

Т.В. Маслова, М.М. Сусідко

## **ОЦІНЮВАННЯ ЗВОЛОЖЕНОСТІ ГІРСЬКИХ ВОДОЗБОРІВ ПРИ МАТЕМАТИЧНОМУ МОДЕЛЮВАННІ ДОЩОВИХ ПАВОДКІВ**

Розроблено процедуру оцінювання зволоженості водозбору, яка не потребує тривалого моделювання в оперативних умовах. При цьому зволоженість водозбору виражено через її дефіцит (ДЗВ). З цією метою шляхом моделювання стоку води з басейнів Тиси, Дністра та Пруту за багаторічними даними отримано значення дефіциту зволоженості водозбору наприкінці передпаводкових періодів. Їх значення коливаються, зазвичай, у межах 10-50 мм. Вони поставлені в залежність від модулів стоку перед паводками і висоти місцевості. Значення ДЗВ визначаються як початкові вхідні під час модельних обчислень перебігу стоку в період паводків. Оскільки модель дощового стоку дозволяє враховувати неоднорідність ландшафтних і гідрометеорологічних умов через виділення часткових площ, відповідно для кожної з них визначають показники дефіциту зволоженості водозбору. Таке рішення показало досить високу ефективність його застосування в басейнових прогностичних системах Карпатського регіону.

### **Суть питання**

Зволоженість гірського водозбору є один з важливих показників його стану перед паводком. Від зволоженості водозбору залежать втрати дощової води на затримання на поверхні та в підповерхневому шарі, фільтрація води в підґрунтя. Ці процеси враховано в математичній моделі формування паводкового стоку, яку застосовують для прогнозування перебігу стоку під час паводків у Карпатах.

Кількісне значення зволоженості водозбору не можна отримати безпосередньо, наприклад, вимірюючи вологість ґрунту на окремих площах. Якщо на рівнинній території вологість ґрунту, виміряна на сільськогосподарських угіддях, до певної міри характеризує зволоженість водозбору, то в гірській місцевості через розмаїття ландшафтних умов отримати таким способом кількісні показники зволоженості неможливо. З огляду на такі обставини розроблено процедуру оцінювання зволоженості

водозбору залежно від модулів стоку перед паводками й від висоти місцевості.

### Модельне оцінювання зволоженості водозбору

В структурі математичної моделі дощового стоку, яку використовують у басейнових прогностичних системах на річках Карпатського регіону, враховано особливості його формування, властиві гірській місцевості. При цьому опис процесів, які відбуваються на водозборі, схематизовано, щоб під час застосування моделі достатньо було б користуватися тільки інформацією зі стандартної мережі спостережень [1, 4].

Вихідні засади та принципи побудови моделі враховують особливості гірських водозборів, для яких характерні умови, що сприяють утворенню підповерхневого стоку. Таким чином, річковий водозбір чи його часткова площа подано в моделі як динамічну систему, що складається із трьох умовних ємкостей, у яких утворюються генетично різні види стоку води – поверхневий, підповерхневий та підґрунтовий.

Якщо виникає потреба враховувати нерівномірність водоутворення або відмінності в умовах переміщення паводкових хвиль по річковій мережі, то водозбір ділять на часткові площі й до кожної з них, тобто до кожного просторового об'єкта, застосовують оптимальний варіант моделі. У цьому випадку річковий басейн розглядають як басейнову імітаційну систему, що має декілька паралельних чи послідовних підсистем [3-5].

Модель описує елементарні процеси, які відбуваються на водозборі: випаровування, поверхнєве затримування, просочування води в ґрунт і підґрунтя, накопичення її в підповерхневому шарі, водоутворення різних видів стоку.

Зволоженість водозбору виражають через її дефіцит –  $dt$ , який оцінюють методом водного балансу, а саме:

$$d(t) = \begin{cases} \sum_0^{\tau=t} [E(\tau) + \delta d(\tau) + i_0 - h(\tau)] \Delta t, & P(\tau) > 0, \\ \sum_0^{\tau=t} [E(\tau) + \delta d(\tau)] \Delta t, & P(\tau) = 0. \end{cases} \quad (1)$$

Пояснення до системи рівнянь (1):

а)  $E(t)$  – інтенсивність випаровування з поверхні водозбору:

$$E(t) = [K_1 + K_2 U(t)] D(t) \cdot \exp[-d(t)/W_m], \quad (2)$$

де  $K_1$ ,  $K_2$  - коефіцієнти;  $U(t)$  - швидкість приземного вітру, м/с;  $D(t)$  - дефіцит вологості повітря, гПа;  $d(t)$  - дефіцит вологості діючого шару ґрунту та підґрунтя, мм;  $W_m$  - максимальна вологоємність діючого шару ґрунту та підґрунтя, в якому формується підповерхневий стік.

б)  $\delta d(t)$  – інтенсивність зміни зволоженості водозбору внаслідок стікання води, мм:

$$\delta d(t) = K_5 \exp[-K_4 d(t - \Delta t)] [W_m - d(t - \Delta t)], \quad (3)$$

де  $K_4$  - параметр, який відображає зміну зволоженості водозбору внаслідок відтоку води;  $K_5$  - параметр, який відбиває вплив зволоження поверхні водозбору за попередній проміжок часу на величину підповерхневого стоку;  $\Delta t$  - розрахунковий інтервал, години.

в)  $i_0$  – інтенсивність фільтрації води за межі ґрунту та підґрунтя (поповнення підґрунтового стоку), мм;

г)  $h(t)$  – інтенсивність затримання води в ґрунті та підґрунті, мм:

$$h(t) = \begin{cases} d(t - \Delta t) / K_3, & h(t) < P(t) - E(t), \\ P(t) - E(t), & h(t) \geq P(t) - E(t), \end{cases} \quad (4)$$

де  $K_3$  – параметр, який визначає здатність підповерхневого шару ґрунту й підґрунтя до вбирання та дренажування води;  $P(t)$  – інтенсивність опадів, мм.

### **Розроблена процедура оцінювання зволоженості водозбору**

Математична модель дощового стоку дозволяє оцінювати кількісні значення зволоженості водозбору перед початком поточного паводку через її дефіцит шляхом безперервного моделювання згідно з розрахунковим виразом (1). При цьому модельні обчислення починають з того моменту (добі), коли можна вважати, що водозбір повністю зволожений, тобто дефіцит зволоженості дорівнює нулю ( $d(t) = 0.0$ ).

Оцінюючи таким способом зволоженість водозбору, модельні обчислення розпочинають з весняного періоду після закінчення сніготанення або ж від попереднього високого дощового паводку, коли почало зменшуватися водовіддавання. В оперативній практиці такий підхід спричиняє часто великі труднощі, тому що доводиться залучати для розрахунків значний обсяг метеорологічних матеріалів за передпаводковий період у вигляді вхідних функцій, а саме: інтенсивності опадів, дефіциту вологості повітря та швидкості приземного вітру. Кожна

з цих функцій є результатом певним чином опрацьованої інформації з усіх пунктів гідрометеорологічних спостережень і характеризує перебіг у часі середніх за площею на частковій площі водозбору добових значень відповідних метеорологічних величин [1]. Іноді опрацьовувати дані спостережень та моделювати дефіцит зволоженості доводиться за декілька місяців, хоча не завжди його результати стають потрібними (у разі, якщо дощові паводки у цьому році можуть зовсім не спостерігатися).

З огляду вищезазначених обставин виникла потреба розробити таку процедуру оцінювання дефіциту зволоженості водозбору, яка виключала б тривале його моделювання за передпаводковий період. Для цього використано результати моделювання дощових паводків на 18 малих гірських річках у басейнах Тиси, Дністра та Пруту (табл. 1).

Таблиця 1

Перелік водозборів

Річка – створ	Площа водозбору, км <sup>2</sup>	Середня висота водозбору, м абс.
Басейн р. Тиси		
Чорна Тиса – Ясіня	194	1000
Тересва – Усть Чорна	572	1100
Боржава – Довге	408	620
Латориця– Підполоззя	324	720
Стара – Зняцьово	224	300
Уж – Жорнава	286	670
Басейн р. Дністра		
Дністер – Стрілки	384	620
Тисмениця– Дрогобич	250	390
Стрий – Матків	106	860
Яблонька – Турка	136	690
Рибник – Майдан	159	830
Орава – Святослав	204	860
Свіча – Мислівка	201	1000
Лімниця – Осмолода	203	1200
Бистриця Солотвинська – Гута	112	1100
Басейн р. Пруту		
Прут – Кременці	366	1000
Білий Черемош – Яблуниця	552	1200
Путила – Путила	181	960

Значення дефіцитів зволоженості водозборів наприкінці передпаводкових періодів за багаторічними даними коливаються в межах 10-50 мм. Їх значення поставлені в залежність від середніх за 3 доби модулів стоку перед паводками та середньою висотою водозборів. Таким чином отримано можливість оцінювати дефіцити зволоженості та задавати їх під час модельних обчислювань перебігу стоку в період дощових паводків як початкові дані. Узагальнені залежності показників дефіциту зволоженості наведено в таблиці 2.

Таблиця 2

Узагальнена залежність значень дефіциту зволоженості від модулів стоку напередодні паводків

Висотне положення водозбору (середня висота)	Значення дефіциту зволоженості (мм) за модуль стоку, л/(с·км <sup>2</sup> )			
	≤ 10	20	30	≥ 40
Високогір'я 1000 м абс.	35 - 45	30 - 35	25 - 30	20 - 25
Високогір'я 800 м абс.	30 - 35	25 - 30	20 - 25	15 - 20
Середньогір'я, Передгір'я 600 м абс.	25 - 30	20 - 25	15 - 20	10 - 15

Вищезазначену залежність можна подати в аналітичному вигляді:

$$d = \begin{cases} 14,0 - 0,5M + 0,03H, & H > 600, \\ 32,0 - 0,5M, & H \leq 600, \end{cases} \quad (5)$$

де  $d$  – дефіцит зволоженості, мм;  $M$  – модуль стоку (середній за 3 доби), л/(с км<sup>2</sup>);  $H$  – середня висота водозбору, м абс.

### Висновки

Запропоновану процедуру оцінювання зволоженості гірського водозбору через залежність її дефіциту від модуля стоку наприкінці передпаводкового періоду та середньої висоти водозбору доцільно застосовувати в гідрологічній практиці. Значення цього показника – це вхідні дані модельного обчислювання перебігу стоку в період дощових паводків.

Оскільки математична модель формування дощового стоку дозволяє враховувати просторову неоднорідність ландшафтних і гідрометеорологічних умов у річковому басейні шляхом виділення часткових площ, то відповідно для кожної з них потрібно визначати показники дефіциту зволоженості.

Розглянуте рішення показало досить високу ефективність його застосування в басейнових прогностичних системах, які задіяні в Карпатському регіоні.

\* \*

*Разработана процедура оценивания увлажненности водосбора, которая исключает необходимость продолжительного моделирования в оперативных условиях. При этом увлажненность водосбора выражается через её дефицит (ДУВ). С этой целью путем моделирования стока воды с бассейнов Тисы, Днестра и Прута по многолетним данным получены значения дефицитов увлажненности водосборов перед паводком. Их значения колеблются обычно в пределах 10-50 мм. Они поставлены в зависимость от модулей стока перед паводками и от высоты местности. Значения ДУВ задаются как начальные входные данные при модельных расчетах стока во время паводков. Поскольку модель дождевого стока позволяет учитывать неоднородность ландшафтных и гидрометеорологических условий путем выделения частных площадей, соответственно для каждой из них определяются значения дефицита увлажненности водосбора.*

*Такое решение показало достаточно высокую эффективность применения его в бассейновых прогностических системах Карпатского региона.*

\* \*

1. *Соседко М.Н.* Особенности применения математической модели формирования дождевого стока для расчета паводков в горной местности // Тр. УкрНИГМИ. – Вып. 181, – М.: Гидрометеиздат, 1980. – С. 59-73.
2. *Соседко М.Н.* Порядок оптимизации параметров математической модели формирования дождевого стока, применяемой в условиях горной местности // Тр. УкрНИГМИ. - Вып. 183. – М.: Гидрометеиздат, 1980. – С. 15-21.
3. *Соседко М.Н.* Пример имитационной системы формирования стока в речном бассейне // Тр. УкрНИИ Госкомгидромета. – Вып. 222 – М.: Гидрометеиздат, 1987. – С. 61-69.
4. *Соседко М.М.* Математичне моделювання процесів формування стоку як основа прогностичних систем // Гідрологія, гідрохімія, гідроекологія. Т. 1 – К.: Ніка-Центр, 2000. – С. 32-40.
5. *Luk'yanets O.I., Sosyedko M.M.* Information and forecasting system in the Tisza river basin. 20<sup>nd</sup> Conference of the Danube Countries, Compact-disk, Bratislava, Slovakia. – 2000.

*Український науково-дослідний  
гідрометеорологічний інститут, Київ*