.1.). Для удобства сравнения исходной информации величины расходов воды  $\bar{Q}_{max}$  пересчитывались в модули ливневого стока по формуле:

$$\bar{M}_{max} = \bar{Q}_{max} / F, \text{ м}^3 / \text{с} \cdot \text{км}^2, \quad (1)$$

где F – площадь водосбора. Как показывают данные таблицы 1, наивысшие значения этой характеристики приходятся на природные феномены,

прошедшие в сентябре 1968 г., июле 1980 г. и ноябре 1998 г. Так, наиболее высокие величины  $M_{max}$  наблюдались в период ноября 1998 г., когда на водосборе речей Студеный (с. Верхний Студеный)  $M_{max}$  составил 4,275 м<sup>3</sup>/с·км<sup>2</sup>. Большие значения модулей наблюдались при прохождении этого природного феномена на водосборе реки Пилипец; там максимальный модуль составил 2,769 м<sup>3</sup>/с·км<sup>2</sup>.

В период двух других ливневых паводков очень значительные величины модулей наблюдались в июле 1980 г. на ручье Пилипец (с. Подобец) –  $M_{max} = 2,15$  м<sup>3</sup>/с·км<sup>2</sup>. Несколько меньшие значения модулей зафиксированы в период сентябрьского паводка 1968 г. на ручье Пилипец (с.Пилипец), где  $M_{max}$  равнялось 1,936 м<sup>3</sup>/с·км<sup>2</sup>.

Степень покрытости деревьями того или иного водосбора характеризуется процентом площади, занятой лесом –  $f_l$  %. На реках исследуемого водосбора она колеблется от почти полностью покрытого лесом  $f_l = 96,1\%$ , – ручья Нижний Звир (с. Лопушна) – до  $f_l = 12,5\%$  на ручье Ростока у с. Ростоки. Наличие такого широкого диапазона значений величин  $f_l$  позволяет надежно связать их с данными о максимальных модулях стока высоких ливневых паводков. Построенные графики связи между величинами  $\bar{M}_{max}$  и  $f_l$  % показали уменьшение (редукцию) модулей стока с ростом степени покрытия лесом речного водосбора. Однако практически по всем высоким ливневым паводкам оказалось, что точки на графиках обычно располагаются по двум линиям.

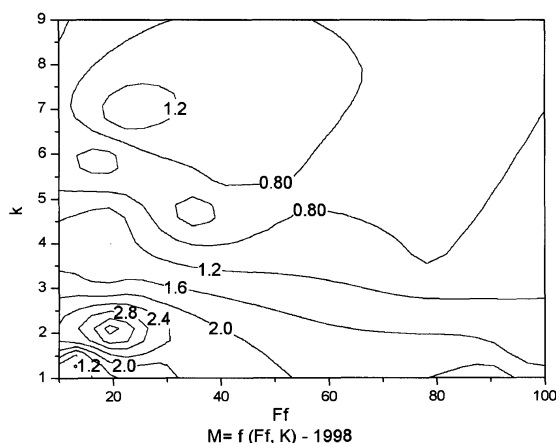


Рис.1. Распределение модулей ливневого стока за период прохождения ноябрьского (1998 г.) паводка в зависимости от структуры речной сети ( $k$ ) и залесенности  $f_l$ .

Это означает наличие влияния еще одного фактора, который определяет их взаимное расположение. Анализ параметров подстилающей поверхности показывает, что наиболее значимыми из них являются: средняя высота водосбора  $H_m$  и

коэффициент структуры гидрографической сети  $K$ . Каждый из них, совместно с лесистостью, оказывает определенное влияние на значения максимальных модулей ливневого стока, поэтому необходимо выполнить раздельную количественную оценку их действия. Высотное положение речных бассейнов и роль лесистости подробно изучена в работах [2, 3]. В настоящем исследовании рассматривается совместное влияние структуры речной сети и лесистости на максимальные модули ливневого стока.

Основой схемы количественного описания строения речной сети является модель, предложенная Р.Е. Хортоном [6]. Базовым понятием следует считать термин «порядок водотока  $\Pi_i$ ». Так, водотоком первого порядка  $\Pi_1$  считается элементарный неразветвленный приток. Второй уровень иерархии  $\Pi_2$ , образуется от слияния двух потоков  $\Pi_1$ , и т.д. Такая схематизация позволяет перейти от описательной оценки речной сети к конкретным количественным величинам, определяющим положения того или иного водотока в общей иерархии. Эта схема применена к бонитировке речной сети р. Рики и ее притоков на территории Закарпатской водобалансовой станции (ЗВБС).

Исходя из этой схемы, по каждому водотоку получена величина его порядка  $\Pi_i$ ; так, р. Репинка (с. Репино) относится к 4-му уровню иерархии. Река Рика до с. Верхний Быстрый соответствует  $\Pi_i = 3$ , а она же до пгт. Межгорье приобретает  $\Pi_i = 5$  (см. табл.1). Такая схематизация является очень полезной и важной, однако, она имеет один существенный недостаток: порядок реки всегда является целым числом. Практические расчеты показывают, что более удобно оперировать дробными величинами. В связи с этим Шайдеггером в схему Хортона внесено несколько дополнений [1]. Главное из них заключается в возможности учета конфигурации сети путем введения новой характеристики – количества притоков первого порядка  $S_1$ . Это связано с тем обстоятельством, что количество этих притоков определяет степень сложности той или иной речной системы. Расчетная формула для определения коэффициента учета структуры сети  $K$  имеет вид: 
$$K = 1 + \lg S_1, \quad (2)$$
 где  $\lg$  – логарифм от основания, равного 2 ( $\log_2$ ). Исходя из этой формулы выполнены расчеты величин коэффициента  $K$  по каждому из бассейнов на территории ЗВБС (табл.1). В целом наблюдается достаточно широкий диапазон этой характеристики от  $K = 7,65$  на р.Рика (пгт. Межгорье) до  $K = 1$  у ручья Зюбровец у с. Лопушное (табл.1).

Определив величины коэффициента  $K$  и располагая данными о проценте залесенности водосборов, а также значениями максимальных модулей ливневых паводков, оказалось возможным выполнить их совместный анализ. С помощью регрессионных методов оказалось возможным построить сплайновые поверхности в пространственном виде и в форме графиков уровенной поверх-

ности. Одна из таких схем представлена на рисунке 1 и относится к распределению максимальных модулей ливневого стока в период ноябрьского выдающегося паводка 1998 г., прошедшего на р. Рика. Большой практический и научный интерес вызывает расположение максимальных модулей, приходящихся на малые лесистости  $f_{л} < 20\%$  и величины  $K$ , равные 1,5 -:-2,5 (рис.1). Такая же картина наблюдалась в период прохождения очень высокого ливневого паводка в июле 1980 г. Несколько иная картина зафиксирована в сентябре 1968 г., когда после выпадения очень высокого ливня на р. Рика и ее притоках также прошел выдающийся природный феномен. В этом случае величины максимальных модулей наблюдались при более высоких коэффициентах  $K$ , но при той же лесистости, меньшей 20%. Такое изменение картины распределения максимального ливневого стока является вполне закономерным явлением, так как отличались по своим характеристикам осадки, которые вызвали эти паводки.

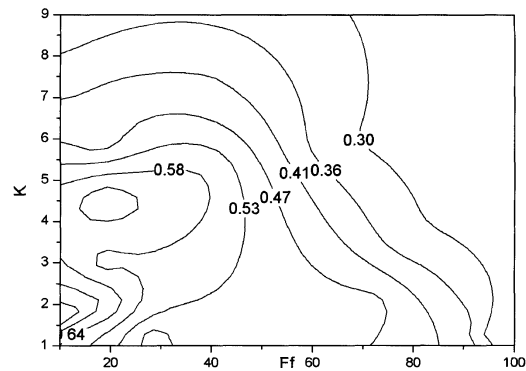


Рис. 2. Зависимость среднего многолетнего модуля ливневого стока от лесистости и гидрографического коэффициента

Для получения достоверной картины пространственно-временного распределения модулей ливневого стока в зависимости от структуры речной сети и лесистости, применен следующий прием. По каждому из пунктов наблюдений подсчитаны средние значения модулей максимального ливневого стока или их норма за многолетний период. Значения этой величины изменяются уже по определенным законам, так как она учитывает средние параметры условий формирования всей совокупности ливневых паводков. На рис.2. показана уровенная поверхность, построенная с помощью сплайновых функций по бассейну р. Рика осредненных величин. Анализ этих значений показывает рост  $\overline{M}_{\max}$  с уменьшением лесистости водосборов. Причем, если при лесистости от 40 до 80% величины  $\overline{M}_{\max}$  изменяются от 0,49 до 0,75  $\text{м}^3/\text{с}\cdot\text{км}^2$ , то при лесистости менее 20% наблюдается резкое возрастание модулей ливневого стока.

Более ясное представление о характере изменения величин  $\overline{M}_{\max}$  при разных значениях  $f_{л}$  и  $K$  дает пространственное изображение (рис.3). Этот график демонстрирует неоспоримый факт роста

значений модулей ливневых паводков с уменьшением лесистости. Однако структура русловой сети может замедлять или увеличивать рост значений  $\overline{M}_{\max}$

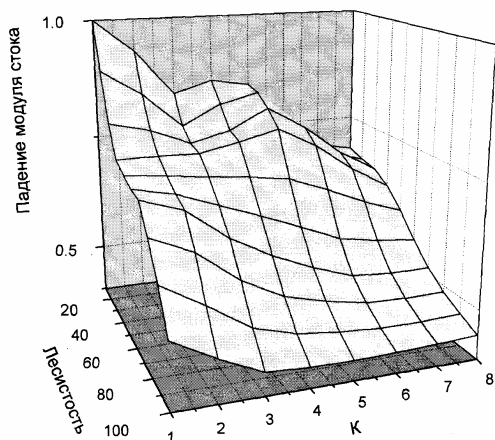


Рис. 3. Пространственная модель распределения среднееголетних модулей ливневого стока в зависимости от структуры речной сети (К) и залесенности.

На рисунке 3 хорошо прослеживаются локальные максимумы, которые тем или иным образом влияют на этот процесс. Для практических расчетов необходимо введение в расчетные формулы поправочных коэффициентов, учитывающих роль залесенности. Конкретное представление о редукции максимальных модулей ливневого стока с увеличением значений  $f_l$  на фоне параллельного воздействия структуры речной сети дает таблица 2. В ней приведены значения уменьшения величин  $\overline{M}_{\max}$  в зависимости от действия двух параметров,  $f_l$  и К.

Представляет интерес аналитическое описание зависимости  $\overline{M}_{\max}$  от значений залесенности и структуры сети. С помощью линейного регрессионного анализа удалось получить выражение:

$$\overline{M}_{\max} = a_0 + a_1 f_l + a_2 K, \quad (3)$$

где  $a_0$ ,  $a_1$ ,  $a_2$  – эмпирические параметры, равные соответственно 0,756, – 0,00436 и – 0,0213. Коэффициент корреляции этой зависимости, характеризующий тесноту связи между аргументами и функцией, составил 0,81. Это позволяет утвер-

ждать о достаточно хорошей зависимости рассматриваемых величин.

Результатом настоящего исследования является разработка вопроса об оценке совместной роли площади лесов и структуры подстилающей поверхности на характеристики высоких ливневых паводков. Показано, что с ростом залесенности речных бассейнов величина максимальных модулей ливневых паводков может достаточно сильно редуцировать. Размеры этого уменьшения модулей зависят от структуры речной сети, которая может ослабить или усилить этот процесс. Количественные величины этого локального изменения приведены в таблице 2. Следует также отметить, что такое совместное изучение влияния лесистости и структуры гидрографической сети выполнено впервые. Предлагаемая расчетная формула позволяет учесть влияние этих двух факторов на величину максимальных слоев стока ливневых паводков.

Задачей дальнейших исследований является разработка формул для учета влияния на максимальный сток ливневых паводков всего комплекса факторов подстилающей поверхности, таких как густота речной сети, высота водосборов, их уклон, а также лесистость и структура гидрографической сети.

#### Источники и литература

1. Гарцман И.Н. Топология речных систем и гидрографические индикационные исследования. // Водные ресурсы. – 1973. – № 3. – С.109 – 124.
2. Гопченко Е.Д., Джабур Кхалдун. О влиянии залесенности на естественную зарегулированность паводочного стока рек Карпат. // Метеорологія, кліматологія та гідрологія. – 2000. – Вып. 40. – С. 132 – 137.
3. Гопченко Е.Д., Краснова О.В. О влиянии залесенности на максимальный паводочный сток в Закарпатье. // Метеорологія, кліматологія та гідрологія. – 2002. – Вып. 46. – С. 374 – 379.
4. Киндюк Б.В. Гидрографическая сеть и водность рек Уж, Латорица, Боржава. // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія». – 2003. – Вып. 5. – С. 57 – 65.
5. Чеботарев А.И. Общая гидрология. – Л.: Гидрометеиздат, 1975. – 544 с;
6. Хортон Р.Е. Эрозионное развитие рек и водосборных бассейнов. – М.: Издательство иностранной литературы, 1948.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЛЕСА НА ХАРАКТЕРИСТИКИ  
ЛИВНЕВОГО СТОКА РЕК ЗАКАРПАТЬЯ

Таблица 1. Основные характеристики гидрографической сети и ливневых паводков бассейнов ЗВБС

№	Река – пункт	Площадь водосбора Fкм <sup>2</sup>	Порядок водотока Pi	Площадь леса f, %	Коэффициент структуры речной сети K	Максимальные модули ливневого стока, м <sup>3</sup> /с*км <sup>2</sup>			
						Сентябрь 1968	Июль 1980	Ноябрь 1998	Среднего-летние значения
1	Рика – с. Верхний Быстрый	165	4	64	5,81	0,728	0,818	0,781	0,31
2	Рика – пгт. Межгорье	550	5	41	7,65	1,0	0,952	1,05	0,408
3	Лопушна – с. Лопушное (верх)	13,2	2	93,3	1,58	0,682	0,977	1,583	0,358
4	Лопушна – с. Лопушное (нижн)	37,3	3	78,4	3,59	0,510	0,692	0,739	0,317
5	Бранище – с. Лопушное	10,3	2	72	2	0,317	0,948	1,601	0,496
6	Зюбровец – с. Лопушное	3,2	1	90,6	1	0,56	0,87	2,34	0,391
7	Средний Звир – с. Лопушное	2,0	1	95,0	1,2	0,36	-	1,81	0,292
8	Нижний Звир – с. Лопушное	2,6	1	96,1	1,4	0,39	-	1,473	0,22
9	Голятинка – с. Голятин	59,0	3	35,0	4,7	1,21	1,008	-	0,621
10	Голятинка – с. Майдан	86,0	3	40,0	5,45	1,03	1,290	0,933	0,562
11	Репинка – с. Изки	103	4	17,9	5,86	1,106	1,22	-	0,431
12	Репинка – с. Репино	203	4	22,0	6,85	1,221	1,281	1,68	0,452
13	Студеный – с.Верхний Студеный	8,0	2	20,0	2	0,728	1,65	4,275	0,688
14	Студеный – с.Нижний Студеный	25,4	3	18,0	3	0,767	1,85	1,496	0,547
15	Пилипец – с. Подобец	7,8	2	12,0	1,58	1,846	2,15	2,769	0,856
16	Пилипец – с. Пилипец	44,2	2	29,0	4,58	1,936	1,812	1,545	0,687
17	Ростока – с. Ростока	13,6	1	12,5	1,5	0,89	-	-	0,604
18	Площанка – с. Пилипец (верх)	12,2	1	27,8	1,2	0,663	-	1,729	0,426
19	Площанка – с. Пилипец (нижн)	19,9	2	28,7	2,81	-	0,945	1,804	0,565
20	Пилипецкий – с. Пилипец	5,7	1	36,9	1,2	1,496	0,829	2,403	0,506

Таблица № 2. Величина снижения максимальных модулей ливневого стока в зависимости от значений fl и K

Значения лесистости, fl, %	Коэффициент структуры сети, K							
	1	2	3	4	5	6	7	8
10	0,98	0,93	0,84	0,86	0,85	0,73	0,79	0,77
20	0,90	0,85	0,78	0,82	0,84	0,73	0,69	0,67
30	0,81	0,79	0,75	0,77	0,82	0,77	0,71	0,66
40	0,75	0,75	0,75	0,76	0,78	0,74	0,68	0,64
50	0,73	0,73	0,71	0,71	0,70	0,66	0,63	0,60
60	0,72	0,71	0,68	0,64	0,61	0,58	0,56	0,55
70	0,72	0,69	0,63	0,59	0,55	0,52	0,52	0,52
80	0,67	0,64	0,57	0,53	0,50	0,49	0,49	0,49
90	0,61	0,56	0,50	0,48	0,47	0,46	0,46	0,47
100	0,53	0,49	0,45	0,44	0,44	0,44	0,45	0,45