

УДК 556.166

*Шакірзанова Ж.Р., Казакова А.О.*

*Одеський державний екологічний університет*

### ТЕРИТОРІАЛЬНЕ ДОВГОСТРОКОВЕ ПРОГНОЗУВАННЯ ХАРАКТЕРИСТИК МАКСИМАЛЬНОГО СТОКУ ВЕСНЯНОГО ВОДОПІЛЛЯ В БАСЕЙНІ Р.ПІВДЕННИЙ БУГ

**Ключові слова:** територіальне довгострокове прогнозування, максимальний стік, весняне водопілля

**Постановка проблеми та її значення.** Весняне водопілля - багатоводна фаза гідрологічного режиму басейну р. Південний Буг. Формування стоку в цей період обумовлене таненням накопиченого за зиму снігу і весняними опадами, а також можливістю ґрунтів поглинати поталі та дощові води. Оскільки водопілля супроводжується розливами річок, то у багатоводні роки вони можуть набувати характер стихійного лиха, чим завдають великих збитків господарським об'єктам та населеним пунктам.

При виникненні катастрофічно високих водопіль, потрібна оцінка характеристик весняного стоку в цілому для великих регіонів, у тому числі й для річок недостатньо вивчених у гідрологічному відношенні. При цьому стає необхідним обґрунтування методів територіального прогнозування шарів стоку і максимальних витрат води весняного водопілля. Особливо важливим є й встановлення ймовірності настання гідрологічних характеристик водопіль у багаторічному розрізі, картографічна форма представлення прогнозних величин та їх забезпеченостей з метою просторового аналізу формування весняного водопілля на значних територіях.

**Мета роботи** – прогнозування шарів стоку та максимальних витрат води весняного водопілля в басейні р. Південний Буг та річок межиріччя Дністра і Південного Бугу при використанні методу територіальних довгострокових прогнозів характеристик стоку весняного водопілля для рівнинних річок території, включаючи й не вивчені у гідрологічному відношенні.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Дослідження по створенню методів прогнозів стоку весняного водопілля по територіально загальних залежностях розглядалися у роботах В.Н.Паршина і М.С.Салова – для степової і лісостепової зон (1955), С.І.Харченка – для зони недостатнього зволоження (1959), Є.Г.Попова – для деяких північних річок (1963), В.А. Романенка – для невеликих річок басейну Дніпра (в межах України) (1963), В.В.Салазанова – для річок Верхнього Дніпра (1964). До більш пізнього періоду відносяться розробки О.С.Змійової (1977), А.І.Суботіна (1978), Д.А.Буракова (1976) та багатьох інших відомих дослідників. Для довгострокового прогнозу та розрахунку об'єму весняного водопілля можуть використовуватися математичні моделі Ю.Б.Виноградова [1] та М.М.Сусідка [2].

Особливості формування весняного водопілля на рівнинних річках відображені в математичній моделі «СЛОЙ-2», що розроблена в Українському

гідрометеорологічному інституті (УкрГМІ) М.М.Сусідком, Є.І.Кочелабою і В.П.Окорським [2]. Математична модель призначена для дослідження динаміки зимово-весняних процесів на річковому водозборі та дозволяє виконувати довгострокове прогнозування характеристик весняного стоку. Така модель особливо важлива в районах, які характеризуються зимовими відлигами. Прогноз об'єму весняного водопілля здійснюється шляхом воднобалансового вирішення при визначенні сумарних втрат тало-дощових вод через такі показники як коефіцієнт стоку і шар поверхневого затримання вологи з врахуванням залісеності водозборів. Модель широко використовується в оперативній практиці Українського гідрометцентру (УкрГМЦ) та дає можливість довгострокового просторового прогнозування шарів стоку весняного водопілля як для окремих водозборів, так і для річок всієї території України в цілому. При цьому прогнозні шари весняного стоку представляються у картографічному вигляді, а також у ймовірнісній формі за різними сценаріями розвитку весняних процесів.

В оперативній діяльності УкрГМЦ для гідрологічного прогнозування талого і дощового стоку також використовуються науково-методичні розробки УкрГМІ, які об'єднані в єдину систему у вигляді прогностично-моделюючих комплексів (за видами прогнозів і групами річкових басейнів): «Тиса», «Дністер», «Прут», комплекс «ДОЩ-3», «СЛОЙ-3», з програмним забезпеченням, реалізованим на персональному комп'ютері (автори М.М.Сусідко, О.І.Лук'янець) [3]. Моделі дозволяють математично описувати процеси снігонакопичення, зміни стану поверхні водозборів, сніготанення та стокоутворення в періоди весняних водопіль, а також процеси розвитку дощових паводків на основі моделювання процесів нерівномірного просторового розподілу опадів, стокоутворення, випаровування, фільтрації. Для басейну Південного Бугу в УкрГМІ на основі математичної моделі формування весняного стоку СНІГ-3 розроблена та використовується в практиці прогностична технологія ймовірного короткотермінового прогнозування перебігу стоку води з урахуванням ландшафтної неоднорідності розподілу гідрометеорологічних чинників в різних частинах басейну [4]. Для розрахунку переміщення паводкової хвилі по руслу річки авторами [4] використана ступенева модель STUFE, що враховує тільки процеси, що відбуваються в русловій мережі.

В Одеському державному екологічному університеті на кафедрі гідрології суші під керівництвом Є.Д.Гопченка та Ж.Р.Шакірзанової розроблений і переданий для оперативної роботи в Український гідрометеорологічний центр програмний комплекс, в основу якого покладений науковий метод територіального довгострокового прогнозування максимальних витрат води весняного водопілля рівнинних річок, який дає можливість у картографічному вигляді представляти прогнозні величини у модульних характеристиках, а також оцінити ймовірність настання прогнозних величин у багаторічному розрізі, незалежно від гідрологічної вивченості території [5].

У даний час врахування сучасних змін клімату в розрахункових і прогнозних схемах водного режиму річок України являється нагальною задачею. Прикладом математичної моделі, яка відображає сучасні кліматичні зміни, що спостерігаються на розглядуваній території є модель «клімат-стік», автором якої є Н.С.Лобода і Є.Д.Гопченко [6]. Модель базується на вирішенні рівняння водно-теплого балансу територій при врахуванні метеорологічних величин, як спостережених, так й отриманих в різних сценаріях розвитку клімату у майбутньому.

Математичні моделі з зосередженими параметрами для прогнозування водного режиму річок розроблені і використовуються за кордоном, у тому числі, в

практиці ВМО [7], наприклад, Стенфордська (автори Н.Г.Крауфорд і Р.К.Лінслей), Д.Дюді і О'Доннела, Шеньси, Д.Є.Неша та ін. [8], Сакраменто [9], резервуарна модель [10] та ін. В практиці ВМО використовуються й гідродинамічні моделі (моделі вищого рівня). Це моделі з розподіленими параметрами, якими враховується фізична суть всього гідрологічного циклу явища у межах річкових водозборів. Моделі засновані на рівняннях математичної фізики і гідродинаміки, враховують в явному вигляді просторову нерівномірність стокоформуєчих факторів і тому потребують для ефективного використання достатньо обширної інформації, яка поки-що часто відсутня [7,8]. Серед розподілених моделей найбільш відомими є Європейська гідрологічна система (SHE) [11], DHSWM (Distributed Hydrology Soils and Vegetation Model, розробка американських вчених університету в Сієтлі – основні автори Віг моста і Леттенмайєр) [12], а також модель Датського гідравлічного інституту «Майк-11», в яку входить модель опадистік NAM, гідродинамічна модель MIKE11 DHI та ін. [13].

**Об'єкти дослідження і вихідні матеріали.** Об'єктом дослідження є басейн р. Південний Буг з притоками – рр .Рів, Соб, Савранка, Кодима, Синюха, Інгул, а також деякі річки межиріччя Дністра і Південного Бугу. При обґрунтуванні параметрів методики територіальних довгострових прогнозів характеристик весняного водопілля використані матеріали режимних видань за багаторічний період спостережень по 53 гідрологічних постах (станом на 2010 р.), які мають тривалі часові ряди стокових спостережень. По території гідропости розміщені досить рівномірно, а гідрометеорологічна вивченість території в загальному задовільна. Діапазон водозбірних площ охоплює басейни за розміром від 36,5 км<sup>2</sup> (р. Південний Буг – с. Чорнява) до 46200 км<sup>2</sup> (р. Південний Буг – смт Олександрівка).

Найбільша кількість гідрологічних постів мають величини площ водозборів до 5000 км<sup>2</sup> (74% від загального їх числа). Часові ряди спостережень більші ніж 50 років мають 20 постів (38 % від загальної їх кількості). Станом на 01.06.2012 р. діючими є 24 гідрологічних поста, а в період з 1981 р. – закриті 8.

В роботі використані й дані спостережень за метеорологічними та агрометеорологічними чинниками весняного водопілля по 26 метеорологічних станцій, рівномірно розміщених по території. Снігозйомки відбуваються також на 11 метеопостах, причому 9 з них ведуть й вимірювання опадів.

Багаторічні матеріали спостережень мережі гідрометслужби України залучені з видань Центральної геофізичної обсерваторії («Багаторічні дані про режим та ресурси поверхневих вод суші») та Українського Гідрометцентру, що сформовані в базі даних АРМГ.

**Виклад основного матеріалу і обговорення отриманих результатів.** Гідрометеорологічними чинниками, що визначають характер весняного водопілля у поточному році являються [5]:

- запаси води на водозборі в період весняного водопілля, що є основним чинником надходження тало-дошових вод на річковій водозбір, які беруть участь у формуванні весняного водопілля (представляються в прогнозній схемі у вигляді модульних коефіцієнтів загальних запасів вологи)

$$k_x = (S_m + X_1 + X_2)/(S_0 + X_{1_0} + X_{2_0}), \quad (1)$$

де  $S_m$  та  $S_0$  – середні на водозборах максимальні снігозапаси та їх середньобагаторічна величина, мм;  $X_1$  і  $X_{1_0}$  – рідкі опади періоду весняного сніготанення та їх середньобагаторічна величина, мм;  $X_2$  і  $X_{2_0}$  – рідкі опади

періоду спаду водопілля та їх середньобагаторічна величина, мм (враховуються при прогнозі шарів стоку водопілля).

- показником зволоження ґрунтів виступає індекс зволоження ґрунтів, який визначається, як передповенева витрата води  $Q_{не}$ , віднесена до середньобагаторічної величини витрати води цього ж місяця  $(Q_{не})_0$

$$k_{Q_{не}} = \frac{Q_{не}}{(Q_{не})_0}, \quad (2)$$

де  $k_{Q_{не}}$  – індекс зволоження ґрунтів – передповенева витрата води у річці (у відносній величині).

За відсутності даних стокових спостережень на річках використовується залежність виду (для багаторічних чи щорічних витрат води)

$$(Q_i)_0 = f(F), \quad (3)$$

- показником промерзання ґрунтів виступає модульний коефіцієнт максимальної глибини промерзання ґрунтів

$$(k_L)_i = \frac{L_i}{L_0}, \quad (4)$$

де  $L_i$  – середні по водозборах величини максимальних глибин промерзання ґрунтів, см;  $L_0$  – середньобагаторічні величини максимальних глибин промерзання ґрунтів на окремих водозборах, см.

За відсутності багаторічних даних  $L_0$  можна визначити за формулою

$$L_0 = 66 + 3,56(\varphi^0 - 50), \quad (5)$$

де  $\varphi^0$  – широта пунктів виміру промерзання ґрунтів,  $^0$  півн.ш.

Методика довгострокових прогнозів шарів стоку та максимальних витрат води заснована на використанні залежностей цих величин від кількості вологи на басейні, виражених у модульних коефіцієнтах у вигляді [5]

$$k_m = f(k_x), \quad (6)$$

де  $k_m$  – модульний коефіцієнт: для шарів стоку  $k_m = Y_m / Y_0$  – відношення величин шарів стоку  $Y_m$  до їх середньобагаторічних значень  $Y_0$ , мм; для максимальних витрат води весняного водопілля  $k_m = q_m / q_0$  – відношення величин максимальних модулів водопілля  $q_m$  до їх середньобагаторічних значень  $q_0$ ,  $\text{м}^3/(\text{с} \cdot \text{км}^2)$ .

Прогноз шарів стоку чи максимальних витрат води весняного водопілля у вигляді відносних їх значень здійснюється в наступній послідовності.

За знаком дискримінантної функції  $DF$  встановлюється тип водності очікуваного водопілля – вищий, близький або нижчий за норму. Функція  $DF$  розраховується в дату складання прогнозів за рівнянням типу

$$DF = a_0 + a_1 k_x + a_2 k_{Q_{не}} + a_3 k_L + a_4 \Theta_{02}, \quad (7)$$

де  $A = (a_0, a_1, a_3, a_4)$  – вектор коефіцієнтів дискримінантної функції.

До вектор-предиктора дискримінантної функції були віднесені такі гідрометеорологічні фактори весняного водопілля, як: величини максимальних

запасів води в сніговому покриві і весняні опади у вигляді (1); індекс зволоження ґрунтів – середня витрата води в річці перед водопіллям, віднесена до її середньобагаторічної величини  $k_{Q_m}$ , одержаний за (2); максимальна глибина промерзання ґрунтів також у вигляді модульних коефіцієнтів  $k_L$  у вигляді (4) та середньомісячна температура повітря у лютому  $\Theta_{02}^{\circ}\text{C}$ .

Прогнозні величини визначаються за регіональними залежностями для шарів стоку чи максимальних витрат води у вигляді (6), які описуються поліномом за умов застосування кривих за ознаками  $DF$  у вигляді

$$k_m = b_0 + b_1 k_x + b_2 k_x^2 + b_3 k_x^3, \quad (8)$$

де  $b_0, b_1, b_2, b_3$  – коефіцієнти полінома прогнозних залежностей для шарів стоку чи максимальних витрат води водопілля.

Отримання прогнозних величин шарів стоку  $Y'_m$  і максимальних витрат води  $Q'_m$  весняного водопілля на річках, виконується шляхом помноження отриманого за методикою модульного коефіцієнту  $k_m$  на середньобагаторічну величину шару стоку  $Y_0$  чи максимальної витрати води (модуля)  $q_0$ .

За відсутності стокових вимірів на річках пропонується для визначення величин  $Y_0$  використовувати картосхему їх розподілу по території (рис.1) при врахуванні впливу залісеності ( $f_x$ ) і заболоченості ( $f_o$ ) водозборів. Значення коефіцієнтів впливу залісеності ( $k_x$ ) і заболоченості ( $k_o$ ) на середньобагаторічні величини шарів стоку визначаються за рівняннями

$$k_x = 1 + 0.078 \cdot \lg(f_x + 1); \quad (9)$$

$$k_o = 1 - 0.11 \cdot \lg(f_o + 1). \quad (10)$$

Визначення середньобагаторічних максимальних модулів весняного водопілля  $q_0$  для невивчених у гідрологічному відношенні річок пов'язане з неможливістю їх просторового узагальнення для різних за площею водозборів. Метод територіального прогнозу максимумів водопілля дозволяє розраховувати величину  $q_0$  в рамках моделі типового редуційного гідрографа, запропонованої Є.Д.Гопченком та В.А.Овчарук у вигляді [14]

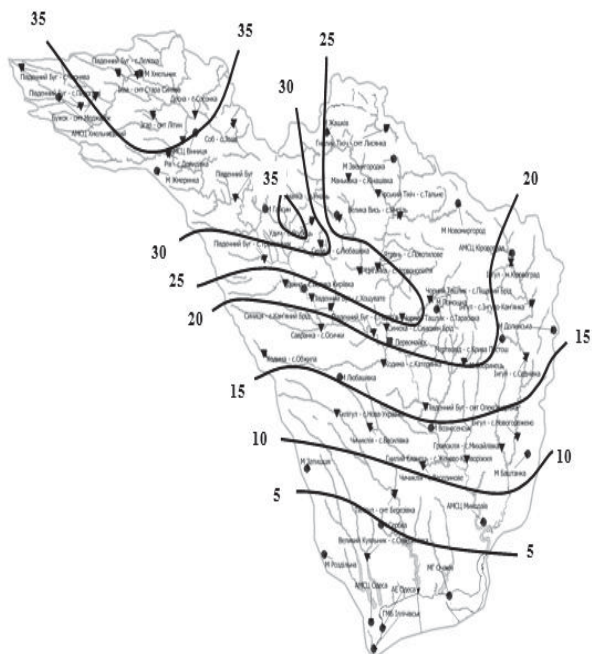
$$q_0 = q'_0 \psi(t_p / T_0) \varepsilon_F \cdot r, \quad (11)$$

де  $q_0$  – середній багаторічний модуль максимального стоку,  $\text{м}^3/(\text{с}\cdot\text{км}^2)$ ;  $q'_0$  – середній багаторічний модуль максимальної витрати води схилового припливу,  $\text{м}^3/(\text{с}\cdot\text{км}^2)$ ;  $\psi\left(\frac{t_p}{T_0}\right)$  – трансформаційна функція розпластування повеневих хвиль під впливом руслового добігання;  $\varepsilon_F$  – коефіцієнт русло-заплавного регулювання;  $r$  – коефіцієнт трансформації водопіль під впливом озер і водосховищ руслового типу.

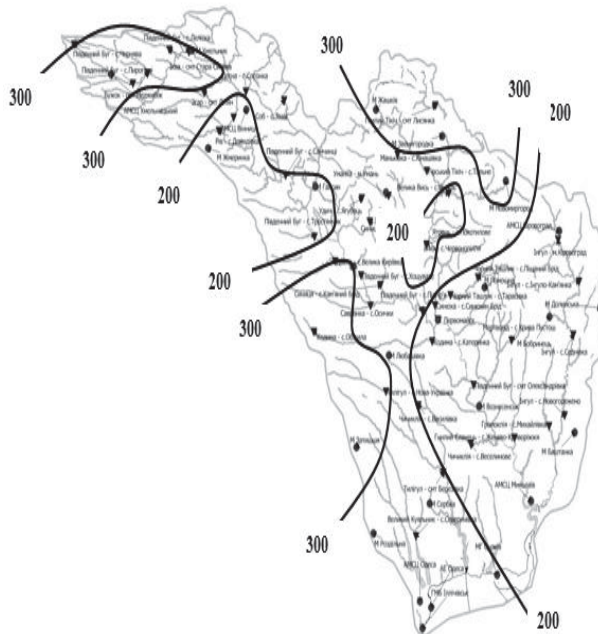
Значення середнього багаторічного модуля максимальних витрат води схилового припливу визначаються за рівнянням

$$q'_0 = 0.28 \frac{n+1}{n} \frac{1}{T_0} Y_0, \quad (12)$$

де  $\frac{n+1}{n}$  – коефіцієнт нерівномірності схилового припливу у часі, що прийнятий рівним на рівні 8,1;  $Y_0$  – середньобагаторічний шар стоку весняного водопілля, мм (Рис.1);  $T_0$  – тривалість схилового припливу тало-дощових вод, год, що узагальнена у вигляді карто-схеми (рис.2).



**Рис.1. Розподіл по території середніх багаторічних величин шарів стоку весняного водопілля в басейні Південного Бугу та річок межиріччя Дністра і Південного Бугу ( $f_L = 0, f_B = 0$ ), мм**



**Рис.2. Розподіл по території тривалості схилового припливу тало-дощових вод в басейні Південного Бугу та річок межиріччя Дністра і Південного Бугу ( $f_L = 0, f_B = 0$ ), год**

Значення коефіцієнтів впливу залісеності  $k'_L$  і заболоченості  $k'_B$  на середньобагаторічні величини тривалості схилового припливу, що одержуються з карто-схеми їх розподілу по території визначаються за рівняннями:

$$k'_L = 1 + 0.34 \cdot \lg(f_L + 1); \quad (13)$$

$$k'_B = 1 + 1.23 \cdot \lg(f_B + 1). \quad (14)$$

Для розрахунку трансформаційної функції Є.Д.Гопченком [14] обґрунтовані рівняння:

а) при  $0 < t_p < T_0$

$$\psi(t_p / T_0) = 1 - \frac{m+1}{(n+1)(m+n+1)} \left( \frac{t_p}{T_0} \right)^n; \quad (15)$$

б) при  $t_p \geq T_0$

$$\psi(t_p / T_0) = \frac{n}{n+1} \frac{T_0}{t_p} \left[ \frac{m+1}{m} - \frac{n+1}{m(m+n+1)} \left( \frac{T_0}{t_p} \right)^m \right]; \quad (16)$$

в) при  $t_p/T_0 = 0$

$$\psi(t_p/T_0) = 1,0, \quad (17)$$

де  $t_p$  – тривалість руслового добігання, год;  $m$  – показник степені у рівнянні кривої ізохрон,  $m = 1,0$ ;  $n = 0,2$ .

Розрахунок тривалості руслового добігання  $t_p$  здійснюється за формулою  $t_p = L/V_\partial$ , де  $L$  – гідрографічна довжина водотоку (відстань від найдальшої точки водозбору), км;  $V_\partial$  – швидкість добігання, км/год.

Для визначення швидкості добігання використовується формула  $V_\partial = a_2 \cdot F^{\alpha_2} \cdot I^{0,33}$ , де  $a_2$  – швидкісний параметр, приймається за табл.1;  $\alpha_2$  – параметр, який також визначається за табл.1 (для басейну р.Південний Буг та річок межиріччя Дністра і Південного Бугу);  $I$  – середньозважений ухил річки, ‰.

Таблиця 1. Значення параметрів  $a_2$  і  $\alpha_2$

Географічна зона	$a_2$	$\alpha_2$
Лісостепова	1,51	0,17
Степова	1,19	0,14

Якщо дані про середньозважені ухили річок або про гідрографічну довжину водотоку відсутні, то їх можна визначити в залежності від площ водозборів  $I = f(F)$ .

Для урахування впливу на максимальний стік весняного водопілля озер і водосховищ в (11), рекомендується використовувати формулу СНІП 2.01.14-83 [15]

$$r = 1/(1 + Cf'_{03}), \quad (18)$$

де  $f'_{03}$  – середньозважена озерність;  $C$  – емпіричний коефіцієнт, який визначається величиною  $Y_0$  за табл.2

Таблиця 2. Значення коефіцієнта  $C$

$Y_0$ , мм	49-20	<20
$C$	0,35	0,40

Коефіцієнт русло-заплавного регулювання  $\varepsilon_F$  визначається з (11)

$$\varepsilon_F = (q_0/q'_0)/[\psi(t_p/T_0)] \cdot r, \quad (19)$$

а потім узагальнюється в залежності від розмірів водозборів. Наприклад, для рівнинних річок України (у тому числі й для р.Південний Буг та річок межиріччя Дністра і Південного Бугу) у вигляді  $\varepsilon_F = e^{-0,18 \cdot \lg(F+1)}$ .

Визначаються значення ймовірнісних оцінок настання прогнозних величин у багаторічному періоді ( $P\%$ ), які здійснюються за прогнозними модульними коефіцієнтами шарів стоку або максимальних витрат води водопілля та їх статистичними характеристиками при використанні трипараметричного гамма-розподілу С.Н.Крицького і М.Ф.Менкеля (при визначеному співвідношенні  $C_s/C_v = 2,5$ ) [15].

Спрогнозовані характеристики весняного водопілля у вигляді модульних коефіцієнтів  $k_m$  для шарів стоку та максимальних витрат води, а також їх забезпеченості представляються у картографічному вигляді для поточного року.

**Висновки.** Використаний метод територіального довгострокового прогнозу шарів стоку та максимальних витрат води весняного водопілля на рівнинних річках при перевірці прогнозної методики на незалежних матеріалах (2001-2010 рр.) для річок басейну Південного Бугу та річок межиріччя Дністра і Південного Бугу дозволяє здійснювати оперативне прогнозування цих характеристик у поточних роках. Прогнозування весняного водопілля (шарів стоку та максимальних витрат води) здійснюється при встановленні комплексу гідрометеорологічних чинників з використанням методу дискримінантного аналізу, отриманні модульних коефіцієнтів за регіональними залежностями, визначенні очікуваних величин стокових характеристик при встановленні їх середньобогаторічних величин (у тому числі за відсутності стокових спостережень на річках), а також визначенні забезпеченості прогнозних величин у багаторічному розрізі.

#### Список літератури

1. *Виноградов Ю.Б.* Модель «Объём половодья – ГГИ 82» / Ю.Б. Виноградов // Труды ГГИ, 1985. – Вып. 304. – С.3-41.
2. *Кочелаба Е.И.* Математическое моделирование процессов формирования половодного стока на территории Полесья с учетом тепловых явлений / Е.И. Кочелаба, В.П. Окорский, М.Н. Соседко // Труды УкрНИГМИ. – 1990. – Вып. 235. – С.3–18.
3. *Сусідко М.М.* Карпати – паводконебезпечний регіон України. Комплексна басейнова система прогнозування паводків у Закарпатті: методична та технологічна база її складових./ М.М. Сусідко, О.І. Лук'янець – Київ, 2010. – 64 с.
4. *Соседко М.М.* Технологія взаємодії математичних моделей формування стоку / М.М. Соседко, Т.В. Маслова, О.А. Липкань // Наук. праці УкрНДГМІ. – 2011. - Вып. 260. – С. 158-174.
5. *Шакірзанова Ж.Р.* Довгострокове прогнозування характеристик максимального стоку весняного водопілля рівнинних річок та естуаріїв території України: монографія / Ж.Р. Шакірзанова. – Одеса: ТОВ «Плутон», 2015. – 252 с.
6. *Степаненко С.М.* Оцінка впливу кліматичних змін на галузі економіки України: [монографія] / колектив авт.: С.М. Степаненко, А.М. Польвий, Є.П. Школьній [та ін.]; за ред. С.М. Степаненка, А.М. Польвого. – Одеса: Екологія, 2011. – 696 с.
7. *Руководство по гидрологической практике.* Сбор и обработка данных, анализ, прогнозирование и другие применения. – Всемирная Метеорологическая Организация (ВМО - №168). – Пятое изд. 1994. – 844 с.
8. *Георгиевский Ю.М.* Гидрологические прогнозы. / Ю.М. Георгиевский, С.В. Шаночкин Учебник. – СПб., изд.РГГМУ, 2007. – 436 с.
9. *Burnash, R. J. C.* 1973: A Generalized Streamflow Simulation System: Conceptual Modelling for Digital Computers./ R.J.C. Burnash, , R.L. Ferral, R.A. McGuire // National Weather Service and State of California Department of Water Resources, March.
10. *Sugawara, M.,* 1974: *Tank Model and its Application to Bird Creek, Wollombi Brook, Bikin River, Kitsu River, Sanaga River and Nam Mune.*/ M.Sugawara, E. Ozaki, I. Watanabe, S. Katsuyama // Research Note of the National Research Center for Disaster Prevention, Science and Technology Agency, Tokyo, Japan, June.
11. *An introduction to the European Hydrological System-Systeme Hydrologique Europeen* / M.B. Abbott, J.C. Bathurst, J.A. Cunge [et al.] // "SHE". 1 History and philosophy of a physically based distributed modelling system. Journal of Hydrology. – 1986. – N 87. – P. 45 – 59.
12. *Wigmosta M.S.* A distributed hydrology-vegetation model for complex terrain / M.S. Wigmosta, L.Vail, D.P. Lettenmaier // Water Resources Research. – 1994. – Vol. 30. – P. 1665 – 1679.
13. *MIKE 11 - a Modelling System for Rivers and Channels / Short Introduction Tutorial / Version 2007,* DHI Water & Environment, 15 p.
14. *Гопченко Е.Д.* Формирование максимального стока весеннего половодья в условиях юга Украины/ Е.Д. Гопченко, В.А. Овчарук : монографія. – Одесса: ТЭС, 2002. – 110 с.
15. *Пособие по определению расчётных гидрологических характеристик.* СНиП 2.01.14-83. – Л.: Гидрометеиздат, 1984. – 448 с.



**Територіальне довгострокове прогнозування характеристик максимального стоку весняного водопілля в басейні р.Південний Буг**

**Шакірзанова Ж.Р., Казакова А.О.**

*Використаний метод територіальних довгострокових прогнозів характеристик стоку весняного водопілля (на прикладі р. Південний Буг та річок межиріччя Дністра і Південного Бугу) дозволяє передчасно визначати максимальні витрати води та шари стоку в весняний період для будь-яких річок території, включаючи і невивчені в гідрологічному відношенні.*

**Ключові слова:** територіальне довгострокове прогнозування, максимальний стік, весняне водопілля

**Территориальное долгосрочное прогнозирование характеристик максимального стока весеннего половодья в бассейне р.Южный Буг**

**Шакирзанова Ж.Р., Казакова А.А.**

*Использованный метод территориальных долгосрочных прогнозов характеристик стока весеннего половодья (на примере р. Южный Буг и рек междуречья Днестра и Южного Буга) позволяет преждевременно определять максимальные расходы воды и слои стока в весенний период для любых рек территории, включая и неизученные в гидрологическом отношении.*

**Ключевые слова:** территориальное долгосрочное прогнозирование, максимальный сток, весеннее половодье

**Territorial long-term forecasting characteristics maximum runoff spring flood in the basin of the Southern Bug**

**Shakirzanova Zh.R. , Kazakova A.O.**

*The method used for territorial long-term forecasts of spring flood runoff characteristics (for example, r. Southern Bug and rivers of territory between the Dniester and Southern Bug) allows premature to determine the maximum discharge of water and the layers runoff in the spring for any river area, including uninvestigated hydrologically.*

**Keywords:** spatial long-term forecasting, maximum flow, spring flood.

**Надійшла до редколегії 23.06.2015**

УДК 551.577.2

**Prohaska Stevan**

*Jaroslav Černi Institute for the Development of Water Resources*

## **ASSESSMENT OF THE RETURN PERIOD OF THE RAINFALL INTENSITY THAT CAUSED THE MAY 2014 FLOOD IN SERBIA**

**Keywords:** May 2014 flood, heavy rainfall, rainfall intensity, rainfall duration, probability of occurrence, return period, statistical significance

**Introduction.** The major floods in Serbia were caused by heavy rainfall events in most of western and central Serbia, which occurred between midnight (00:00) of 12 May and 3 am on 19 May 2014. This flood affected the Kolubara River basin, the lower Drina River basin, the Zapadna Morava River basin, the lower Južna Morava River basin, the catchment areas of the Velika Morava tributaries, and the Mlava River basin, as well as the lower Sava River basin, from the state frontier to the confluence of the Sava and the Danube at Belgrade. The heavy rainfall that led to the formation of a flood wave on the Sava and its tributaries also affected Croatia and Bosnia and Herzegovina, but these two countries are not included in the present assessment.

The main causer was a spatial cyclone which was formed and developed at all altitudes, as a result of a cold wave of Atlantic air coming via the Alps into the Mediterranean region. It shifted over the Adriatic to the Balkans. On 13 May, the cyclone moved from the Adriatic Sea to the western and central parts of the Balkans, and from 14 to 16 May it strengthened (deepened) at all altitudes and also became