

## ПРИРОДНИЧО-ГЕОГРАФІЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

УДК 556.16

DOI: <https://doi.org/10.15407/ugz2018.02.026>

**В.А. Овчарук, Є.Д. Гопченко**

Одеський державний екологічний університет

### СУЧАСНА МЕТОДИКА НОРМУВАННЯ ХАРАКТЕРИСТИК МАКСИМАЛЬНОГО СТОКУ ВЕСНЯНОГО ВОДОПІЛЛЯ РІВНИННИХ РІЧОК УКРАЇНИ\*

Мета дослідження – обґрунтування та реалізація єдиної розрахункової методики визначення характеристик максимального стоку весняного водопілля для річок рівнинної території України з урахуванням можливих змін клімату. У статті представлено аналітичний огляд нормативної бази стосовно розрахунків максимального стоку річок, який показав, що незважаючи на великий досвід, накопичений вченими, залишається ще багато невирішених питань у зв'язку з багатофакторністю досліджуваного явища та регіональними особливостями формування максимального стоку річок. Авторами розроблено універсальний підхід, що полягає у приведенні аналізованих структур до вигляду безрозмірних комплексів, за допомогою яких можливе моделювання без залучення вихідних даних. З метою обґрунтування та реалізації єдиної для рівнинної території України розрахункової методики запропоновано новий модифікований варіант операторної моделі для визначення максимального стоку весняного водопілля, який дозволяє враховувати можливий вплив змін клімату на розрахункові величини максимальних модулів 1%-ої забезпеченості. Врахування змін клімату виконується шляхом введення окремого коефіцієнта, який базується на порівнянні основних параметрів методики, отриманих на сучасних вихідних даних (максимальних снігозапасах на початок водопілля, опадів за період водопілля та коефіцієнтів стоку) та аналогічних величин, отриманих за даними кліматичного моделювання.

**Ключові слова:** максимальний стік; методологія нормування характеристик; весняне водопілля, зміни клімату.

**V.A. Ovcharuk, Ye.D. Hopychenko**

Odessa State Environmental University

### THE MODERN METHOD OF MAXIMUM SPRING FLOOD RUNOFF CHARACTERISTICS VALUATION FOR THE PLAIN RIVERS OF UKRAINE

The purpose of the study is to substantiate and implement a single calculation methodology for determining the characteristics of the maximum runoff of spring water for rivers of the plain territory of Ukraine, taking into account possible climate change. The article presents the analytical review of the normative base in the field of calculations of maximum runoff of rivers. It showed that despite the vast experience gained by scientists in this issue, the problem is still far from its solution due to the multifactority of the investigated phenomenon and regional features of the formation of the maximum runoff of rivers. The authors propose a universal approach, which consists in representing the analyzed structures to the form of dimensionless complexes, with the help of which simulation is possible without involving the initial data. In order to substantiate and implement the unified method for calculation methodology for plain territory of Ukraine, a new modified version of the operator model for determining the maximum runoff of spring flood is proposed, which allows taking into account the possible impact of climate change on the calculated values of the maximum modules of 1% probability of exceeding. Climate change is taken into account by introducing a separate coefficient, based on a comparison of the main parameters of the methodology obtained on the basis of current source data (maximum snow supply at the beginning of the spring flood, precipitation during the spring flood and runoff coefficients), and similar values obtained from climatic modeling data.

**Keywords:** maximum runoff; methodology of valuation of characteristics; spring flood; climate change.

---

\*Дослідження виконано в рамках НДР з фінансування МОН «Науково-методична база для встановлення розрахункових характеристик весняного водопілля в басейні Дніпра в умовах мінливості клімату» (2017-2019 рр., № д.р.0117U002424).

### Актуальність теми дослідження

Максимальний стік річок та наслідки його проходження для прилеглих територій, які зазвичай густозаселені, є фактором потенційної небезпеки для людини з давніх часів. Проблема мінімізації негативних наслідків від повеней різного походження залишається актуальною й нині.

За даними Центру досліджень епідеміології катастроф (CRED), протягом останніх десятиріч на більшій частині нашої планети спостерігалася рекордно велика кількість стихійних лих природного характеру, від яких постраждало близько 2,7 млрд людей, тобто більше третини населення планети. За даними CRED, для території України найбільша повторюваність небезпечних природних явищ (51,9%) припадає на паводки. Зокрема, згідно з рейтингом CRED, у 2008 році Україна була на дев'ятому місці за наслідками паводку, коли постраждало близько 225 тис. і загинуло 38 людей<sup>1</sup>.

За показником ймовірного розподілу економічних втрат найбільші збитки очікуються внаслідок посух, але на другому місці з доволі великим відсотком (39,4%) залишаються паводки<sup>2</sup>.

Відповідно до Глобальної доповіді про оцінку небезпеки стихійних лих 2015 року (GAR-2015)<sup>3</sup> за розрахункову величину втрат прийнято середній річний збиток (AAL) – очікувані збитки за рік, пов'язані з виникненням майбутніх небезпек, розраховані за даними тривалого часу спостережень. До основних небезпек віднесено землетруси та паводки, причому величина збитків від паводків становить 99,3% від загальної їх величини й обчислюється сумою понад 1 млн доларів США.

Для більшої частини України, зокрема для рівнинної її частини, характерним є проходження весняного водопілля внаслідок танення снігу та опадів за його період. В окремі роки водопілля можуть набувати катастрофічного характеру, як це спостерігалось у 1931, 1932 та 1970 роках.

<sup>1</sup>Centre for Research on the Epidemiology of Disasters: Internationally Reported Losses 1990-2014 EM-DAT. URL: <http://www.preventionweb.net/countries/ukr/data/>

<sup>2</sup>EM-DAT, Feb. 2015: The OFDA/CRED; International Disaster Database. Université catholique de Louvain Brussels, Belgium. URL: <http://www.emdat.be>

<sup>3</sup>UNISDR 2015. Making Development Sustainable [Electronic resource]: The Future Disaster Risk Management. Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction. Geneva, Switzerland: United Nations Office for Disaster Risk Reduction (UNISDR). Dis

У сучасних умовах, у період кліматичних змін різного масштабу - від регіонального до глобального, за більшістю прогнозних сценаріїв, які розробляють світові експерти, зростає ймовірність настання екстремальних природних явищ, до яких відносяться й водопілля рідкісної ймовірності перевищення.

Вивченню умов формування максимального стоку річок та розробленню розрахункових схем і моделей для його визначення присвячено багато досліджень, як вітчизняних, так і зарубіжних учених. Разом з тим, проблема ще далека від повного вирішення, враховуючи різноманітність умов формування стоку річок у різних фізико-географічних зонах та досить велику кількість факторів, що впливають на величину і характер стоку в періоди паводків і водопілля.

### Стан вивчення питання, основні праці

Дослідженнями в галузі максимального стоку річок свого часу займалися такі відомі вчені-гідрологи як Д.І. Кочерін (1932), М.А. Великанов (1940), А.В. Огієвський (1952), Г.О. Алексєєв (1956), К.П. Воскресенський (1956), Д.Л. Соколовський (1968), а також П.Ф. Вишневський [1], В.І. Мокляк [2], Й.А. Железняк [3] та інші.

В Одеському державному екологічному університеті сформувалася відома в Україні та за її межами наукова школа в галузі теоретичної та прикладної гідрології. Засновниками цієї школи були А.М. Бефані та Н.Ф. Бефані [4, 5 та ін.], нині її очолює Є.Д. Гопченко [5-11]. Фундаментальні праці професора А.М. Бефані присвячені теорії розрахунків максимального стоку річок, головним чином паводкового. Подальшого розвитку теорія максимального стоку А.М. Бефані набула в роботах його учнів, причому не тільки для паводків, а й для весняних водопілля. Окремі напрями досліджень були розвинуті, зокрема, в подальшому в роботах Г.І. Швєбса [12], О.Г. Іваненка (1961), М.В.Лаликіна (1958, 1992), О.М. Мельничука (1992), Б.В. Кіндюка [13], В.А. Овчарук [6-11], Ж.Р. Шакірзанової [7].

В останні роки у дослідженнях велика увага приділяється впливу змін клімату на водний режим річок. В Одеському державному екологічному університеті цей напрямок очолює Н.С. Лобода [8,14]. Крім того, слід відмітити також роботи В.В. Гребеня [15], Л.О. Горбачової [16] та В.І. Вишневського [17].

Напрямки досліджень провідних закордонних учених в основному пов'язані з розробкою

концептуальних моделей формування річкового стоку. Особлива увага приділяється також дослідженням тенденцій багаторічних змін у часових рядах максимального стоку, наприклад, масштабну роботу виконано під керівництвом проф. Г.Блошля [18] (Австрія) для території Європи у 2016-2017 рр. У цьому дослідженні взяли участь 35 вчених з більшості європейських країн, у тому числі з України (Л.О.Горбачова, В.А.Овчарук). Завдання дослідження полягало в зборі та аналізі даних про максимальний стік річок Європи за період з 1960 по 2010 роки. Було зібрано інформацію по 5000 гідрологічних станціях, у тому числі по 261 станції в Україні.

В результаті аналізу хронологічних рядів річних максимумів, а також дат їх спостереження на наявність трендів виявлено райони однорідних трендів [18].

Територія України теж неоднорідна за тенденціями у рядах річних максимумів стоку: на лівобережжі Дніпра та в басейні Сіверського Дінця спостерігається тенденція до більш ранніх дат сніготанення та проходження водопілля, а на решті території, навпаки, наявна тенденція до збільшення випадків зимових паводків замість весняних водопіль.

Мета дослідження – обґрунтування та реалізація єдиної розрахункової методики визначення характеристик максимального стоку весняного водопілля для річок рівнинної території України з урахуванням можливих змін клімату.

### Методи дослідження

Сучасна гідрологічна наука накопичила великий досвід розрахунку характеристик максимального стоку паводків і водопіль. У вітчизняній і світовій практиці запропоновано велику кількість розрахункових схем і методик для визначення характеристик максимального стоку. Але, з іншого боку, велика кількість формул свідчить і про те, що проблема розрахунків стосовно паводків і водопіль ще далека від оптимального вирішення.

В історичному аспекті в гідрології тривалий час переважали суто емпіричні або напівемпіричні регіональні підходи. Свого часу Д.Л. Соколовський, спираючись на геометричну модель паводків і водопіль, зробив спробу надати редуційним формулам деяке теоретичне обґрунтування. У подальшому він здійснив класифікацію формул максимального стоку; насамперед в окремі категорії були виділені паводки і водопілля на річках. За класифікацією Д.Л. Соколовського

[19], при розрахунках максимального стоку водопіль наявна розрахункова база зводиться до двох угруповань, а саме:

- формул редуційних;
- формул об'ємного типу.

До формул максимального стоку дощових паводків віднесені:

- редуційні структури;
- об'ємні формули;
- формули граничної інтенсивності;
- формули, побудовані на гідромеханічних уявленнях стосовно процесів формування максимального стоку.

Така класифікація розрахункових формул, на наш погляд, є формальною, тому що вона спирається лише на загальний вигляд тих чи інших структур, а не на вихідні модельні підходи, які покладені в основу різного роду формул і методик.

Ґрунтовнішою є класифікація формул максимального стоку, розроблена на кафедрі гідрології суходолу Одеського державного екологічного університету [6,7]. Її сутність полягає в тому, що незважаючи на генетичні особливості паводків і водопіль, загальним для них є гідрологічна зумовленість процесів переміщення води у руслах річкових систем. Тому при класифікації формул автори теми до уваги брали лише вихідні модельні підходи.

Зокрема, всю сукупність розрахункових схем умовно можна поділити на 2 групи.

До першої групи відносяться ті з них, які спираються на *геометричну схематизацію* одномодальних паводків і водопіль схилового і руслового стоку. Базовим для них є рівняння:

$$q_m = \frac{q'_m}{1 + \frac{t_p}{T_0}} k_n k_m, \quad (1)$$

в якому  $q_m$  - максимальний модуль руслового стоку;  $q'_m$  - максимальний модуль схилового припливу;  $t_p$  - час руслового добігання паводкових і повеневих хвиль;  $T_0$  - загальна тривалість схилового припливу;  $k_n$  і  $k_m$  - редуційні коефіцієнти, пов'язані з розпластуванням паводкових і повеневих хвиль під впливом руслового добігання та русло-заплавного регулювання.

За окремих припущень з базового рівняння можна отримати структури відомих і поширених при нормуванні паводків і водопіль формул редуційного, а також об'ємного типів.

До другої групи формул відносяться розрахункові схеми, в основі яких лежить *теорія руслових ізохрон*. Реалізація моделі ізохрон здійснюється

шляхом розгляду диференціального рівняння [20]:

$$V \frac{\partial \omega}{\partial x} + \frac{\partial \omega}{\partial t} = \alpha q'_t B_t \quad (2)$$

або вирішення інтегралів, отриманих за допомогою розгорнутої схеми руслових ізохрон:

- при  $t_p < T_0$

$$Q_m = V \int_0^{t_p} q'_t B_t \varepsilon_t dt \quad (3)$$

- при  $t_p \geq T_0$

$$Q_m = V \int_0^{T_0} q'_t B_t \varepsilon_t dt \quad (4)$$

де  $Q_m$  – максимальна витрата води;  $V$  – швидкість руслового добігання;  $B_t$  – ширина водозборів по ізохронах руслового добігання;  $\alpha$  – коефіцієнт щільності руслової мережі на водозборах;  $\omega$  – площа поперечного перерізу русел у площині ізохрон;  $q'_t$  – ординати упорядкованих гідрографів схилового припливу;  $\varepsilon_t$  – коефіцієнт руслозаплавного регулювання паводків і водопіль.

Шляхом деяких перетворень результатів вирішення наведених вище рівнянь можна отримати і загальну розрахункову структуру операторного типу (та її різновидності), формулу граничної інтенсивності, а також формули першої групи – редуційні та об'ємного типів.

Отже, можна дійти висновку, що усі формули максимального стоку, з урахуванням тих чи інших спрощень і припущень, у методологічному відношенні базуються на теорії руслових ізохрон. Аналіз окремих авторських розрахункових пропозицій та порівняння результатів є дуже складним завданням, оскільки на регіональному рівні необхідні параметри, які входять до тієї чи іншої структури.

Автори розробили універсальний підхід, що полягає у приведенні аналізованих структур до вигляду безрозмірних комплексів, за допомогою яких можливе моделювання без вихідних даних.

### Виклад основного матеріалу з обґрунтуванням отриманих наукових результатів

#### Аналіз структури формул у нормативних документах

Відомі дві редакції редуційних формул, які увійшли до базових при складанні нормативних документів – спочатку СН 435-72, згодом – СНіП 2.01.14-83 [8, 21]. Зокрема, для весняного водопілля рекомендується формула:

$$q_m = \frac{k_0 Y_m}{(F + b)^{n_1}} \delta \delta_1 \delta_2 \quad (5)$$

де  $Y_m$  – розрахунковий шар стоку за водопілля;  $\delta$  – коефіцієнт для урахування впливу водойм руслового типу;  $\delta_1$  і  $\delta_2$  – коефіцієнти впливу залісненості й заболоченості на зарегулювання максимального стоку;  $k_0$  – коефіцієнт «дружності» водопілля.

За дослідженнями Є.Д. Гопченка [10, 22], останній являє собою коефіцієнт схилової зарегульованості водопілля:

$$k_0 = \frac{n+1}{n} \frac{1}{T_0} \quad (6)$$

де  $(n+1)/n$  – коефіцієнт часової нерівномірності схилового припливу.

З урахуванням того, що

$$k_0 Y_m = q'_m \quad (7)$$

вираз (5) набуде вигляду (при  $\delta = \delta_1 = \delta_2 = 1,0$ ):

$$q_m = \frac{q'_m}{(F + b)^{n_1}} \quad (8)$$

Параметр  $b$  введений в (5) для того, щоб дещо зменшити ординати для невеликих водозбірних площ. Згідно з [21], у тундрі та лісотундрі  $b=1,0$ , у лісостеповій зоні – 2, у степовій зоні, зоні посушливих степів і напівпустель – 10. На базі (8) можна побудувати безрозмірний комплекс:

$$\frac{q_m}{q'_m} = \frac{1}{(F + b)^{n_1}} \quad (9)$$

де  $q_m/q'_m$  – коефіцієнт загальної редуції. Його фізичні межі: 1,0 – при  $F \rightarrow 0$  і 0 – при  $F \rightarrow \infty$ .

Перевіримо на відповідність цим вимогам рівняння (9), ураховуючи, що за [21] у тундрі й лісотундрі  $n_1 = 0,17$ , у лісостеповій зоні – 0,25, у зонах степовій, посушливих степів і напівпустель – 0,35. Зокрема, для тундри і лісотундри  $(q_m/q'_m)_{F=0} = 1,0$ , у лісостеповій зоні – 0,84, в зонах степу, посушливих степів і напівпустель – 0,45, що добре ілюструє *рис. 1*.

Очевидно, що структура СНіП 2.01.14-83 (5) відповідає фізичним вимогам лише у тундровій і лісотундровій зонах, а найбільші, причому досить істотні, розбіжності мають місце у зонах степовій, посушливих степів і напівпустель. Отже, застосування для території рівнинної України, особливо для південної, степової її частини, структури (5) призводить до істотних помилок, перш за все внаслідок невідповідності її фізичним вимогам в зонах недостатнього та достатнього зволоження.

Слід також звернути увагу на інтегральний характер урахування впливу місцевих факторів (залісненості та заболоченості) на максимальний стік водопіль. З нормативного документа не зрозумі-

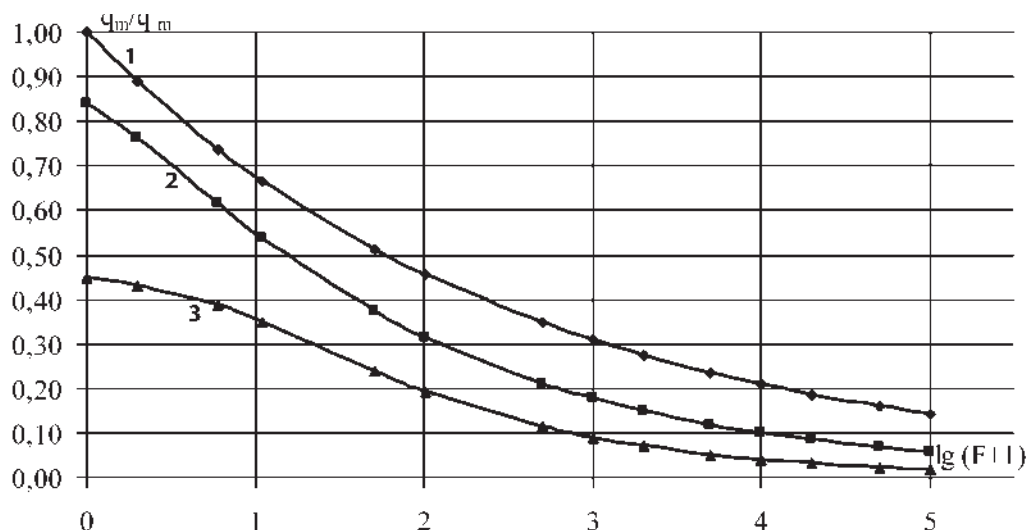


Рис. 1. Залежність відношення  $q_m/q'_m$  від розмірів площі водозборів:

1)  $b = 1,0$ ; 2)  $b = 2,0$ ; 3)  $b = 10$  км<sup>2</sup>.

ло, до яких з двох параметрів ( $k_0$  чи  $Y_m$ ) відносяться поправки  $\delta_1$  і  $\delta_2$ . Можна розглядати варіанти, коли залісеність або заболоченість впливають лише на одну складову чисельника у формулі (1), в окремих варіантах – на обидві, можливі й інші сполучення їх взаємодії.

У 2003 р. СНіП 2.01.14-83 юридично скасовано його засновниками – Держбудом Росії і Державним гідрологічним інститутом (м. Санкт-Петербург), йому на заміну в Росії прийнято СП 33-101-2003<sup>4</sup>. Відмінності в їх науково-методичних підходах пов'язані з обсягом вихідної інформації і пакетів різного роду допоміжних карт тих чи інших розрахункових параметрів.

В інших районах колишнього СРСР пішли різними шляхами. Так, в Білорусі видано Посібник 1-98 до СНіП 2.01.14-83. Застосовані в посібнику методи інженерно-гідрологічних розрахунків ґрунтуються на обробці та аналізі даних багаторічних спостережень на мережі станцій і постів Білоруського державного комітету по гідрометеорології по 1994 рік включно (порівняння зі СНіП 2.01.14-83 - по 1975 рік). Повністю перероблено розділ «Визначення розрахункових гідрологічних характеристик при відсутності даних гідрометричних спостережень». На основі даних спостережень вивчених річок Білорусі змінено методи визначення річного і мінімального стоків.

Доповнено вимоги щодо визначення максимального стоку весняного водопілля та дощових паводків при розрахунках у разі неможливості вибору аналога.

У Молдові створено новий нормативний документ CPD.01.05-2012<sup>5</sup>, в якому поряд з формулами СНіП 2.01.14-83 пропонуються альтернативні варіанти розрахунку, запропоновані вченими ОДЕКУ - проф. Лободою Н.С. (розрахунки річного стоку) та проф. Гопченком Є.Д. (розрахунки максимального стоку).

В Україні, також як і в Молдові, виконано роботу по створенню нового нормативного документа ДБН В.2.4-8:2014 «Визначення розрахункових гідрологічних характеристик», але на даний час він ще офіційно не затверджений. В новому варіанті нормативного документа для України рекомендується, поряд з редуційними структурами, для визначення максимального стоку рівнинних річок в період весняного водопілля використовувати операторну методику, запропоновану вченими Одеського державного екологічного університету.

#### **Операторна модель формування максимального стоку річок в умовах змін клімату**

У 2000 р. Є.Д.Гопченко запропонував підхід до побудови розрахункової бази для нормування

<sup>4</sup>СП 33-101-2003. Определение основных расчетных гидрологических характеристик. М.: Госстрой России, 2003. 74 с.

<sup>5</sup>Determinarea caracteristicilor hidrologice pentru Condițiile republicii Moldova. CPD.01.05-2012. 178 p.

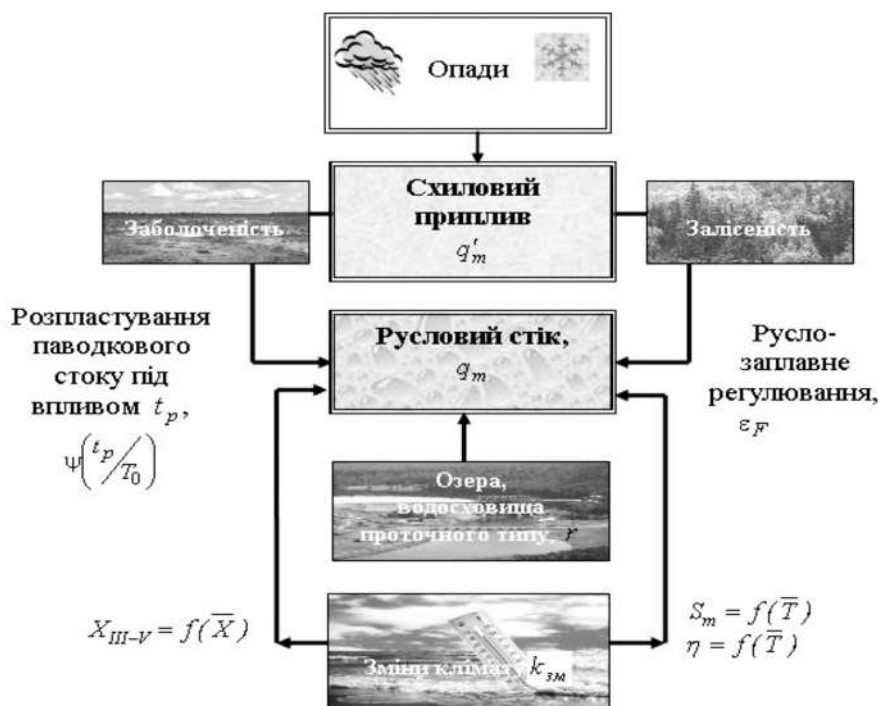


Рис. 2. Блок-схема формування максимального стоку весняного водопілля в умовах змін клімату

характеристик максимального стоку з річкових водозборів, причому – єдиної у структурному відношенні як для дощових паводків, так і для водопіль [20]. У подальшому ця модель розвинута у спільних працях Є.Д.Гопченка з його учнями, зокрема вперше реалізована на прикладі басейну Сіверського Донця у спільній монографії з В.А. Овчарук [6].

До практичного застосування операторну структуру доведено на прикладі річок Причорноморської низовини, басейнів річок Прип'яті і Сіверського Дінця, річок Криму, Карпат, Алжиру [6, 7, 9, 11, 23, 24].

До операторного вигляду «схильний приплив – русловий стік» можна привести і структури граничної інтенсивності. Таке завдання вирішено у дисертаційній роботі А.В. Траскової (на прикладі басейну р. Дністер).

Докладно цей варіант розрахункової методики представлений у монографії [25].

З огляду на те, що останнім часом відбуваються значні регіональні та глобальні зміни клімату, при розрахунках стокових характеристик виникає необхідність введення відповідних поправок.

Операторна модель дає можливість вводити «кліматичні поправки» безпосередньо до максимальних снігозапасів і стокоформуючих опадів у

період весняного водопілля та паводків, а також до коефіцієнтів стоку.

Модифікований варіант операторної моделі пропонується як розрахункова методика для визначення максимального стоку невивчених у гідрологічному відношенні річок на рівнинній території України у період весняного водопілля, а розрахункове рівняння має вигляд:

$$q_p = q'_{1\%} \psi(t_p/T_0) \varepsilon_F r \lambda_p k_{zm}, \text{ м}^3/\text{с} \cdot \text{км}^2, \quad (10)$$

де  $r$  – коефіцієнт редукції  $q_m$  під впливом озер, водосховищ, ставків проточного типу;  $\varepsilon_F$  – трансформаційна функція, зумовлена русло-заплавним регулюванням;  $\psi(t_p/T_0)$  – трансформаційна функція, зумовлена часом руслового добігання;  $\lambda_p$  – коефіцієнт переходу від опорної 1%-ої ймовірності перевищення до будь-якої іншої;  $q'_{1\%}$  – модуль схилового припливу, який розраховується за рівнянням:

$$q'_{1\%} = 0,28 \frac{n+1}{n} \frac{1}{T_0} (S_m + \Sigma X)_{1\%} \eta, \text{ м}^3/\text{с} \cdot \text{км}^2, \text{ Кг} \quad (11)$$

де  $(n+1)/n$  – коефіцієнт часової нерівномірності схилового припливу до руслової мережі;  $T_0$  – тривалість схилового припливу (у годинах);  $\eta$  – коефіцієнт стоку;  $S_m$  – максимальні снігозапаси до початку водопілля, мм;  $\Sigma X$  – кількість опадів від дати  $S_m$  до закінчення водопілля, мм;

$k_{зм}$  – коефіцієнт змін клімату, який розраховується за формулою:

$$k_{зм} = \frac{(\bar{S}_m + \Sigma \bar{X}) \cdot \eta_{прогн.}}{(\bar{S}_m + \Sigma \bar{X}) \cdot \eta_{сучасн.}} \cdot \text{Кг} \quad (12)$$

З урахуванням нової редакції розрахункової формули (11), в схемі операторної моделі формування максимального стоку весняного водопілля в умовах змін клімату додається блок «зміни клімату», представлений відповідним коефіцієнтом (рис.2).

### Наукова новизна отриманих результатів

З метою порівняння різних методичних підходів щодо визначення максимального стоку річок автори розробили універсальний підхід, що полягає у приведенні аналізованих структур до вигляду безрозмірних комплексів, за допомогою яких можливе моделювання без залучення вихідних даних. Також обґрунтовано єдину для рівнинної території України методику для нормування розрахункових характеристик максимального стоку весняного водопілля на основі модифікованої операторної структури в умовах змін клімату.

### Висновки

- Необхідність розроблення нової методології нормування характеристик максимального сто-

ку річок у період весняного водопілля зумовлена практичною відсутністю на даний час в Україні нормативного документа з визначення основних розрахункових характеристик стоку річок.

- Застосування для рівнинної території України, особливо для південної, степової частини, формули, рекомендованої СНіП 2.01.14-83 для визначення максимальних витрат води в період весняного водопілля, призводить до суттєвих неточностей, перш за все внаслідок невідповідності фізичним вимогам у зонах недостатнього та достатнього зволоження.

- Розроблена операторна модель забезпечує можливість окремо визначати характеристики схилового припливу (шар стоку за водопілля, тривалість припливу і часова нерівномірність припливу води зі схилів до руслової мережі) та враховувати природний процес трансформації опадів у руслової стік у структурі «схилувий приплив – русловий стік».

- Модифікований варіант операторної моделі у вигляді (11) дає можливість враховувати «кліматичні поправки» по максимальних снігозапасах, опадах та коефіцієнтах стоку у період водопілля та пропонується як розрахункова методика для визначення на рівнинній території України максимального стоку невивчених у гідрологічному відношенні річок у період весняного водопілля.

### References [Література]:

1. Vyshnevskiy P.F. (1964). *Storm and storm drain in Ukraine*. Kyiv. [In Ukrainian]. [Вишневецький П.Ф. Зливи і зливовий стік на Україні. Київ, 1964. 290 с.]
2. Mokliak V.I. (1957). *Maximum discharges from snowmelt on the rivers of the Ukrainian SSR*. Kyiv. [In Ukrainian]. [Мокляк В.І. Максимальні витрати від талих вод на річках УРСР. Київ, 1957. 163 с.]
3. Zhelezniak Y.A. (1985). Determination of the maximum discharge of floods according to typical characteristics of hydrometeorological conditions in the catchment area, *Tr. UkrNIGMI*. Vol. 201, 15-27. [In Russian]. [Железняк И.А. Определение максимального расхода половодья по типовым характеристикам гидрометеорологических условий водосбора // Тр. УкрНИГМИ, 1985. Вып. 201. С. 15-27.]
4. Befany A.N. (1958). Basics of the theory of storm drains. *Proceedings of the OGMI*. Iss. 14. [In Russian]. [Бефани А.Н. Основы теории ливневого стока // Труды ОГМИ. 1958. Вып. 14. 302 с.]
5. Befany A.N., Befany N.F., Hopchenko E.D. (1981). *Regional models of the formation of flood flow in the territory of the USSR*. Obninsk. Iss. 2. [In Russian]. [Бефани А.Н., Бефани Н.Ф., Гопченко Е.Д. Региональные модели формирования паводочного стока на территории СССР. Обнинск, 1981. Вып.2. 60 с.]
6. Hopchenko E.D., Ovcharuk V.A. (2002). *Formation of the maximum flow of spring flood in the conditions of the south of Ukraine*. Odessa. [In Russian]. [Гопченко Е.Д., Овчарук В.А. Формирование максимального стока весеннего половодья в условиях юга Украины. Одесса, 2002. 110 с.]
7. Hopchenko Ye.D., Ovcharuk V.A., Shakirzanova Zh.R. (2011). *Calculations and long-term forecasts of the characteristics of the maximum runoff of spring water in the Pripjat river basin*. Odessa. [In Ukrainian]. [Гопченко Є.Д., Овчарук В.А., Шакірзанова Ж.Р. Розрахунки та довгострокові прогнози характеристик максимального стоку весняного водопілля в басейні р. Прип'ять. Одеса, 2011. 336 с.]
8. Hopchenko Ye.D., Loboda N.S., Ovcharuk V.A. (2014). *Hydrological calculations: textbook for university students*. Odessa. [In Ukrainian]. [Гопченко Є.Д., Лобода Н.С., Овчарук В.А. Гідрологічні розрахунки: підручник для студентів ВНЗ. Одеса, 2014. 483 с.]

9. Hорchenko Ye.D., Kichuk N.S., Ovcharuk V.A. (2016). *The maximum runoff of rain floods on the rivers of southern Ukraine*. Odesa. [In Ukrainian].  
[Гопченко Є.Д., Кічук Н.С., Овчарук В.А. Максимальний стік дощових паводків на річках Півдня України. Одеса, 2016. 212 с.]
10. Hорchenko Ye.D., Ovcharuk V.A., Romanchuk M.Ye. (2017). Improvement of the calculation and normative base for determining the characteristics of the maximum runoff of rain and spring floods. *Bulletin of the Odessa State Ecological University*. Vol. 21, 49-55. [In Ukrainian].  
[Гопченко Є.Д., Овчарук В.А., Романчук М.Є. Удосконалення розрахунково-нормативної бази для визначення характеристик максимального стоку дощових паводків і весняних водопіль // Вісник Одеського державного екологічного університету. 2017. Вип. 21. С. 49-55.]
11. Gopchenko E.D., Ovcharuk V.A., Romanchuk M.E. (2015). A method for calculating characteristics of maximal river runoff in the absence of observational data: Case study of Ukrainian rivers. *Water Resources. Pleiades*, Vol. 42. Iss. 3, 285-291. DOI: 10.1134/S0097807815030057
12. Shvebs G. I. (1974). *Formation of water erosion of sediment drainage and their estimation: on the example of Ukraine and Moldavia*. Leningrad. [In Russian].  
[Швебс Г.И. Формирование водной эрозии стока наносов и их оценка: на примере Украины и Молдавии. Ленинград, 1974. 184 с.]
13. Kyndiuk B.V. (2003). *Hydrographic network and storm drainage of the rivers of the Ukrainian Carpathians*. Odesa. [In Russian].  
[Киндюк Б.В. Гидрографическая сеть и ливневой сток рек Украинских Карпат. Одесса, 2003. 219 с.]
14. Loboda N.C., Bozhok Yu.V. (2016). Ukrainian Water Resources of the XXI Century under Climate Change Scenarios (RCP 8.5 and RCP 4.5). *Ukrainian Hydrometeorological Journal*. Odesa, 17, 114-122. [In Ukrainian].  
[Лобода Н.С., Божок Ю.В. Водні ресурси України XXI сторіччя за сценаріями змін клімату (RCP 8.5 та RCP 4.5) // Український гідрометеорологічний журнал. Одеса, 2016. № 17. С. 114-122.]
15. Hrebin V.V. (2010). *Modern water regime of the rivers of Ukraine (landscape-hydrological analysis)*. Kyiv. [In Ukrainian].  
[Гребінь В.В. Сучасний водний режим річок України (ландшафтно-гідрологічний аналіз). Київ, 2010. 316 с.]
16. Gorbachova L.O., Nabyvanets Yu.B. (2012). Forecasted estimations of runoff change in the Dniester Basin under conditions of climate change. EGU Leonardo 2012. *Hydrology and Society*, November 14th– November 16th, Torino, Italy.
17. Vyshnevskiy V.I. (2001). Climate change and river runoff in Ukraine and Belarus. Scientific works of the Ukrainian Research Hydrometeorological Institute. Iss. 249, 89-105. [In Ukrainian].  
[Вишневіський В.І. Зміни клімату і річкового стоку на території України і Білорусі // Наук.праці УкрНДГМІ, 2001. Вип.249. С.89-105.]
18. Blöschl G. et al. (2017). Changing climate shifts timing of European floods. *Science*. Vol. 357. Iss. 6351, 588-590. DOI: 10.1126/science.aan2506
19. Sokolovskiy D.L. (1968). *River runoff*. Leningrad. [In Russian].  
[Соколовский Д.Л. Речной сток. Ленинград, 1968. 538 с.]
20. Hорchenko E.D., Dzhabur Kkhalidun (1999). Justification of the calculated method for determining the layer of rain flood of the Carpathian rivers on the basis of the zoning scheme of the territory under the conditions of flood formation. *Meteorology, climatology and hydrology*. Iss. 39, 222-232. [In Russian].  
[Гопченко Е.Д., Джабур Кхалдун. Обоснование расчетной методики для определения слоя паводочного стока рек Карпат на базе схемы районирования территории по условиям формирования паводков // Метеорология, климатология и гидрология. 1999. Вып. 39. С. 222-232.]
21. *A manual on determination of calculated hydrological characteristics*, ed. T.S. Schmidt. (1984). Leningrad. [In Russian].  
[Пособие по определению расчетных гидрологических характеристик / под ред. Т.С. Шмидта; Ленинград, 1984. 448 с.]
22. Hорchenko Ye.D., Ovcharuk V.A., Kichuk N.S. (2013). Peculiarities of application of reduction formulas for maximum river flow. *Hydrology, hydrochemistry and hydroecology*. Vol. 1. 37-43. [In Ukrainian].  
[Гопченко Є.Д., Овчарук В.А., Кічук Н.С. Особливості застосування редуційних формул максимального стоку річок // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. 2013. Т. 1. С. 37-43.]
23. Ladjel M., Goptshenko E., Ovcharuk V. (2014). Maximum runoff of the flood on wadis of northern part of Algeria. *Journal of Fundamental and Applied Sciences*, 6(1), 66-78. URL: <http://old.jfas.info/index.php/JFAS/article/view/240>
24. Ovcharuk V., Todorova O. (2016). Determination of characteristics maximal runoff Mountain Rivers in Crimea. *J. Fundam. Appl. Sci.*, 8(2), 525-541.
25. Ovcharuk V.A., Hорchenko Ye.D., Traskova A.V. (2017). *Rationing of the characteristics of the maximum runoff of spring water in the Dniester river basin*. Odesa. [In Ukrainian].  
[Овчарук В.А., Гопченко Є.Д., Траскова А.В. Нормування характеристик максимального стоку весняного водопілля в басейні річки Дністер. Одеса, 2017. 252 с.]

Стаття надійшла до редакції 19.04.2018