

**Ключові слова:** відкрита гідродинамічна система «потік-русло»; потужність потоку; гідроморфологічні параметри; динамічна рівновага системи; меандрування русла; тип русла; експоненціальний закон розвитку системи.

**Иерархическое строение гидродинамической системы «поток-русло» на ее наивысшем структурном уровне самоорганизации**

**Онищук В.В.**

На основе материалов многолетних лабораторных и полевых экспедиционных исследований русловых процессов рек Украинских Карпат выполнено аналитическую оценку типов русел и установлено экспоненциальный закон развития процессов руслоформирования от истока до устья.

**Ключевые слова:** открытая гидродинамическая система «поток-русло»; мощность потока; гидродинамические параметры; динамическое равновесие системы; меандрирование русла; тип русла; экспоненциальный закон развития системы.

**Hierarchy structure of dynamic system «stream - channel» on highest structural level of self-organization**

**Onyschuk V.V.**

Based on the materials for long-term period of laboratorial and field research of river channel processes of Ukrainian Carpathian rivers, the analysis of channel types was done. Exponential principle of channel forming processes from source to river mouth was determined.

**Keywords:** free dynamic system «stream - channel»; stream power; hydrodynamic parameters; dynamic balance of system; channel meandering; channel type; exponential principle of system evolution.

*Надійшла до редколегії 02.09.2012*

УДК 556.16.06+519.711.3

**Москаленко С.О.**

*Український науково-дослідний гідрометеорологічний інститут, м. Київ*

**ОЦІНКА ДОСТОВІРНОСТІ ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ВОДОУТВОРЕННЯ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ДОЩОВИХ ПАВОДКІВ ДЛЯ МАЛИХ ВОДОЗБОРІВ ПРАВОБЕРЕЖЖЯ ПРИП'ЯТІ**

**Ключові слова:** дощовий паводок; процеси формування стоку; водоутворення; математична модель; оптимальні параметри моделі; гідрографічні та морфометричні характеристики водозборів

**Вступ.** Математичні моделі, що описують процеси формування стоку на водозборах річок, включають певну кількість параметрів, які відображають об'єктивні фізичні характеристики та особливості водозборів.

Практична реалізація будь-якої моделі неможлива без її ідентифікації. Структура концептуальних і фізико-математичних моделей часто задається апріорі, а ідентифікація зводиться, по суті, до оцінювання параметрів [1-3].

Необхідність і важливість розгляду підходів до ідентифікації параметрів математичних моделей стоку, слід пояснити тими обставинами, що при їх

*Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. – 2012. – Т.2(27)*

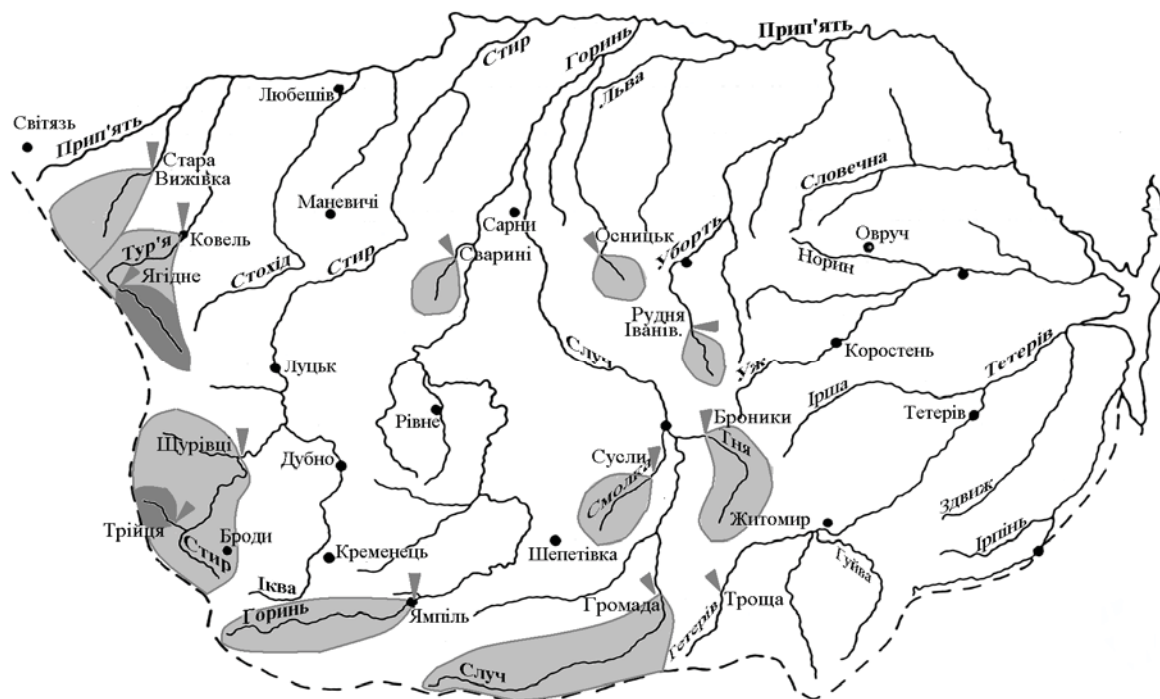
визначенні застосовується метод оптимізації [7]. А в зв'язку з цим, відсутня певна чіткість у постановці завдання. Оскільки ми оперуємо обмеженими даними про поводження водозбору в період формування дощового паводку, виникає необхідність оцінювати оптимальні параметри, виходячи з елементарних процесів стокоформування. Технологія встановлення оптимальної структури моделі й оцінювання параметрів формування стоку, що входять у розрахункові вирази, нерідко набуває значно більшої ваги, ніж створення самих моделей, а тому потребує застосування науково-обґрунтованої методології [3, 10]. Параметри моделі повинні бути узагальнені, склавши певний розділ інформаційної бази даних для моделювання процесів стоку для річок досліджуваної території. Мається на увазі не тільки прийнятність кінцевого результату моделювання, тобто одержання розрахованих гідрографів, близьких до спостережених, але й встановлення достовірних, фізично обґрунтованих і стійких значень параметрів [2, 4, 9, 10].

**Мета проведених досліджень.** Узагальнення оптимальних параметрів водоутворення математичної моделі процесів формування дощових паводків для малих водозборів Правобережжя Прип'яті та оцінка достовірності їх визначення.

**Матеріали та методи дослідження.** Для розрахунку початкових параметрів та, в подальшому, знаходження оптимальних їх значень, було виділено басейни, де неоднорідність вихідної інформації та характеристик самого водозбору в явному вигляді не враховується. Очевидно, таке припущення справедливе лише для невеликих водозборів, які можна умовно вважати однорідними. У басейні Правобережжя Прип'яті для оптимізації параметрів процесів формування дощового стоку через процедуру коригування їхніх значень в апріорно встановлених межах змін цих параметрів шляхом мінімізації критерію якості, виконано за даними з 12 малих водозборів (рис. 1), які знаходяться в різних ландшафтних умовах – на Волинсько-Подільській і Придніпровській височинах, на Поліській низовині, тобто з різними середніми висотами водозборів, похилами, ґрунтами, залісеністю та іншими чинниками. Це стосується, звичайно, тільки стокоформуючих параметрів моделі.

Для опису стокоутворення на водозборі, в моделі процесів формування паводкового стоку (ДОЩ-3) працює 10 констант і параметрів. Зі всього загалу параметрів моделі, виділяються територіально-загальні («постійні») та регіональні («змінні») параметри. Значення постійних параметрів закладені в розрахункових виразах моделей і не залежать від ландшафтних і гідрологічних умов, оскільки вони отримані на основі вивчення процесів, що супроводжують формування стоку води (водовіддача, зміна стану підстильної поверхні). Змінні параметри оцінюються для певних конкретних просторових об'єктів, і рівень змінності цих параметрів різний. Частина з них оцінюється за даними гідрометеорологічних спостережень – фільтрація, виснаження, випаровування. Значення інших параметрів визначається лише в

певному діапазоні, а потім уточнюються шляхом застосування оптимізаційних процедур [10].



Водозбори:

*Р.Ви́жівка – Стара Ви́жівка, р. Тур'я – Ягідне, р. Тур'я – Ковель, р. Стир – Щурівці, р. Родоставка – Трійця, р. Горинь – Ямпіль, р. Вирка – Сварині, р. Случ – Громеда, р. Смолка – Сусли, р. Тня – Броники, р. Льва – Осницьк, р. Уборть – Рудня Іванівська*

**Рис. 1. Річкові водозбори в басейні Правобережжя Прип'яті для розрахунку початкових модельних параметрів процесів формування дощового стоку та їх оптимізації**

Відповідно до структури моделі ДОЩ-3 та шляхом воднобалансових рішень встановлено, що найважливіший вплив на водоутворення – під час формування дощового паводку, а тому й на кінцеві результати моделювання, мають параметри:  $k_3$  – параметр, який визначає здатність підповерхневого шару ґрунту і підґрунтя до вбирання (інфільтрації) та дренажування води,  $W_m$  – максимальна вологоємність діючого шару ґрунту та підґрунтя, в якому формується підповерхневий стік, і  $\eta$  – відносний показник діючої площі водозбору та місткості безстокових заглибин на водозборі [8–10].

У цій роботі, згідно з поставленою метою, розглядаються процеси формування стоку, які відбуваються лише на водозборі. В результаті ідентифікації модельних параметрів отримано оптимальні значення вищезазначених параметрів (табл. 1), які в подальшому використано для оцінки достовірності їх визначення.

Визначення оптимальних параметрів для всіх цих річкових водозборів в басейні Правобережжя Прип'яті здійснено на основі гідрометеорологічних даних, які характеризують паводки різної висоти.

Таблиця 1. Оптимальні значення параметрів водоутворення математичної моделі формування дощового стоку (ДОЩ-3) для малих водозборів Правобережжя Прип'яті

Малі басейни, річка – створ	Символічна позначка параметра та значення параметра для часткового водозбору		
	$k_3$	$W_m$	$\eta$
Вижівка - Стара Вижівка	50,0	168	0,19
Турія - Ягідне	25,1	239	0,25
Турія - Ковель	70,5	130	0,26
Стир – Щуровичі	52,4	170	0,35
Радоставка - Трійця	39,2	126	0,22
Горинь -Ямпіль	82,6	88,5	0,09
Вирка -Сварині	33,0	224	0,15
Случ - Громада	60,0	156	0,14
Смілка - Сусли	27,4	178	0,21
Льва – Осницьк	14,2	230	0,26
Тня - Броніки	63,3	118	0,33
Уборть – Рудня Іванівська	50,5	148	0,18

*Примітка:* Розрахунковий інтервал часу – 12 годин.

**Результати дослідження.** Щоб оцінити вищеназвані модельні параметри ( $k_3$ ,  $W_m$ ,  $\eta$ ) стосовно їхнього впливу на водовіддачу та достовірності їх визначення в результаті оптимізації, було виконано відповідний аналіз. Особливу увагу слід приділяти, якраз, цим трьом параметрам, тому що від їхніх значень залежить інтенсивність втрат води на поверхневе затримання та поверхневий і підповерхневий стік [7, 8, 10]. Параметри моделі відображають гідрографічні характеристики річок, ґрунтові, морфометричні, гідравлічні властивості водозборів, а моделююча система процесів формування дощового стоку – часткові процеси формування стоку води на кожному частковому водозборі: випаровування, затримання води на поверхні водозбору та у ґрунтовому шарі, інфільтрація, фільтрація, утворення поверхневого та підповерхневого (внутрішньоґрунтового) стоку. Тобто, для оцінки достовірності оптимальних параметрів водоутворення, можна використати їхні узагальнення, в залежності від морфометричних властивостей водозборів або гідрографічних характеристик річок [5].

Максимальна водоутримуюча здатність  $W_m$  діючого шару ґрунту, у якому формується підповерхневий стік, змінюється по території Правобережжя Прип'яті, і значення цього параметру можна приблизно оцінити за середньою висотою водозбору  $H$  або його залісенністю  $f_n$  (рис. 2).

Аналітично, параметр  $W_m$  можна подати у вигляді рівнянь (1;2):

$$W_m = -0,73H + 328,5, \quad (1)$$

$$W_m = 2,94f_n + 106,2. \quad (2)$$

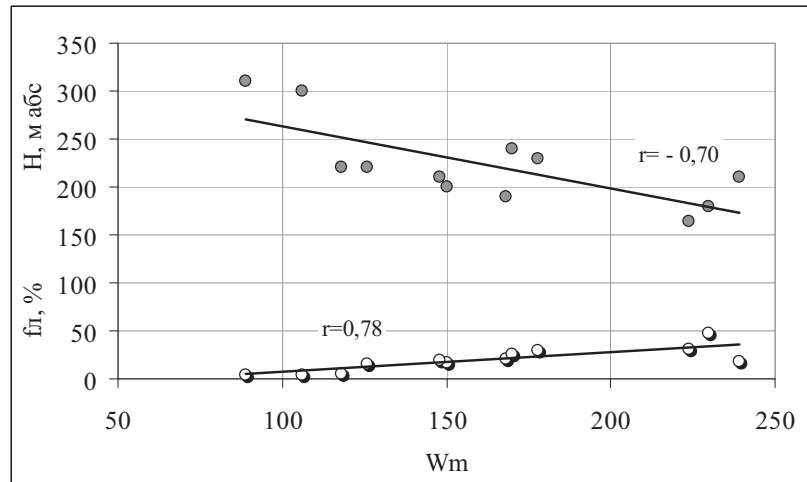


Рис.2. Залежність параметра  $W_m$  для річок Правобережжя Прип'яті від середньої висоти водозборів ( $H$ , м абс.) та їх залісненості ( $f_l$ , %)

Параметри  $K_3$  і  $W_m$  діють у моделі при обчисленні дефіциту вологості ґрунту, інтенсивності інфільтрації, формуванні підповерхневого водоутворення та затримання води на поверхні водозбору. Отже, ці параметри досліджувалися у вигляді відношення  $W_m/K_3$ , яке визначає максимально можливий шар водовіддачі підповерхневого стоку. На рис.3 показано, що зі збільшенням залісненості  $f_l$  водозборів ця величина зростає.

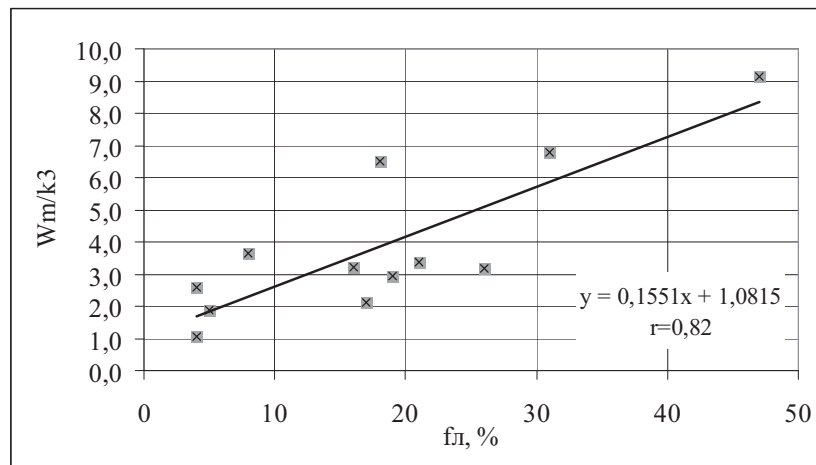


Рис.3. Залежність відношення параметрів  $W_m/k_3$  для річок Правобережжя Прип'яті від залісненості ( $f_l$ , %) їх водозборів

На водозборах, які залісені до 20-25%, шар водовіддачі залишається приблизно на рівні 2,0–3,5 мм/12 год. Кінцеву залежність можна подати в аналітичному вигляді так (3):

$$W_m / k_3 = 0,155 f_l + 1,082 . \quad (3)$$

Значення параметра  $\eta$  узгоджуються з коефіцієнтами стоку під час високих інтенсивних паводків. В умовах Правобережжя Прип'яті коефіцієнти стоку досягають значень 0,20-0,50, в залежності від похилу місцевості водозбору. При цьому, шляхом дослідного моделювання, отримано наступне розрахункове рівняння (4):

$$\eta = 0,166 I + 0,107 , \quad (4)$$

де  $I$  – середньозважені похили річок(‰).



Графічне відображення залежності подано на рис.4.

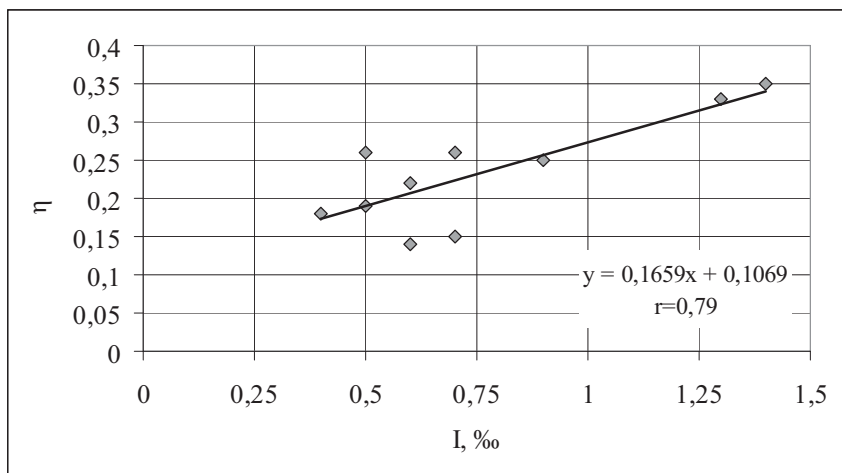


Рис.4. Залежність параметра  $\eta$  для річок Правобережжя Прип'яті від їх середньозваженого похилу ( $I$ , ‰)

Параметри повинні відображати об'єктивні характеристики конкретних водозборів і, бажано, мати конкретний фізичний зміст. Тому достовірності оцінювання параметрів, як показав досвід, повинна приділятися належна увага [10-11]. Як бачимо з рис. 2-4 всі залежності параметрів водоутворення мають коефіцієнти парної кореляції в межах від 0,7 до 0,82.

**Висновки.** Внаслідок дослідного моделювання дощових паводків визначено оптимальні параметри водоутворення ( $k_3$ ,  $W_m$ ,  $\eta$ ) для малих водозборів Правобережжя Прип'яті, встановлено взаємозв'язок між цими параметрами та гідрографічними і морфометричними показниками річкових водозборів. Визначення ймовірної області змінювання модельних параметрів, дозволяє звузити межі їхньої невизначеності при застосуванні оптимізаційних процедур, що дуже важливо при розробленні басейнових прогностичних систем, оскільки обчислення водоутворення в прогностичних системах виконується для окремих часткових площ. Тому буде правомірним, орієнтуючись на значення оптимальних параметрів моделі для малих водозборів (з площами переважно 300-1500 км<sup>2</sup>), застосувати їх для моделювання стоку з часткових площ, беручи до уваги подібність гідрографічних та морфометричних особливостей.

Також, виконане узагальнення параметрів дає можливість застосувати зворотні оцінки – за гідрографічними та морфометричними характеристиками водозборів визначати значення відповідних параметрів водоутворення і обчислювати стік з площ, які не мають відповідних спостережень у часовому та просторовому відношеннях.

#### Список літератури

1. Кучмент Л. С. Математическое моделирование речного стока / Л. С. Кучмент. – Л.: Гидрометеиздат, 1972. – С.115-118. 2. Георгиевский Ю. М. Гидрологические прогнозы / Ю. М. Георгиевский, С. В. Шаночкин – СПб. : изд-во РГГМУ, 2007. – С. 140–169. 3. Применение математических моделей в задачах расчета и прогноза дождевого стока (методическое руководство) / [Соседко М., Димитров Д., Кочелаба Е., Янков В.] – София : ИМГ БАН, К. : УкрНИГМИ, 1990. – 118 с. 4. Москаленко С. О. Оцінювання поверхневого та підповерхневого водоутворення у процесі моделювання дощових паводків на малих

річках Правобережжя Прип'яті / С. О. Москаленко // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. – 2011. – Т. 3(24). – С. 87–93. **5.** Лук'янець О. І. Ландшафтні характеристики як основа оцінювання параметрів математичних моделей стоку води / О. І. Лук'янець // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. – 2003. – Т. 5. – С. 78–84. **6.** Соседко М. Н. Анализ чувствительности математической модели формирования дождевого стока на горном водозборе / М. Н. Соседко // Тр. УкрНИИ Госкомгидромета. – 1986. – Вып. 212. – С. 85–93. **7.** Соседко М. Н. Методика идентификации математической модели дождевого стока на горных водозборах / Соседко М. Н., Панайотов Т., Янков В. // Проблемы на метеорологията и гидрологията. – София : Наука, 1987. – С. 35–44. **8.** Приймаченко Н. В. Узагальнення параметрів математичної моделі формування дощового стоку на прикладі малих водозборів басейну Дністра / Н. В. Приймаченко // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. – 2010. – Т. 18. – С. 47–55. **9.** Дутко В. О. Из досвіду ідентифікації параметрів математичної моделі дощового стоку в залежності від орографії місцевості / В. О. Дутко, М. М. Соседко // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. – 2011. – Т. 3 (24). – С. 73–80. **10.** Лук'янець О. І. Методично-технологічна схема оцінювання оптимальних параметрів басейнової прогностичної системи / О. І. Лук'янець // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. – 2005. – Т. 7 – С. 40–49. **11.** Сусідко М. М. Математичне моделювання процесів формування стоку як основа прогностичних систем / М. М. Сусідко // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. – 2000. – Т. 1. – С. 32–40.

**Оцінка достовірності визначення параметрів водоутворення математичної моделі дощових паводків для малих водозборів Правобережжя Прип'яті**

*Москаленко С. О.*

*Проведено узагальнення оптимальних параметрів водоутворення математичної моделі процесів формування дощових паводків для малих басейнів Правобережжя Прип'яті та оцінка достовірності їх визначення в залежності від гідрографічних та морфометричних характеристик досліджуваних водозборів.*

*Ключові слова:* дощовий паводок; процеси формування стоку; водоутворення; математична модель; оптимальні параметри моделі; гідрографічні та морфометричні характеристики водозборів.

**Оценка достоверности определения параметров водообразования математической модели дождевых паводков для небольших водосборов Правобережья Припяти**

*Москаленко С. А.*

*Проведено обобщение оптимальных параметров водообразования математической модели процессов формирования дождевых паводков для бассейнов Правобережья Припяти и оценка достоверности их определения в зависимости от гидрографических и морфометрических характеристик исследуемых водосборов.*

*Ключевые слова:* дождевой паводок; процессы формирования стока; водообразование; математическая модель; оптимальные параметры модели; гидрографические и морфометрические характеристики водосборов.

**Assessment of reliability of determination of parameters of water yield of mathematical model of rainfall flood for small river basins of the Right bank of Pripyat**

*Moskalenko S. O.*

*Are provided generalization of optimum parameters of water formation of mathematical model of processes of formation of rain high waters for small river basins of the Right bank of Pripyat and an assessment of reliability of their definition depending on hydrographic and morphologic characteristics of studied river basins.*

*Keywords:* rainfall flood; processes of formation of a runoff; water education; mathematical model; optimum parameters of model; hydrographic and morphologic characteristics of river basins.

**Надійшла до редколегії 22.08.2012**