

УДК 556.166

ВИКОРИСТАННЯ ОПЕРАТОРНОЇ МОДЕЛІ ФОРМУВАННЯ СТОКУ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ СЕРЕДНЬОБАГАТОРІЧНИХ ВЕЛИЧИН МАКСИМАЛЬНИХ ВИТРАТ ВОДИ ВЕСНЯНОГО ВОДОПІЛЛЯ В БАСЕЙНІ РІЧКИ ПІВДЕННИЙ БУГ

А. О. Докус, В. А. Овчарук, Ж. Р. Шакірманова

Одеський державний екологічний університет,
вул. Львівська, 15, 65016, Одеса, Україна, angel.dokus@gmail.com

В умовах інтеграції України у Європейський Союз, при впровадженні основних положень Директиви 2007/60/ЄС, яка передбачає оцінку потенційних ризиків гідрологічного характеру, повинні враховуватися довгострокові чинники їх формування, зокрема, наслідки змін клімату і тенденції змін водного режиму річок. У зв'язку з цим, при наявності на даний час багаторічних тенденцій до зменшення як шарів (об'ємів) стоку, так і максимальних витрат води весняних водопіль на річках України актуальним завданням є визначення на сучасних вихідних даних як середньобагаторічних значень цих характеристик, так і різної ймовірності їх перевищення.

Вперше авторами дослідження реалізовано операторну модель формування стоку для визначення середньобагаторічних величин максимальних витрат води весняного водопілля в басейні р. Південний Буг, де як базові параметри використані метеорологічні характеристики (снігозапаси і опади) та коефіцієнти стоку.

Модель застосована для визначення максимальних модулів стоку весняних водопіль для річок з широким діапазоном площ водозборів, що знаходяться в різних фізико-географічних умовах в межах басейну р. Південний Буг.

Застосування операторної моделі дозволило авторам статті розрахувати та узагальнити всі вхідні параметри розрахункової моделі, включно з тими, що одержані за даними спостережень (снігозапаси, опади) й тими, що не вимірюються на гідрометеорологічній мережі (коефіцієнти стоку, коефіцієнт часової нерівномірності та тривалість схилового припливу тало-дошових вод, трансформаційна функція розпластування повенеких хвиль під впливом руслового добігання, коефіцієнт русло-заплавного регулювання та ін.) в басейні р. Південний Буг.

Перевірочні розрахунки щодо визначення середньобагаторічних величин максимальних модулів стоку весняних водопіль за операторною моделлю показали її задовільну відповідність вихідним даним, що дозволило рекомендувати запропоновану методику до практичного застосування в басейні р. Південний Буг, у тому числі для річок, невивчених у гідрологічному відношенні.

Ключові слова: середньобагаторічний максимальний стік; весняне водопілля; операторна модель; Південний Буг.

1. ВСТУП

Максимальний стік весняного водопілля рівнинних річок України є базовою характеристикою у гідрологічних розрахунках при вирішенні питань будівництва та експлуатації гідротехнічних споруд, а також є прогнозною характеристикою для надійного регулювання режиму водосховищ й при здійсненні протипаводкових заходів періоду проходження найбільш високих водопіль.

В умовах інтеграції України у Європейський Союз, при впровадженні основних положень Директиви 2007/60/ЄС Європейського Парламенту та Ради від 23 жовтня 2007 року про оцінку і

управління ризиками затоплення [1] та відповідно до Методики попередньої оцінки ризиків затоплення [2], під час оцінки потенційних ризиків гідрологічного характеру повинні враховуватися довгострокові чинники їх формування, зокрема, наслідки змін клімату і тенденції змін водного режиму річок.

Максимальний річковий стік різного походження (паводки та водопілля) найбільш швидко формується зазвичай на невеликих річках, які часто не охоплені даними гідрологічних стокових спостережень, і тому вкрай важливим є науково-теоретичне обґрунтування методів гідрологічних розрахунків та прогнозів характеристик

максимального стоку з метою виявлення потенційних зон затоплення.

Свого часу методика нормування характеристик максимального стоку річок у вигляді операторної моделі, була науково обґрунтована авторами [3, 4] для встановлення величин максимальних витрат води і об'ємів повеней різної ймовірності перевищення (наприклад, 1 %, 5 %, 10 % та ін.) для річок рівнинної території України. Така сама методика була використана й при розробці методу територіальних довгострокових прогнозів характеристик максимального стоку весняного водопілля [5], зокрема, при визначенні середньобіагаторічних шарів стоку та максимальних витрат води водопілля, як базових характеристик прогнозованої схеми, для невивчених у гідрологічному відношенні річок. При цьому розрахунок схилового припливу води в операторній моделі здійснювався за даними про шари стоку весняного водопілля.

Пізніше, розрахункова методика для визначення максимальних модулів стоку рідкісної ймовірності перевищення [4] була удосконалена авторами [6] для умов нестійкого клімату. При цьому, в якості вхідних даних моделі використані метеорологічні характеристики – снігозапаси та опади. Це дало змогу авторам [6] використати модель для визначення характеристик максимального стоку в умовах коливань клімату.

Метою даного дослідження є обґрунтування параметрів модифікованого варіанта операторної моделі для визначення середньобіагаторічних величин максимальних витрат води (модулів) весняного водопілля в басейні р. Південний Буг з використанням метеорологічних даних. Розроблена регіональна методика в подальшому буде використана в методиці територіальних довгострокових прогнозів характеристик весняного водопілля при відсутності стаціонарних спостережень на річках досліджуваної території.

2. АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Базовими складовими вхідної інформації при розрахунках характеристик весняного стоку (різної ймовірності перевищення) [3, 4, 7, 8, 9] та їх довгостроковому прогнозуванні [5, 9] є середньобіагаторічні величини шарів стоку та максимальних витрат води періоду весняного водопілля.

Для річок, на яких ведуться спостереження за стоковими характеристиками, середньобіагаторічні їх значення встановлюються відомими статистичними методами [10]. Для невивчених річок

застосування статистичних методів неможливе через відсутність рядів стокових характеристик. Так, на практиці шари стоку весняного водопілля, як середньобіагаторічні значення, так і різної ймовірності перевищення, з урахуванням (або без врахування) чинників підстильної поверхні, узагальнюються по території у вигляді картограм [3, 9], районування території [11, 12] або розраховуються за регіональними рівняннями [4, 7, 8, 11, 13].

На відміну від шарів стоку, максимальні витрати води періоду весняного водопілля не можуть бути узагальнені по території через редуцію стоку під впливом зміни площ річкових водозборів та інших морфометричних характеристик басейнів.

Сучасний стан нормування максимальних витрат води весняного водопілля річок базується на використанні формул різної структури. У численних працях вітчизняних науковців, зокрема науковцями кафедри гідрології суші Одеського державного екологічного університету, широко застосовуються сучасні напрацювання Є. Д. Гопченка, який удосконалив нормативну базу СНІП 2.01.14-83 [10] та поділив усі відомі розрахункові формули і методики на дві групи [3, 14]. Перша група включає формули, що спираються на геометричну схематизацію схилового і (або) руслового гідрографів стоку, а друга група – це формули, що засновані на теорії руслових ізохрон.

Перша група формул є науково-методичною основою для редуційних і об'ємних формул. Методи розрахунку максимального стоку засновані на першій групі формул представлені у роботах Є. Д. Гопченка та його послідовників [3-9, 11-13].

Розробниками методик з використанням теорії руслових ізохрон в Україні були представники київської наукової школи (А. В. Огієвський [15], Й. А. Железняк [16], В. І. Мокляк [17], П. Ф. Вишневецький [18] та ін.) й одеської наукової школи (Н. Ф. Бефані, А. М. Бефані, Є. Д. Гопченко [19], Є. Д. Гопченко та ін. [3, 7-9, 11-13, 19-21]). Теорія руслових ізохрон також рекомендована ВМО як базова для побудови моделей формування максимального стоку річок [22].

Найбільш відомою і теоретично обґрунтованою серед формул другого типу, що спираються на теорію руслових ізохрон є розрахункова схема А. М. Бефані, яка наведена в роботі [19]. У запропонованій А. М. Бефані розрахунковій схемі за вихідну прийнята розгорнута модель руслових ізохрон.

Максимальні витрати води за такою моделлю визначаються за рівняннями:

$$\text{а) при } t_p < T_0, Q_m = V \int_0^{t_p} q'_t B_t \varepsilon_t dt; \quad (1)$$

$$\text{б) при } t_p \geq T_0, Q_m = V \int_0^{T_0} q'_t B_t \varepsilon_t dt, \quad (2)$$

де Q_m – максимальна витрата води, м³/с; V – швидкість руслового добігання, м/с; B_t – ширина водозборів по ізохронах руслового добігання, м; q'_t – ординати упорядкованих гідрографів схилового припливу, м³/с; ε_t – коефіцієнт русло-заплавного регулювання паводків і водопіль; t_p – час руслового добігання паводкових і повеневих хвиль, год.

Авторами [3] після інтегрування формул (1) і (2), відповідно, по t_p і T_0 , та деяких перетворень і узагальнень, обґрунтовано розрахункову формулу операторного типу, яка у подальшому була застосована в [3, 4] для визначення максимальних модулів стоку річок (різної ймовірності перевищення P , %) при врахуванні трансформації водопіль під впливом руслового добігання, русло-заплавного водообміну та озер і водосховищ руслового типу

$$q_m = q'_m \Psi(t_p / T_0) \varepsilon_F \cdot \delta, \quad (3)$$

де q_m – модуль максимального стоку весняного водопілля, що сформований талими та дощовими водами, м³/(с·км²); q'_m – модуль схилового припливу талих і дощових вод, м³/(с·км²); $\Psi(t_p / T_0)$ – трансформаційна функція розплатування повеневих хвиль під впливом руслового добігання; ε_F – коефіцієнт русло-заплавного регулювання; δ – коефіцієнт трансформації водопіль під впливом озер і водосховищ руслового типу.

В рамках типових гідрографів [20] модуль схилового припливу розраховується за формулою

$$q'_m = 0,28 \frac{n+1}{n} \frac{1}{T_0} Y_m \quad (4)$$

де 0,28 – коефіцієнт розмірності; $(n+1)/n$ – коефіцієнт нерівномірності схилового припливу тало-дощових вод у часі, T_0 – тривалість схило-

вого припливу тало-дощових вод, год; Y_m – шар стоку весняного водопілля, мм.

Розрахункова модель (3) апробована у численних працях з розрахунку характеристик максимального стоку весняного водопілля різної ймовірності перевищення для різних фізико-географічних зон України [3, 4, 7-9, 12]. Слід зазначити, що модель (3) є універсальною і використовувалася для визначення максимальних модулів стоку не тільки весняних водопіль, а й дощових паводків [11-13].

3. МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ.

Для визначення середньобагаторічних величин модулів максимального стоку весняного водопілля в басейні р. Південний Буг в роботі використано операторну модель (3) формування максимального стоку весняного водопілля.

Для обґрунтування параметрів операторної моделі, враховуючи [4, 6, 9], при розрахунку середньобагаторічного модуля максимальної витрати води схилового припливу в формулі (4) величину шару весняного стоку Y_m пропонується представити як добуток коефіцієнтів весняного стоку η і сумарних запасів вологи на басейні, що формують стік весняного водопілля – максимальних запасів води в сніговому покриві і опадів періоду водопілля ($S_m + \sum X$). Однак особливістю даного дослідження є представлення суми опадів періоду весняного водопілля, як суми $\sum X = X_1 + X_2$, де X_1 – дощові опади періоду сніготанення (сума опадів від дати настання максимальних запасів води в сніговому покриві S_m до дати завершення сніготанення, що може бути встановлена по даті проходження максимальних витрат води весняного водопілля Q_m річок), мм; X_2 – дощові опади періоду спаду водопілля (сума опадів від дати проходження максимальних витрат води весняного водопілля Q_m до дати закінчення весняного водопілля), мм. Отже розрахункова формула для визначення максимального модуля схилового припливу в період весняного водопілля представляється у вигляді

$$q'_m = 0,28 \frac{n+1}{n} \frac{1}{T_0} (S_m + X_1 + X_2) \eta. \quad (5)$$

4. ОПИС І АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ

Вихідною інформацією для розробки методики визначення середньобагаторічних величин максимальних витрат води весняного водопілля на основі операторної моделі формування стоку річок є дані багаторічних гідрологічних спостережень в басейні р. Південний Буг по 33 гідрологічних постах з періодом від 22 до 102 років (по 2015 рік включно). Діапазон водозбірних площ річок коливається від 36,5 км² (р. Південний Буг – с. Чорнява) до 46200 км² (р. Південний Буг – смт Олександрівка).

Для визначення метеорологічних характеристик (величин максимальних запасів води в сніговому покриві та опадів періоду весняного водопілля) в роботі використані дані по 24 метеорологічним станціям за період 1961-2015 р., які рівномірно розміщені по території басейну.

Обґрунтування параметрів розрахункової моделі виконувалось шляхом послідовного визначення складових схилового припливу і трансформаційних функцій максимального стоку в період весняного водопілля на досліджуваній території. Розглянемо окремо результати нормування базових параметрів запропонованої моделі.

4.1 Максимальні запаси води в сніговому покриві і опади періоду весняного водопілля

Для визначення середньобагаторічних величин максимальних запасів води в сніговому покриві S_m використані багаторічні дані снігомірних зйомок (за вимірами у полі). Шляхом статистичної обробки часових рядів максимальних снігозапасів $(S_m)_n$ визначені їх середньобагаторічні величини та виявлена виражена закономірність зростання величин $(S_m)_n$ зі збільшенням широти (при коефіцієнті кореляції $r=0,86$) (рис. 1).

Величини максимальних снігозапасів у полі $(S_m)_n$ картовано (рис. 2). В межах досліджуваної території вони змінюються в напрямку з півночі та північного заходу басейну від 60-50 мм на південь – до 30-25 мм.

Враховуючи нерівномірність снігонакопичення в полі і лісі середні зважені на водозборах величини середньобагаторічних максимальних запасів води в сніговому покриві (S_m , мм) визначаються за формулою

$$S_m = (S_m)_n \cdot (1 - f_L) + k_L \cdot (S_m)_n \cdot f_L, \quad (6)$$

де f_L – залісеність водозборів (в частках від площі водозборів); k_L – коефіцієнт снігонакопичення з урахуванням залісеності водозборів f_L .

Автором роботи [23] для басейну Південного Бугу встановлено значення $k_L=1,18$.

Для визначення середньобагаторічних величин весняних опадів X_1 та X_2 пропонується використовувати регіональні рівняння, які рекомендовані автором [5] для рівнинної території України у вигляді

$$X_1 = 0,77 \cdot T_{X_1} + 7, \quad (7)$$

$$X_2 = 1,09 \cdot T_{X_2} + 3,35, \quad (8)$$

де T_{X_1} – середня тривалість періоду від дати максимальних снігозапасів до дати завершення сніготанення, діб; T_{X_2} – тривалість спаду водопіль, діб.

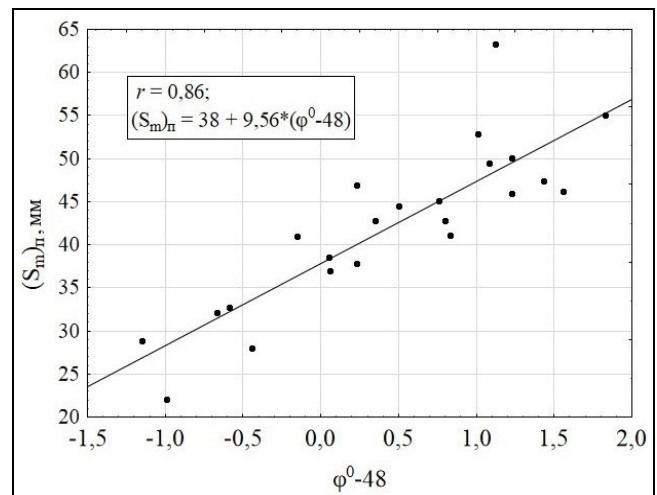


Рис. 1 – Залежність середньобагаторічних максимальних запасів води в сніговому покриві (у полі) від широти пунктів снігозйомок в басейні р. Південний Буг.

В свою чергу величини T_{X_1} та T_{X_2} визначаються за рівняннями вигляду [5]

$$T_{X_1} = 2,0 \cdot (\varphi - 48) + 24; \quad (9)$$

$$T_{X_2} = 10 \cdot \lg(F + 1), \quad (10)$$

де φ – географічна широта геометричних центрів водозборів, в частках град півн. ш.; F – площі річкових водозборів, км².

В басейні р. Південний Буг складові n , m_1 та t_p рівняння (13) можна визначити наступним чином: n виходячи з рівняння (12) дорівнює 0.09; m_1 – відповідно до рекомендацій [19] приймається рівним одиниці ($m_1 = 1$); t_p – тривалість руслового добігання, год, була визначена за гідрографічною довжиною річки (L) та за швидкістю руслового добігання (V_∂) на басейні у вигляді співвідношення

$$t_p = L / V_\partial . \quad (14)$$

Швидкості руслового добігання для рівнинних річок України (у т.ч. досліджуваної території) можна визначити за наступним рівнянням

$$V_\partial = a_2 F^{\alpha_2} I_{36}^{0,33}, \text{ км/ГОД} \quad (15)$$

де a_2 та α_2 – швидкісні параметри, які отримано в роботі [27] для кожного фізико-географічного району України.

Складність використання рівняння (13) для визначення T_0 полягає у тому, що воно містить дві невідомі складові – коефіцієнт руслозаплавного регулювання (ε_F) і тривалість схилового припливу (T_0).

Задача встановлення невідомих ε_F і T_0 у рівнянні (13) може бути вирішена за допомогою методу простої однокрокової ітерації з накладенням обмеження на параметр ε_F [3, 20]. Алгоритм однокрокової ітерації при визначенні T_0 побудований таким чином, що початкове його наближення відноситься до рівняння (12). При цьому, на першому етапі виконання ітераційних процедур ε_F приймається рівним одиниці. У рівнянні (13) встановлення ε_F і T_0 вирішується алгебраїчним шляхом.

Розрахунок середньобагаторічних величини T_0 виконаний на основі програмного комплексу «Сагуаг», який дозволяє чисельним методом [26] в автоматичному режимі здійснювати розрахунки та будувати розрахункові залежності в межах розглядуваної території. Розрахунки виконано в два етапи (у двох наближеннях).

На першому етапі (першому наближенні) було прийнято $\varepsilon_F = 1,0$, що дозволило визначити «наближені» значення T_0' . Далі значення T_0' узагальнено залежно від площ річкових водозборів F .

Залежність описується наступним рівнянням

$$T_0' = 450 \cdot e^{0,27 \lg(F+1)}, \quad (16)$$

з коефіцієнтом кореляції, отриманим після логарифмування рівним 0,39.

Використовуючи екстраполяцію залежностей $T_0' = f[\lg(F+1)]$ на вісь ординат, отримано орієнтовне для розглядуваної території значення $T_0 = 450$ год (значення T_0 отримано при $F \rightarrow 0$). Встановлене фіксоване значення T_0 далі приймається при розрахунку коефіцієнтів руслозаплавного регулювання ε_F для кожного гідрологічного поста на річках досліджуваної території. При цьому використовується наступне рівняння [20]

$$\varepsilon_F = (q_m / q'_m) / [\psi(t_p / T_0) r]. \quad (17)$$

Розраховане за (17) значення коефіцієнту руслозаплавного регулювання ε_F узагальнено залежно від площ річкових водозборів F . Побудована залежність описується рівнянням

$$\varepsilon_F = e^{-0,24 \lg(F+1)}, \quad (18)$$

з коефіцієнтом кореляції прологарифмованої залежності рівним 0,32.

На другому етапі (другому наближенні) при розрахунку залишкових значень шуканої величини T_0 , для кожного гідрологічного поста басейну вводиться окреме значення коефіцієнту руслозаплавного регулювання ε_F , яке отримано з рівняння (18).

Наступним етапом дослідження, після виконаних розрахунків, є просторовий аналіз та узагальнення розрахункової тривалості схилового припливу T_0 по території басейну. Для виявлення впливу на T_0 місцевих чинників – залісненості (до 19 %), заболоченості (до 11 %) та висоти місцевості (від 100 до 320 м) в межах розглядуваної території досліджено закономірності, пов'язані з внеском географічної складової, тому що на рівнинних територіях характеристики весняного водопілля багато в чому пов'язані з географічним положенням об'єктів.

Побудований графік зв'язку тривалості припливу води зі схилів до руслової мережі, під час весняного водопілля, від широти геометричних центрів водозборів річок досліджуваної території $T_0 = f(\varphi^o)$, показав, що на описуваній тери-

торії значення T_0 змінюються в широтному напрямку (коефіцієнт кореляції $r = 0,38$). При цьому, тривалість схилового припливу T_0 було приведено до середньої широти на досліджуваному водозборі $(T_0)_{\varphi=48}$.

Подальше дослідження можливого впливу залісеності та заболоченості на тривалість схилового припливу показало його відсутність.

Досліджено також залежність тривалості припливу води зі схилів до руслової мережі під час весняного водопілля від середньої висоти водозборів річок $H_{сер}$ розглядуваної території. Залежність $T_0 = f(H_{сер})$ вказує, що значення T_0 збільшуються з висотою місцевості (коефіцієнт кореляції $r = 0,34$). При цьому ж спостерігається тісна залежність середньої висоти водозборів від широти геометричних центрів водозборів річок досліджуваної території $H_{сер} = f(\varphi^o)$, при коефіцієнті кореляції ($r = 0,89$).

На підставі статистично значущого зв'язку тривалості схилового припливу T_0 з широтою місцевості φ^o , величини T_0 було картовано по території (рис. 5). Ізолінії розподілу T_0 проведе-

ні через 100 год. Їхні величини змінюються в напрямку з північного заходу на південь від 1000 до 200 год. Найбільші значення тривалості схилового припливу відмічаються у верхів'ях та південно-західній частині басейну Південного Бугу (1000-600 год), а найменші – в басейні Інгулу (200 год). В середньому по території середньобаторічна тривалість припливу становить 400-500 год.

4.5 Трансформація водопіль під впливом тривалості руслового добігання

Максимальний модуль стоку води зі схилів до руслової мережі q'_m під впливом трансформаційних процесів, пов'язаних з переміщенням хвиль водопілля, їх регулюванням русло-заплатною ємністю і водоймами проточного типу (озерами, водосховищами, ставками) піддається редукції. При цьому значення q'_m зменшуються при зростанні площ водозборів річок.

З урахуванням отриманого для досліджуваного басейну значення $n = 0,09$ та,

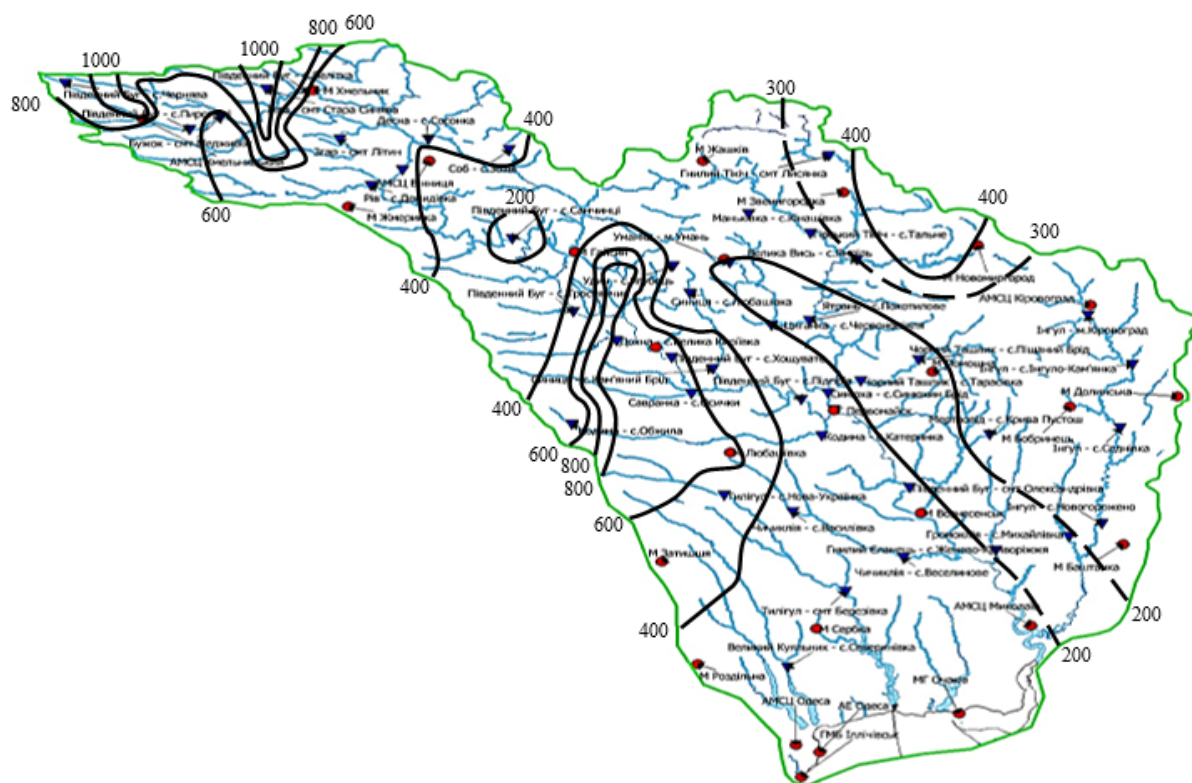


Рис. 5 – Розподіл середньобаторічної тривалості схилового припливу до руслової мережі в період весняного водопілля в басейні р. Південний Буг, год.

вважаючи, що $m_1 = 1,0$, виконано наступні розрахунки.

Для кожного водозбору визначення трансформаційної функції $\psi(t_p/T_0)$ відбувалося за такими етапами:

- величина t_p визначена за рівнянням (14);
- тривалість схилового припливу T_0 визначається за картосхемою розподілу по території (рис. 5);
- для кожного пункту досліджуваної території знаходиться співвідношення t_p/T_0 .

З урахуванням співвідношення для досліджуваної території $t_p/T_0 < 1,0$, значення трансформаційної функції $\psi(t_p/T_0)$ розраховується за регіональним рівнянням

$$\psi\left(\frac{t_p}{T_0}\right) = 1 - 0,88\left(\frac{t_p}{T_0}\right)^{0,09} \quad (19)$$

В результаті розрахунків одержані значення $\psi(t_p/T_0)$ узагальнено в залежності від співвідношення t_p/T_0 . Залежність $\psi(t_p/T_0) = f(t_p/T_0)$ наведена на рис. 6.

Значення трансформаційної функції $\psi(t_p/T_0)$ змінюються від 0,14 (р. Південний Буг – Первомайська ГЕС, $t_p/T_0 = 0,76$; р. Південний Буг – с. Підгір'я, $t_p/T_0 = 0,78$; р. Південний Буг – смт Олександрівка, $t_p/T_0 = 0,82$) до 0,48 (р. Південний Буг – с. Чорнява, $t_p/T_0 = 0,003$).

4.6 Коефіцієнт русло-заплавного регулювання

В рамках розрахункової формули максимального стоку (3) русло-заплавне регулювання враховується за допомогою коефіцієнта ε_F [3, 20].

Визначення коефіцієнта ε_F відбувається на етапі чисельного визначення тривалості схилового припливу T_0 з рівняння (3). Розраховані величини коефіцієнтів русло-заплавного регулювання ε_F узагальнено в залежності від площі річкових водозборів. Встановлена чітко виражена закономірність (рис. 7) зростання ε_F з ростом площі водозборів, яка може бути представлена рівнянням вигляду

$$\varepsilon_F = e^{-0,23 \lg(F+1)}, \quad (20)$$

коефіцієнт кореляції цієї залежності, представленою у лінійному виді дорівнює 0,79.

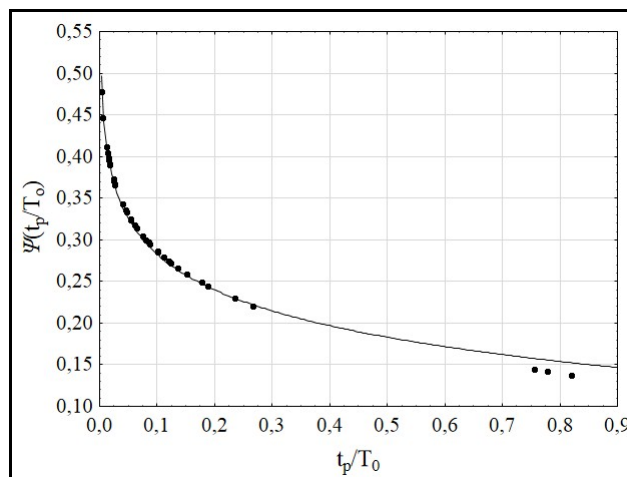


Рис. 6 – Залежність трансформаційної функції від співвідношення t_p/T_0 в басейні р. Південний Буг.

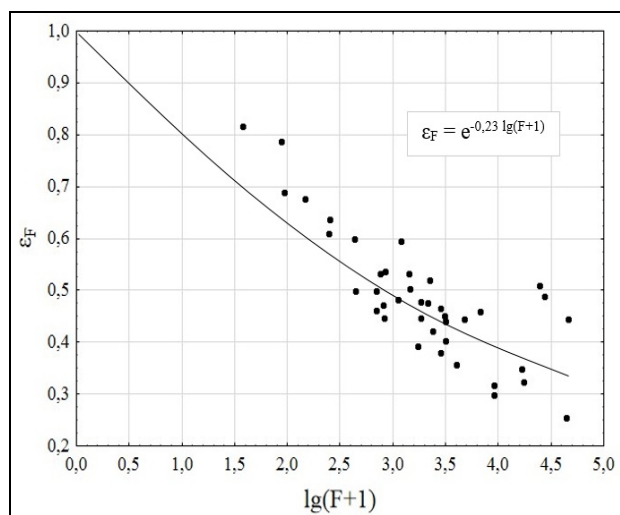


Рис. 7 – Залежність коефіцієнтів русло-заплавного регулювання ε_F від площі водозборів річок в басейні р. Південний Буг.

4.7 Трансформація водопіль під впливом водойм проточного типу

До водойм проточного типу відносять: озера, водосховища, ставки. Маючи регулюючі ємності, вони, в залежності від їх розмірів, спроможні у тій або іншій степені трансформувати гідрографи водопіль. В рамках розрахункової формули (3) трансформація водопіль під впливом водойм проточного типу враховується за допомогою коефіцієнта δ [3, 20].

Оцінка коефіцієнта δ можлива при наявності

вичерпної інформації про водойми руслового типу, їхнє місце розташування, морфометрію і кількість. Практична схема розрахунку коефіцієнта δ представлена у діючому нормативному документі СНіП 2.01.14-83 [10].

На досліджуваній території в басейні р. Південний Буг середньозважена озерність f_{oz} не перевищує 1 % і лише на деяких водозборах малих річок коливається в межах 1-3 %. Виходячи з майже відсутності на досліджуваній території

озер проточного типу, значення коефіцієнту δ прийнято на рівні 1,0.

4.8 Оцінка запропонованої методики

Оцінка запропонованої методики визначення середньобаторічного модуля максимального стоку весняного водопілля в басейні р. Південний Буг проведена за результатами перевірочних розрахунків цих величин за розрахунковою моделлю (3) та представлена у таблиці 1.

Таблиця 1 – Перевірочні розрахунки визначення середньобаторічного максимального модуля стоку річок в басейні р. Південний Буг.

№ з/п	Річка – пост	$F, \text{ км}^2$	$q'_{m, \text{ м}^3/(\text{с}\cdot\text{км}^2)$	$\psi(t_p/T_0)$	ε_F	$(q_m)_p, \text{ м}^3/(\text{с}\cdot\text{км}^2)$	$q_m, \text{ м}^3/(\text{с}\cdot\text{км}^2)$	$ \Delta , \%$	$\varepsilon_{Q_m}, \%$
1	Південний Буг – с. Чорнява	36,5	0,21	0,48	0,69	0,07	0,07	4,37	23,7
2	Південний Буг – с. Пирогівці	827	0,11	0,39	0,50	0,02	0,02	15,7	13,9
3	Південний Буг – с. Лелітка	4000	0,21	0,32	0,42	0,03	0,03	6,69	15,3
4	Південний Буг – с. Сабарів	9010	0,23	0,30	0,39	0,03	0,03	16,8	13,4
5	Південний Буг – с. Селище	9100	0,11	0,31	0,39	0,01	0,01	28,0	17,9
6	Південний Буг – с. Тростянчик	17400	0,22	0,24	0,36	0,02	0,02	7,81	11,1
7	Південний Буг – с. Підгір'я	24600	0,50	0,14	0,35	0,02	0,02	50,0	12,4
8	Південний Буг – м. Первомайськ	44000	0,13	0,24	0,33	0,01	0,01	21,5	16,4
9	Південний Буг – смт Олександрівка	46200	0,36	0,14	0,33	0,02	0,02	2,25	11,8
10	Бужок – смт Меджибож	698	0,16	0,37	0,51	0,03	0,03	7,61	16,8
11	Іква – смт Стара Синява	439	0,15	0,41	0,53	0,03	0,03	7,14	13,7
12	Згар – смт Літин	692	0,15	0,40	0,51	0,03	0,03	5,07	11,9
13	Рів – с. Демидівка	1130	0,22	0,33	0,48	0,04	0,04	2,47	9,6
14	Соб – с. Зозів	92,5	0,24	0,45	0,62	0,07	0,06	12,1	18,5
15	Савранка – с. Осички	1740	0,08	0,37	0,46	0,01	0,01	8,29	20,1
16	Синиця – смт Любашівка	86	0,37	0,40	0,63	0,09	0,09	0,60	17,7
17	Синиця – с. Кам'яний Брід	753	0,27	0,34	0,50	0,04	0,04	24,4	16,1
18	Кодима – с. Обжила	145	0,09	0,40	0,60	0,02	0,02	32,9	19,7
19	Кодима – с. Катеринка	2390	0,07	0,31	0,45	0,01	0,01	16,4	26,7
20	Синюха – с. Синюхин Брід	16700	0,28	0,23	0,36	0,02	0,02	10,3	13,9
21	Гнилий Тікич – смт Лисянка	1450	0,25	0,30	0,47	0,04	0,03	7,46	17,1
22	Велика Вись – с. Ямпіль	2820	0,16	0,27	0,44	0,02	0,02	13,9	17,9
23	Ятрань – с. Покотилове	2140	0,36	0,29	0,45	0,05	0,03	69,2	22,6
24	Чорний Ташлик – с. Піщаний Брід	1830	0,22	0,30	0,46	0,03	0,03	1,55	44,0
25	Чорний Ташлик – с. Тарасівка	2230	0,36	0,26	0,45	0,04	0,04	1,50	15,9
26	Мертвовід – с. Крива Пустош	252	0,26	0,37	0,56	0,06	0,04	32,3	22,0
27	Чичиклія – с. Василівка	436	0,10	0,34	0,53	0,02	0,02	18,6	19,9
28	Гнилий Єланець – с. Женево-Криворіжжя	1190	0,32	0,27	0,48	0,04	0,05	19,3	24,4

Таблиця 1 – Закінчення

№ з/п	Річка – пост	F, км ²	q _m ['] , м ³ /(с·км ²)	ψ(t _p /T ₀)	ε _F	(q _m) _p , м ³ /(с·км ²)	q _m , м ³ /(с·км ²)	Δ , %	ε _{Q_m} , %
29	Інгул – м. Кропивницький	840	0,23	0,32	0,50	0,04	0,04	3,35	18,4
30	Інгул – с. Інгуло-Кам'янка	3080	0,42	0,27	0,43	0,05	0,06	20,4	16,1
31	Інгул – с. Седнівка	4770	0,27	0,25	0,41	0,03	0,02	24,0	19,9
32	Інгул – с. Новогорожене	6670	0,22	0,22	0,40	0,02	0,02	20,8	14,9
33	Громокля – с. Михайлівка	1410	0,18	0,29	0,47	0,02	0,02	42,6	17,9
Середнє								±16,8%	18,7%

При цьому визначення складових розрахункової моделі здійснено відповідно методичних рекомендацій, що викладені вище.

Порівняння середньобагаторічних модулів максимального стоку весняного водопілля, розрахованих за моделлю (3) на базі метеорологічних даних із середньобагаторічними величинами максимальних модулів стоку річок в басейні р. Південний Буг, за даними спостережень до 2015 р. включно, показано на рис. 8. Коефіцієнт кореляції зв'язку $r = 0,95$ відноситься до вельми значущих, а лінія зв'язку практично співпадає з лінією рівних значень, що дозволяє оцінити відповідність розрахункових і фактичних величин як задовільну.

Точність визначення середньобагаторічного модуля максимального стоку весняного водопілля оцінювалася за середнім відносним відхиленням між розрахованими за методикою (3) і фактичними (установленими за даними спостережень) величинами

$$|\Delta| = \frac{|(q_m)_p - q_m|}{q_m} \cdot 100\% = \pm 16,8\%, \quad (21)$$

де $(q_m)_p$ – розрахована за формулою (3) величина середньобагаторічного модуля максимального стоку весняного водопілля; q_m – середньобагаторічна величина максимального модуля стоку весняного водопілля, що визначена за даними гідрологічних спостережень на річках (станом на 2015 р.).

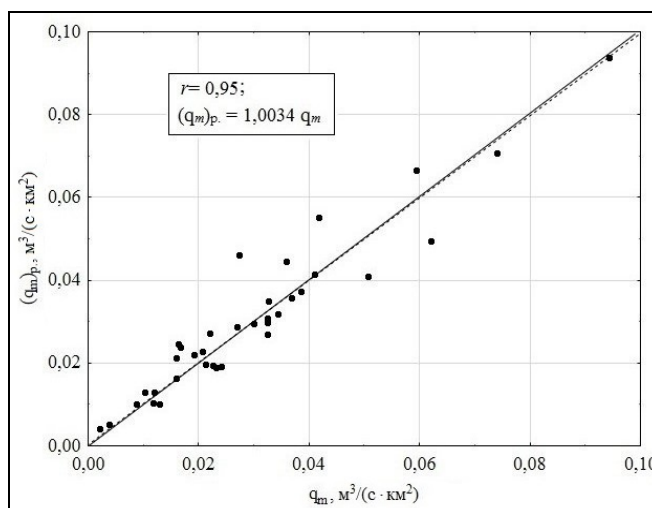
Отримане значення $|\Delta| = \pm 16,8\%$ знаходиться на рівні точності вимірювання максимальних витрат води в період проходження весняного водопілля і відповідає точності обчислення середньобагаторічних максимальних витрат води

ε_{Q_m} , яка розрахована за формулою [10]

$$\varepsilon_{Q_m} = \frac{100 \cdot C_v}{\sqrt{n}} = 18,7\%, \quad (22)$$

де C_v – коефіцієнти варіації часових рядів максимальних витрат води весняного водопілля.

Отримані результати дозволяють рекомендувати операторну модель виду (3) для визначення середньобагаторічного максимального модуля стоку весняного водопілля в басейні р. Південний Буг при недостатній кількості або відсутності спостережень за річковим стоком.



----- лінія середніх величин

Рис. 8 – Зв'язок середньобагаторічних модулів максимального стоку весняного водопілля, розрахованих за операторною моделлю (3) і середньобагаторічними величинами максимальних модулів стоку річок (станом на 2015 р.) в басейні р. Південний Буг.

5. ВИСНОВКИ

▪ Аналіз науково-методичних положень та регіональних методик показав необхідність удосконалення нормативної бази для визначення середньобагаторічного максимального стоку в період весняного водопілля річок в басейні р. Південний Буг.

▪ За розрахункову прийнята операторна модель формування максимального стоку з використанням на її вході основних параметрів максимальних снігозапасів та опадів в період весняного водопілля.

▪ В рамках операторної моделі визначені та узагальнені всі входні параметри розрахункової методики. При цьому, встановлено, що середньобагаторічні величини максимальних снігозапасів (за вимірами у полі) змінюються в межах басейну р. Південний Буг в напрямку з півночі та північного заходу на південь від 60-50 мм – до 30-25 мм. Для одержання середньобагаторічних величин опадів періоду весняного водопілля використані регіональні рівняння. Коефіцієнти стоку весняного водопілля представлені у вигляді картосхем ізоліній. Їхні значення зменшуються в межах басейну Південного Бугу у напрямку з північного заходу на південь від 0,60-0,50 до 0,1-0,05.

▪ Параметри, що не вимірюються гідрометорологічною мережею, одержані чисельним шляхом, запропонованим в методиці. Рекомендоване значення коефіцієнту нерівномірності схилового припливу становить 12,2. Величини середньобагаторічної тривалості схилового припливу одержані чисельним шляхом, картовані та змінюються в напрямку з північного заходу на південь від 1000 до 200 год.

▪ Для розрахунків середньобагаторічного максимального модуля стоку весняного водопілля річок визначено й інші параметри. Так, коефіцієнт трансформації водопіль під впливом тривалості руслового добігання коливається в межах від 0,48 до 0,14, а коефіцієнт русло-заплавного регулювання змінюється в діапазоні від 0,69 до 0,33 при граничних значеннях для обох випадків рівних 1,0.

▪ Розраховані за методикою середньобагаторічні величини максимальних модулів весняного водопілля добре узгоджуються з вихідними даними. Похибка їх визначення становить $\pm 16,8\%$ і знаходиться на рівні точності вимірювання максимальних витрат води в період проходження весняного водопілля, також вона відповідає точності обчислення середньобагаторічних максимальних витрат води (18,7%).

▪ Отримані результати дозволяють рекомендувати операторну модель для визначення середньобагаторічних величин максимальних витрат води весняного водопілля не вивчених у гідрологічному відношенні річок в басейні р. Південний Буг.

▪ Розроблена методика в подальшому буде використана в довгостроковому прогнозуванні характеристик стоку весняного водопілля з можливістю урахування майбутніх кліматичних змін.

ПОДЯКИ

Автори висловлюють подяку професору Є. Д. Гопченко за самовіддану багаторічну працю у напрямку розвитку гідрологічних розрахунків та прогнозів і значний внесок у розвиток одеської школи теоретичної та прикладної гідрології кафедри гідрології суші ОДЕКУ.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Directive 2007/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2007 on the assessment and management of flood risks (Text with EEA relevance). *Official Journal of the European Union*. 2007. L 288/27. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/> (Accessed: 21 December 2018).
2. Методика попередньої оцінки ризиків затоплення: затверджена наказом Міністерства внутрішніх справ України від 17.01.2018 р. № 30. 2018. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/card/z0153-18> (дата звернення: 21.06.2019).
3. Гопченко Е. Д., Овчарук В. А. Формирование максимального стока весеннего половодья в условиях юга Украины. Одесса: ТЭС, 2002. 110 с.
4. Гопченко Е. Д., Романчук М. Е. Нормирование характеристик максимального стока весеннего половодья на реках Причерноморской низменности. Киев: КНТ, 2005. 148 с.
5. Шакірзанова Ж. Р. Довгострокове прогнозування характеристик максимального стоку весняного водопілля рівнинних річок та естуаріїв території України. Одеса: ФОП Бондаренко М. О., 2015. 252 с.
6. Овчарук В. А., Гопченко Є. Д. Сучасна методика нормування характеристик максимального стоку весняного водопілля рівнинних річок України. *Український географічний журнал*. 2018. № 2 (102). С. 26-33.
7. Гопченко Є. Д., Погорелова М. П. Нормування розрахункових характеристик весняного водопілля в басейні річки Прип'ять на базі формули об'ємного типу: монографія. Одеса: ТЕС, 2018. 136 с.
8. Овчарук В. А., Гопченко Є. Д., Траскова А. В. Нормування характеристик максимального стоку весняного водопілля в басейні річки Дністер. Одеса, 2017. 252 с.
9. Гопченко Є. Д., Овчарук В. А., Шакірзанова Ж. Р. Розрахунки та довгострокові прогнози характеристик максимального стоку весняного водопілля в басейні р. Прип'ять: монографія. Одеса: Екологія, 2011. 336 с.

10. СНіП 2.01.14-83. Пособие по определению расчетных гидрологических характеристик / Государственный гидрологический институт. Ленинград : Гидрометеоздат, 1984. 447 с.
11. Екстремальні гідрологічні явища: паводки і посухи на території гірських регіонів України / за ред. Гопченка Є. Д. Одеса : ТЕС, 2018. 324 с.
12. Гопченко Є. Д., Кічук Н. С., Овчарук В. А. Максимальний стік дощових паводків на річках Півдня України. Одеса : ТЕС, 2016. 212 с.
13. Гопченко Є. Д., Гопцій М. В. Максимальний стік дощових паводків у Передкарпатті. Одеса : ТЕС, 2015. 128 с.
14. Гопченко Е. Д., Гушля А. В. Гидрология с основами мелиорации. Ленинград : Гидрометеоздат, 1989. 303 с.
15. Огиевский А. В. Гидрология суши. Москва : Сельхозгиз, 1952. 516 с.
16. Железняк И. А. Определение максимального расхода половодья по типовым характеристикам гидрометеорологических условий водосбора. *Труды УкрНИГМИ*. 1985. Вып. 201. С. 15-27.
17. Мокляк В. І. Максимальні витрати від талих вод на річках УРСР. Київ, 1957. 163 с.
18. Вишневський П. Ф. Зливи і зливовий стік на Україні. Київ, 1964. 290 с.
19. Региональные модели формирования паводочного стока на территории СССР. Вып. 2. / Бефани А. Н. и др. Обнинск, 1981. 60 с.
20. Гопченко Е. Д. О редуции максимальных модулей дождевого стока по площади. *Метеорология и гидрология*. 1975. № 2. С. 66-71.
21. Гопченко Є. Д., Лобода Н. С., Овчарук В. А. Гідрологічні розрахунки: підручник для студентів ВНЗ. Одеса, 2014. 483 с.
22. World Meteorological Organization. Guide to Hydrological Practices, Fifth Edition, TD No.168, 1994.
23. Казакова А. О. Основні гідрометеорологічні чинники весняного водопілля в басейні р. Південний Буг в сучасних кліматичних умовах. *Матеріали XV наукової конференції молодих вчених*, 10-13 травня. Одеса, 2016. С. 69-70.
24. Гопченко Е. Д., Гнездилов Ю. А. Графоаналитический метод определения параметров гидрографов склонового стока (по материалам полевого обследования ГВВ). *Труды УкрНИГМИ*. 1974. Вып. 127. С. 54-61.
25. Андреевская Г. М., Гопченко Е. Д., Овчарук В. А. О форме графиков притока воды со склонов в русловую сеть. *Метеорология, климатология и гидрология*. 1996. Вып. 33. С. 106-110.
26. Гопченко Е. Д. Развитие представителями Одесской научной школы теоретической и прикладной гидрологии учения о максимальном стоке. *Метеорология, климатология та гідрологія*. 2008. Вип. 50, ч. 2. С. 5-13.
27. Гопченко Є. Д., Овчарук В. А. Методика расчета скорости руслового добега на реках Украины. *Причорноморський екологічний бюлетень*. 2007. № 2 (24) (червень). С.53-55.
1. Directive 2007/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2007 on the assessment and management of flood risks. (2007). *Official Journal of the European Union*, L 288/27. Available at: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/> (Accessed 20 December 2018).
2. *Metodyka poperednoi otsinky ryzykiv zatoplennia [The methods for the future assessment of risings flooded]* (2018). № 30. Available at: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/card/z0153-18> (Accessed: 21 June 2019). (in Ukr)
3. Gopchenko, E.D. & Ovcharuk V.A. (2002). *Formirovanie maksimal'nogo stoka vesennego polovod'ya v usloviyakh yuga Ukrainy [Formation of the maximum flow of spring flood in the conditions of the south of Ukraine]*. Odessa: TES Publ. (in Russ.)
4. Gopchenko, E.D. & Romanchuk, M.E. (2005). *Normirovanie kharakteristik maksimal'nogo stoka vesennego polovod'ya na rekakh Prichernomorskoj nizmennosti [Normalization of the characteristics of the maximum spring flood runoff on the rivers of the Black Sea lowland]*. Kiev: KNT Publ. (in Russ.)
5. Shakirzanova, Zh.R. (2015). *Dovhostrokovoe prohozuvannya kharakterystyk maksimal'nogo stoku vesnianoho vodopillia rivnyynykh richok ta estuariiv terytorii Ukrainy [Long-term forecasting of characteristics maximum runoff of spring flood plain rivers and estuaries in Ukraine]*. Odessa: FOP Bondarenko Publ. (in Ukr.)
6. Ovcharuk, V.A. & Gopchenko, E.D. (2018). *Suchasna metodyka normuvannya kharakterystyk maksimal'nogo stoku vesnianoho vodopillia rivnyynykh richok Ukrainy [The modern method of maximum spring flood runoff characteristics valuation for the plain rivers of Ukraine]*. *Ukrainskyi heohrafichnyi zhurnal [Ukrainian Geographical Journal]*, 2 (102), pp. 26-33. (in Ukr.)
7. Gopchenko, E.D. & Pogorelova, M.P. (2018). *Normuvannya rozrakhunkovykh kharakterystyk vesnianoho vodopillia v baseini richky Prypiat na bazi formuly obiemnoho typu [Normalization of the calculated characteristics of the spring waterfall in the Pripjat River basin based on the volume type formula]*. Odessa: TES Publ. (in Ukr.)
8. Ovcharuk, V.A., Gopchenko, E.D. & Traskova, A.V. (2017). *Normuvannya kharakterystyk maksimal'nogo stoku vesnianoho vodopillia v baseini richky Dniester [Rationing of the characteristics of the maximum runoff of spring water in the Dniester river basin]*. Odessa. (in Ukr.)
9. Gopchenko, E.D., Ovcharuk, V.A. & Shakirzanova, Zh.R. (2011). *Rozrakhunky ta dovhostrokovyi prohozy kharakterystyk maksimal'nogo stoku vesnyanoho vodopillia v baseyni r. Pryp'yat' [Calculations and long-term forecasts of the characteristics of the maximum runoff of spring water in the Pripjat river basin]*. Odessa: Ekolohiya Publ. (in Ukr.)
10. State Hydrological Institute (1984). *SNiP 2.01.14-83. Posobie po opredeleniyu raschetnykh gidrologicheskikh kharakteristik [Manual for the determination of calculated hydrological characteristics]*. Leningrad: Gidrometeoizdat Publ. (in Russ.)
11. Gopchenko, E.D. (ed.). (2018). *Ekstremalni hidrohlichni yavyscha: pavodky i posukhy na terytorii hirs'kykh rehioniv Ukrainy [Extreme hydrological phenomena: floods and droughts in mountainous regions of Ukraine]*. Odessa: TES Publ. (in Ukr.)
12. Gopchenko, E.D., Kichuk, N.S. & Ovcharuk, V.A. (2016). *Maksimalnyi stik doshchovykh pavodkiv na richkakh Pivdnia Ukrainy [The maximum runoff of rain floods on the rivers of southern Ukraine]*. Odessa. (in Ukr.)
13. Gopchenko, E.D. & Goptsi, M.V. (2015). *Maksimalnyi stik doshchovykh pavodkiv u Peredkarpatti [Maximum rainfall runoff in the Precarpathian Mountains]*. Odessa: TES Publ. (in Ukr.)

REFERENCES

14. Gopchenko, E.D. & Gushlya, A.V. (1989). *Gidrologiya s osnovami melioratsii [Hydrology with the basics of land reclamation]*. Leningrad: Gidrometeoizdat Publ. (in Russ.)
15. Ogievskiy, A.V. (1952). *Gidrologiya sushy [Hydrology of land]*. Moscow: Sel'khozgiz Publ. (in Russ.)
16. Zheleznyak, I.A. (1985). Opredelenie maksimal'nogo raskhoda polovod'ya po tipovym kharakteristikam gidrometeorologicheskikh usloviy vodosbora [Determination of the maximum discharge of floods according to typical characteristics of hydrometeorological conditions in the catchment area]. *Trudy UkrNIGMI [Proceedings UkrSRHMI]*, 201, pp. 15-27 (in Russ.)
17. Moklyak, V.I. (1957). *Maksymalni vytraty vid talykh vod na richkakh URSS [Maximum discharges from snowmelt on the rivers of the Ukrainian SSR]*. Kyiv. (in Ukr.)
18. Vyshnevskiy, P.F. (1964). *Zhyvy i zlyvovyi stik na Ukraini [Storm and storm drain in Ukraine]*. Kyiv. (in Ukr.)
19. Befani, A.N. et al. (1981). *Regional'nye modeli formirovaniya pavodochnogo stoka na territorii SSSR [Regional models of the formation of flood flow in the territory of the USSR]*. Vol. 2. Obninsk. (in Russ.)
20. Gopchenko, E.D. (1975). O reduktsii maksimal'nykh moduley dozhdovogo stoka po ploshchadi [On reduction of maximum rainfall modules by area]. *Meteorologiya i gidrologiya [Meteorology and hydrology]*, 2. pp. 66-71. (in Ukr.)
21. Gopchenko, E.D., Loboda, N.S. & Ovcharuk, V.A. (2014). *Hidrolohichni rozrakhunky [Hydrological calculations]*. Odesa. (in Ukr.)
22. World Meteorological Organization (1994). *Guide to Hydrological Practices*, Fifth Edition, TD No.168.
23. Kazakova, A.O. (2016). Osnovni hidrometeorologichni chynnyky vesnianoho vodopillia v baseini r. Pivdennyi Buh v suchasnykh klimatychnykh umovakh [Main Hydrometeorological Factors of Spring Waterfall in the Southern Bug River Basin in Modern Climatic Conditions]. *Materialy XV naukovoї konferentsii molodykh vchenykh [Proceedings of the XV Scientific Conference of Young Scientists]*, 10-13 May. Odesa, pp. 69-70. (in Ukr.)
24. Gopchenko, E.D. & Gnezdilov, Ju.A. (1974). Grafoanaliticheskiy metod opredeleniya parametrov gidrografov sklonovogo stoka (po materialam polevogo obsledovaniya GVV) [Graph-analytical method for determining the parameters of slope runoff hydrographs (based on the field survey of hot water survey)]. *Trudy UkrNIGMI [Proceedings UkrSRHMI]*, 127, pp. 54-61. (in Russ.)
25. Andreevskaya, G.M., Gopchenko, E.D. & Ovcharuk, V.A. (1996). O forme grafikov pritoka vody so sklonov v ruslovuyu set' [About the form of graphs of water inflow from the slopes to the channel network]. *Meteorologiya, klimatologiya i gidrologiya [Meteorology, climatology and hydrology]*, 33, pp. 106-110. (in Russ.)
26. Gopchenko, E.D. (2008). Razvitiye predstavitelnyami Odesskoy nauchnoy shkoly teoreticheskoy i prikladnoy gidrologii ucheniya o maksimal'nom stoke [The development by representatives of the Odessa scientific school of theoretical and applied hydrology of the doctrine of maximum runoff]. *Meteorologiya, klimatologiya ta hidrohologiya [Meteorology, climatology and hydrology]*, 50 (2), pp. 5-13. (in Russ.)
27. Gopchenko, E.D. & Ovcharuk, V.A. (2007). Metodika rascheta skorosti ruslovogo dobeganiya na rekakh Ukrainy [Methodology for calculating the speed of channel runoff on the rivers of Ukraine]. *Prychornomorskyi ekolohichniy biulleten [Black Sea Ecological Bulletin]*, 2 (24), (June), pp.53-55. (in Russ.)

APPLICATION OF THE OPERATOR MODEL OF RUNOFF FORMATION TO DETERMINE THE AVERAGE LONG-TERM VALUES OF MAXIMUM WATER DISCHARGE OF SPRING FLOOD IN THE PIVDENNY BUH BASIN

A. A. Dokus, V. A. Ovcharuk, Zh. R. Shakirzanova

*Odessa State Environmental University,
15, Lvivska St., 65016 Odesa, Ukraine, angel.dokus@gmail.com*

In the context of Ukraine's integration into the European Union and implementation of the main provisions of Directive 2007/60/EC which implies assessment of potential hydrological risks, long-term factors of their formation, in particular the effects of climate change and the trend of river water regime changes should be taken into consideration. With this in mind, given the presence of both current long-term tendencies to reduction of runoff layers (volumes) and maximum discharge of water of spring flood across the Ukrainian rivers there is an important task to identify, using the modern initial data, both the average long-term values of these characteristics and different probability of their exceedance probability.

For the first time, the authors of the study implemented an operator model of runoff formation to determine the average long-term values of maximum water discharge of spring flood in the basin of the Pivdenny Buh using meteorological characteristics (snowpack and precipitation) and runoff coefficients as basic parameters.

The model was applied to determine the maximum runoff modules of spring floods for the rivers with a wide range of catchment areas affected by different physical and geographical conditions within the Pivdenny Buh Basin.

Application of the operator model allowed the authors of the article to calculate and summarize all input parameters of the calculation model, including those obtained from observational data (snowpack, precipitation) and those that can't be measured by the hydrometeorological network (runoff coefficient, temporal irregularity coefficient and duration of surface inflow of snowmelt

and rain water, transformational function of the flood waves layering under the influence of channel lag, coefficient of channel and floodplain regulation) for the rivers of the Pivdenny Buh Basin.

The verifying calculation related to determination of the average long-term values of the maximum modules of spring flood runoff using the operator model showed satisfactory concordance with the initial data and this allowed recommending it for practical application for the rivers of the Pivdenny Buh Basin, including those that haven't been studied from the hydrological perspective.

Keywords: average long-term maximum runoff; spring flood; operator model; Pivdenny Buh.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОПЕРАТОРНОЙ МОДЕЛИ ФОРМИРОВАНИЯ СТОКА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СРЕДНЕМНОГОЛЕТНИХ ВЕЛИЧИН МАКСИМАЛЬНЫХ РАСХОДОВ ВОДЫ ВЕСЕННЕГО ПОЛОВОДЬЯ В БАСЕЙНЕ РЕКИ ЮЖНЫЙ БУГ

А. А. Докус, В. А. Овчарук, Ж. Р. Шакирзанова

*Одесский государственный экологический университет,
ул. Львовская, 15, 65016, Одесса, Украина, angel.dokus@gmail.com*

В условиях интеграции Украины в Европейский Союз, при внедрении основных положений Директивы 2007/60 /ЕС, которая предусматривает оценку потенциальных рисков гидрологического характера, должны учитываться долгосрочные факторы их формирования, в частности, последствия изменений климата и тенденции изменений водного режима рек. В связи с этим, при наличии в настоящее время многолетних тенденций к уменьшению как слоев (объемов) стока, так и максимальных расходов воды весенних половодий на реках Украины актуальной задачей является определение при использовании современных исходных данных как среднеемноголетних значений этих характеристик, так и разной вероятности их превышения.

Впервые авторами исследования реализована операторная модель формирования стока для определения среднеемноголетних величин максимальных расходов воды весеннего половодья в бассейне р. Южный Буг при использовании в качестве базовых параметров метеорологических характеристик (снегозапасы и осадки) и коэффициенты стока.

Применение операторной модели позволило авторам статьи рассчитать и обобщить все исходные параметры расчетной модели, включая те, которые получены по данным наблюдений (снегозапасы, осадки) и те, которые не измеряются на гидрометеорологической сети (коэффициент стока, коэффициент временной неравномерности и продолжительность склонового притока тало-дождевых вод, трансформационная функция распластывания паводковых волн под влиянием руслового добега, коэффициент русло-пойменного регулирования, коэффициент трансформации половодий под влиянием озер и водохранилищ руслового типа) в бассейне р. Южный Буг.

Проверочные расчеты по определению среднеемноголетних величин максимальных модулей стока весенних половодий по операторной модели показали удовлетворительное соответствие исходным данным, что позволило рекомендовать предложенную методику к практическому применению в бассейне р. Южный Буг, в том числе для рек, неизученных в гидрологическом отношении.

Ключевые слова: среднеемноголетний максимальный сток, весеннее половодье, операторная модель, Южный Буг.

*Подання до редакції : 31. 08. 2019
Надходження остаточної версії : 25. 11. 2019
Публікація статті : 28. 11. 2019*