

31. Шумпетер Й. Теория экономического развития / Й. Шумпетер. – М. : Прогресс, 1982. – 386 с.
32. Форрестер Дж. Основы кибернетики предприятия (Индустриальная динамика) / Дж. Форрестер. – М. : Прогресс, 1970. – 842 с.
33. Christopher F. Systems of Innovation : Selected Essays in Evolutionary Economics / F. Christopher. – Edward Elgar Publishing Ltd, 2008. – 386 p.
34. Walt W. R. Why the Poor Get Richer and the Rich Slow Down : Essays in the Marshallian long period / W. R. Walt. – 1980. – 452 p.
35. Клименко В. В. История и климат в Средние века / В. В. Клименко // Восток. – М., 2003. – № 1. – С. 5-41.
36. Клименко В. В. Климат и история в эпоху первых высоких культур (3500-500 гг. до н. э.) / В. В. Клименко // Восток. – М., 1998. – № 4. – С. 5-24.
37. Клименко В. В. Климат и история от Конфуция до Мухаммада / В. В. Клименко // Восток. – М., 2000. – № 1. – С. 5-31.
38. Клименко В. В. Климат Северного полушария в средневековый оптимум / В. В. Клименко, В. А. Климанов // Доклады РАН. – М., 2000. – Т. 371. – № 5. – С. 539-543.

Шакірянна Ж.Р.

УДК 556.06

МЕТОДИКА ДОВГОСТРОКОВОГО ПРОГНОЗУВАННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ВЕСНЯНОГО ВОДОПІЛЛЯ РІЧОК ПРИЧОРНОМОР'Я В УМОВАХ ОБМЕЖЕНОСТІ ДАНИХ ГІДРОЛОГІЧНИХ СПОСТЕРЕЖЕНЬ

Вступ. Для своєчасного здійснення протипаводкових заходів і завчасного попередження при проходженні катастрофічних повеней на річках від танення снігу і випадіння опадів необхідні просторові методи прогнозування, що охоплюють прогностичною інформацією значні території, у тому числі й річки з обмеженістю гідрологічних спостережень на них.

Головна проблема дослідження полягає у тому, що гідрологічна мережа спостережень на значній території південного регіону – Причорноморської низовини, практично відсутня, тому необхідним є розробка методики прогнозування розмірів весняних водопіль на території, не охопленої даними гідрологічних вимірів на річках. Методика, яка пропонується, дає змогу для територій не висвітлених даними спостережень, відновлювати поля як метеорологічних факторів весняного стоку, так і прогнозних величин шарів стоку і максимальних витрат води весняного водопілля [1,2]. Пропонується підхід картографічного представлення метеорологічних (снігозапасів, опадів, температур повітря) та агрометеорологічних (глибин промерзання та вологості ґрунтів) факторів водопілля як середньобагаторічних, так і щорічних.

Що стосується територіальних узагальнень у розглядуваному регіоні Північно-Західного Причорномор'я будь-яких характеристик, пов'язаних зі стоком води (середньобагаторічних значень шарів стоку, максимальних витрат води або їх модульних коефіцієнтів, прогнозних значень цих характеристик, статистичних параметрів та ін.) у вигляді побудови картосхем їх розподілу по території, то такої можливості немає у зв'язку з відсутністю для цього необхідної вихідної інформації.

Матеріали і методи дослідження. Для обґрунтування методики прогнозу шарів стоку та максимальних витрат води водопіль у регіоні, де не відбуваються стоківі спостереження, вибираються опорні водозбори таким чином, щоб вони рівномірно висвітлювали частину розглядуваної території. В межах північно-західної частини Причорноморської низовини були обрані одинадцять річкових водозборів (включаючи три пости на території Молдови) з їх площами від 83,5 км² (р. Муса-зал.ст. Комрат) до 3170 км² (р. Тилігул-с. Березівка). Залісеність водозборів змінюється від 1-2% до 27% (р. Когильник-м. Котовськ) і при заболоченості не більше 1-2%. Період гідрометеорологічних спостережень на них обмежується 1986-1988 рр. На сьогодні на таких річках гідрологічні спостереження не відбуваються і їх можна віднести до невивчених у гідрологічному відношенні.

Для прогнозування характеристик весняного стоку невивчених у гідрологічному відношенні територій (в межах Причорноморської низовини) визначаються метеорологічні фактори, що впливають на розвиток весняних процесів і стокоутворення. Комплекс таких факторів поєднується у математичному методі дискримінантного аналізу при встановленні водності очікуваної весни і складає вектор-предиктор дискримінантної функції DF .

В першу чергу це стосується визначення основного фактору формування весняного водопілля – сумарного запасу максимальних снігозапасів і опадів періоду водопілля (у вигляді модульних коефіцієнтів)

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

де S_m і S_0 - максимальний запас води в сніговому покриві і його середньобагаторічна величина, мм; X_1 і X_{1_0} - опади періоду танення снігу і їх середньобагаторічна величина, мм; X_2 і X_{2_0} - опади періоду спаду весняного водопілля і їх середньобагаторічна величина, мм.

МЕТОДИКА ДОВГОСТРОКОВОГО ПРОГНОЗУВАННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ВЕСНЯНОГО ВОДОПІЛЛЯ РІЧОК ПРИЧОРНОМОР'Я В УМОВАХ ОБМЕЖЕНОСТІ ДАНИХ ГІДРОЛОГІЧНИХ СПОСТЕРЕЖЕНЬ

Середньобагаторічні величини максимальних снігозапасів S_0 , узагальнені по території Півдня України у вигляді картосхеми і підпорядковується широтній закономірності, збільшуючись у північному напрямку від 20-30 мм до 40 мм. Для аналізу зміни запасів води в сніговому покриві, які накопичуються на водозборах перед початком весняного водопілля доцільно у кожному році будувати картосхеми розподілу їх по території.

Для річок, по яких недостатньо даних спостережень за опадами, отримана залежність середньобагаторічних величин опадів періоду танення снігу X_{1_0} і X_{2_0} від географічного положення водозборів річок Причорноморської низовини (при коефіцієнті кореляції $r=0.78$ і 0.92 відповідно) у вигляді

$$X_{1_0} = 3.3(\varphi - 50^0) + 32, \quad (2)$$

$$X_{2_0} = 9.6(\varphi - 50^0) + 47. \quad (3)$$

де φ - географічна широта геометричних центрів водозборів, в частках град., приведена до умовної (середньої в межах території України) широти 50^0 .

На календарну дату складання прогнозу шарів стоку води весняного водопілля розрахунок середніх на водозборах максимальних запасів води в сніговому покриві перед весняним таненням і опадів періоду завчасності прогнозу $(S_m + X_{1_0}')_{ДСП}$ здійснюється за схемою

$$(S_m + X_{1_0}' + X_{2_0}')_{ДСП} = [S_{ДСП}(1 - f_l) + k_r S_{ДСП} f_l] + \Delta \bar{S} + X_{1_0}' + X_{2_0}', \quad (4)$$

де $S_{ДСП}$ - максимальні запаси води в сніговому покриві (за вимірами у полі), які накопичилися на дату складання прогнозу, мм; f_l - залісеність водозборів, у частках від загальної площі водозбору; k_r - коефіцієнт снігонакопичення у лісі, прийнятий на рівні 1.13; $\Delta \bar{S}$ - нормальна добавка до максимальних снігозапасів, мм; X_{1_0}' - рідкі опади періоду сніготанення, тобто періоду завчасності прогнозу шарів стоку весняного водопілля, мм; X_{2_0}' - рідкі опади періоду сніготанення, тобто періоду завчасності прогнозу шарів стоку весняного водопілля, мм.

Нормальні добавки до максимальних запасів води в сніговому покриві встановлюються за рівнянням

$$\Delta \bar{S} = b + a(\varphi' - 50^0), \quad (5)$$

де φ' - широта пунктів виміру снігозапасів, в частках град.

Коефіцієнти a і b у формулі (5) визначаються для календарних дат випуску прогнозів. Умови введення добавки $\Delta \bar{S}$ і значення коефіцієнтів в рівнянні (5) наведені у табл.1, орієнтуючись на метеопрогноз температури повітря.

Таблиця 1. Нормальні добавки до максимальних запасів води в сніговому покриві $\Delta \bar{S}$, мм

Умови введення добавки ($\Delta \bar{S}$)		Значення коефіцієнтів рівняння (5)	
ДСП: 10.02	ДСП: 20.02, 28.02	a	b
$\Theta_{02,03} \geq (\bar{\Theta}_{02,03} + 1^0)$	$\Theta_{03} \geq (\bar{\Theta}_{03} + 1^0)$	2.14-0.074 Д	7.47-0.25 Д
$(\bar{\Theta}_{02,03} + 1^0) > \Theta_{02,03} > (\bar{\Theta}_{02,03} - 1^0)$	$(\bar{\Theta}_{03} + 1^0) > \Theta_{03} > (\bar{\Theta}_{03} - 1^0)$	3.38-0.109 Д	20.4-0.61 Д
$\Theta_{02,03} \leq (\bar{\Theta}_{02,03} - 1^0)$	$\Theta_{03} \leq (\bar{\Theta}_{03} - 1^0)$	3.27-0.086 Д	26.8-0.55 Д

Умовні позначення:

ДСП – дата складання прогнозу шарів стоку або максимальних витрат води весняного водопілля;

$\Theta_{02,03}$ і $\bar{\Theta}_{02,03}$ - середнє значення середньомісячних температур повітря в лютому і березні та норма величини відповідно, °С;

Θ_{03} і $\bar{\Theta}_{03}$ - середня температура повітря за березень та її норма відповідно, °С;

Д – кількість днів від 1 лютого до ДСП.

У зв'язку з відсутністю інформації значення опадів (X_{1_0}' і X_{2_0}') на період завчасності прогнозу їх величини можуть бути оцінені за нормою або, орієнтуючись на метеорологічний прогноз, як опади вище норми, біля або нижче норми, шляхом введення відповідних коефіцієнтів

$$X_{1_0}' = k_1 X_{1_0}; \quad (6)$$

$$X_{2_0}' = k_2 X_{2_0}. \quad (7)$$

Умови введення коефіцієнтів k_1, k_2 до норм опадів X_{1_0} і X_{2_0} , їх значення, відповідно метеорологічного прогнозу опадів, представлені у табл.2 та табл.3 для території рівнинної України, у тому числі для річок Причорноморської низовини. Крім того, встановлена закономірність зміни кількості опадів по території за географічним положенням водозборів.

Таблиця 2. Коефіцієнти до норм опадів X_{1_0} з урахуванням метеорологічного прогнозу

Умови введення коефіцієнтів до норм опадів X_{1_0}	Коефіцієнти до норм опадів у формулі (6)
Опади вище норми	$k_1 = 1.83 - 0.055(\varphi - 50^0)$
Опади біля норми	$k_1 = 0.84 + 0.009(\varphi - 50^0)$
Опади нижче норми	$k_1 = 0.29 + 0.029(\varphi - 50^0)$

Таблиця 3. Коефіцієнти до норм опадів X_{2_0} з урахуванням метеорологічного прогнозу

Умови введення коефіцієнтів до норм опадів X_{2_0}	Коефіцієнти до норм опадів у формулі (7)
Опади вище норми	$k_2 = 1.75 - 0.027(\varphi - 50^0)$
Опади біля норми	$k_2 = 0.86 + 0.022(\varphi - 50^0)$
Опади нижче норми	$k_2 = 0.36 + 0.031(\varphi - 50^0)$

Умовні позначення:

φ – широта геометричних центрів водозборів, в частках град.

У прогнозу схему до вектор-предиктора дискримінантної функції в якості показника втрат води у період весняного водопілля прийнята характеристика зволоження водозборів – середній місячний річковий стік в попередній від початку водопілля місяць ($Q_{нв}$, м³/с), віднесений до середньобагаторічної величини витрати води цього ж місяця $(Q_{нв})_0$

$$k_{Q_{нв}} = Q_{нв} / (Q_{нв})_0 \quad (8)$$

За відсутності як багаторічних, так і щорічних даних про витрати води будуються їх залежності від площ водозборів у вигляді $(Q_i)_0 = f(F)$.

В якості фактору втрат води під час водопілля при дискримінантному аналізі приймалися й значення глибин промерзання ґрунтів (під озимими), найбільші перед початком весняного танення снігу й осереднені по водозборах з урахуванням даних усіх пунктів спостережень, розташованих у їх межах (виражених у модульних коефіцієнтах)

$$k_L = L / L_0 \quad (9)$$

де L – середні по водозборах значення максимальних глибин промерзання ґрунтів, см; L_0 – середньобагаторічні значення глибин промерзання ґрунтів на окремих водозборах, см.

За відсутності багаторічних даних L_0 можна визначити за формулою

$$L_0 = 66 + 3.56(\varphi' - 50^0) \quad (10)$$

де φ' – широта пунктів виміру промерзання ґрунтів, в частках град.

Такого ж вигляду формула може бути використана й для отримання щорічних значень глибини промерзання ґрунтів на водозборах річок.

Знак дискримінантної функції DF у вигляді

$$DF = a_0 + a_1 k_x + a_2 k_{Q_{нв}} + a_3 k_L \quad (11)$$

дає змогу отримати розрахункову залежність, тобто надати альтернативний (якісний) прогноз майбутнього водопілля (вище чи біля норми, або нижче норми). Тут $(a_0, a_1, a_2, \dots, a_m)$ – вектор коефіцієнтів DF .

Прогнозні значення у вигляді модульних коефіцієнтів шарів стоку k_y або максимальних витрат води k_q отримуються за рівнянням поліному з коефіцієнтами, згідно умов застосування, по знаку DF

$$k_y = b_0 + b_1 k_x + b_2 k_x^2 + b_3 k_x^3 \quad (12)$$

де b_0, b_1, b_2, b_3 – коефіцієнти поліному прогнозних залежностей.

Прогнозні значення k_y або k_q відносяться до геометричних центрів опорних басейнів річок (незалежно від ступеня їх гідрологічного вивчення) і вже будуються відповідні карти очікуваних величин максимальних модулів і шарів стоку весняного водопілля у різних частинах території Півдня України, включаючи й Причорномор'я.

Ймовірність появи у багаторічному розрізі прогнозних характеристик весняного водопілля (шарів стоку чи максимальних витрат води) відбувається наступним чином: отримані при статистичній обробці часових рядів стокових характеристик гідрологічно вивчених річок величини коефіцієнтів варіації C_v стокових характеристик узагальнюються у вигляді регіональних формул (наприклад, в залежності від географічної широти водозборів), по яких встановлюються значення C_v для обраних опорних водозборів. Далі по отриманих за методикою значеннях очікуваних характеристик k_y або k_q , за таблицею трипараметричного гама-розподілу С.Н. Крицького і М.Ф. Менкеля [4] (для середнього по території значення C_s / C_v), по C_v знаходиться забезпеченість $P\%$ очікуваного шару стоку або максимальної витрати води весняного водопілля для невивчених річок Причорноморської низовини, які також наносяться на картосхему для геометричних центрів обраних опорних водозборів.

МЕТОДИКА ДОВГОСТРОКОВОГО ПРОГНОЗУВАННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ВЕСНЯНОГО ВОДОПІЛЛЯ РІЧОК ПРИЧОРНОМОР'Я В УМОВАХ ОБМЕЖЕНОСТІ ДАНИХ ГІДРОЛОГІЧНИХ СПОСТЕРЕЖЕНЬ

Таким чином, представляється можливість провести ізолінії для всієї території півдня України. Аналіз показує, що такі карти поля очікуваних значень модульних коефіцієнтів шарів стоку або максимальних витрат води весняного водопілля суттєво уточнюють просторовий розподіл модульних коефіцієнтів на розглядуваній території, яка не висвітлена даними гідрологічних спостережень.

По знятих для геометричних центрів водозборів модульних коефіцієнтах випуск прогнозів самих значень шарів стоку чи максимальних витрат води водопілля ведеться через помноження очікуваних модульних коефіцієнтів на норми цих гідрологічних характеристик. Для невивчених річок регіону для отримання середньобагаторічних характеристик весняного водопілля пропонується та реалізується наступна ідея розрахунку середньобагаторічних величин: для шарів весняного стоку Y_0 - через обґрунтування регіональних залежностей від географічної широти водозборів

$$Y_0 = 33 \cdot \exp[0.32(\varphi^o - 50)], \quad (13)$$

для максимальних витрат води – з використанням математичної моделі типових редуційних гідрографів водопілля шляхом визначення середньобагаторічних максимальних модулів схилового припливу та їх трансформації русловою мережею і водоймами, що регулюють річковий стік [5]

$$q_0 = q'_0 \psi(t_p / T_0) \varepsilon_F \cdot r, \quad (14)$$

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

Визначення тривалості схилового припливу тало-дошової води на водозборах T_0 для невивчених у гідрологічному відношенні річок відбувається за регіональним рівнянням при його узагальненні по території у вигляді

$$T_0 = 24.2(\varphi^o - 50) + 507. \quad (15)$$

Визначення параметрів розрахункової схеми виконується відповідно рекомендаціям, наданим у [3].

Актуальним питанням є складання прогнозів не тільки водного режиму річок весняного водопілля, а й строків його початку та проходження максимальних витрат води. Запропонована методика прогнозів дат проходження водопілля на річках, що не мають гідрологічних спостережень, дає змогу встановлювати поля очікуваних строків початку і настання максимумів водопілля. Методика прогнозу дат водопілля може бути використана лише за наявності вимірів снігозапасів на водозборах річок при використанні метеорологічного прогнозу температури повітря на п'ять-десять днів.

При цьому прогноз дат весняного водопілля, як і для інших річок території, ведеться по запропонованій методиці прогнозу встановлення дат весняного водопілля на річках за такою схемою.

Для дат початку весняного водопілля на річках

$$D'_e = D_{Sm} + t'_e, \quad (16)$$

де D'_e – очікувана дата початку весняного водопілля; D_{Sm} – дата максимальних запасів води в сніговому покриві, що встановлюється за даними снігомірних зйомок на водозборах; t'_e – очікувана тривалість періоду від дати максимальних снігозапасів D_{Sm} до дати початку водопілля D_e (д). Її визначення виконується за регіональним рівнянням при використанні метеорологічного прогнозу середньодекадної температури повітря (θ_1 °C) за декаду, наступну після D_{Sm} (але при значеннях $\theta_1 = 3.5-5.0$ °C)

$$t'_e = [0.43(\varphi - 50^o) + 7.72] - [0.16(\varphi - 50^o) + 1.64] \cdot \theta_1. \quad (17)$$

По прогнозованим таким чином датах початку весняних водопілля будується картосхема їх зміни по території для річок Північно-Західного Причорномор'я.

Для дат проходження максимальних витрат води водопілля на річках:

$$D'_{Qm} = (D'_e)_{карта} + t'_n \quad (18)$$

де D'_{Qm} – очікувана дата максимальної витрати води водопілля; D'_e – дата початку весняного водопілля, що знімається з картосхеми очікуваних дат початку водопілля ($(D'_e)_{карта}$ або спрогнозована за схемою (16) і регіональним рівнянням (17) дата D'_e ; t'_n – очікувана тривалість підйому весняного водопілля (д), що визначається за регіональною формулою, спираючись на метеорологічний прогноз середньодекадної температури повітря θ_2 °C за декаду, наступну після дати початку водопілля D'_e (але до значень θ_2 до 10^o C)

$$t'_n = \{3.45 \cdot \exp[0.42 \cdot \lg(F+1)]\} - [-0.12(\varphi - 50^o) + 1.75] \cdot \theta_2. \quad (19)$$

Висновки. В роботі розроблена і реалізована методика територіальних довгострокових прогнозів шарів стоку та максимальних витрат води весняного водопілля, строків їх проходження на річках регіонів, що взагалі не охоплені даними гідрологічних вимірів на річках, тобто в межах північно-західної частини Причорноморської низовини. Оцінка прогнозної методики виконана за даними одинадцяти створів Північно-Західного Причорномор'я при обмеженості спостережень на них показала задовільні результати при критерії якості S / σ в основному від 0.23 до 0.80 та забезпеченості допустимої похибки $P=100-84\%$.

Запропонована картографічна форма представлення прогнозних величин весняного водопілля та їх забезпеченостей у багаторічному періоді.

Джерела та література:

1. Гопченко Є. Д. Обґрунтування методичної бази для просторових довгострокових прогнозів максимальних витрат води весняного водопілля при відсутності гідрологічних спостережень / Є. Д. Гопченко, Ж. Р. Шакірманова // Україна : Географічні проблеми сталого розвитку. – К. : Обрії, 2004. – Т. III. – С. 251-253.
2. Гопченко Є. Д. Можливості застосування просторових моделей для прогнозування максимального стоку весняного водопілля при обмеженості гідрологічних спостережень / Є. Д. Гопченко, Ж. Р. Шакірманова // Причорноморський екологічний бюлетень. – Одеса : Вид. ТОВ "ІНВАЦ", 2007. – № 2 (24). – С. 63-66.
3. Гопченко Є. Д. Метод просторового довгострокового прогнозування максимального стоку весняного водопілля та строків його проходження / Є. Д. Гопченко, Ж. Р. Шакірманова // Метеорологія, кліматологія та гідрологія. – 2008. – Вип. 50. – Ч. II. – С. 158-168.
4. Пособие по определению расчетных гидрологических характеристик. – Л. : Гидрометеиздат, 1984. – 448 с.
5. Гопченко Е. Д. Гидрология с основами мелиорации / Е. Д. Гопченко, А. В. Гушля. – Л. : Гидрометеиздат, 1989. – 302 с.