

## **РОЗРОБКА РЕГІОНАЛЬНОЇ МЕТОДИКИ ДОВГОСТРОКОВОГО ПРОГНОЗУ ШАРІВ СТОКУ ВЕСНЯНОГО ВОДОПІЛЛЯ В БАСЕЙНІ Р.ДЕСНА**

*В статті обґрунтовується методика просторового довгострокового прогнозу шарів весняного стоку на основі встановлення типів весни*

**Ключові слова:** *весняне водопілля, довгостроковий прогноз, шари стоку, дискримінантна функція*

**Вступ.** У зв'язку з тим, що в останні роки спостерігаються несталі погодні умови у зимово-весняний період, необхідним є удосконалення методів прогнозування характеристик весняного водопілля на річках України. Для більшості річок воно є вираженою фазою водного режиму і у багатоводні роки стає небезпечним явищем, пов'язаним із затопленням сільськогосподарських угідь, населених пунктів, доріг та інших споруджень. В даній роботі основною метою є обґрунтування методики територіального довгострокового прогнозу шарів стоку весняного водопілля в басейні р.Десни і середніх лівих приток Дніпра.

**Матеріали і методи дослідження.** З питань довгострокових прогнозів висоти весняного водопілля найбільш ранні роботи були написані авторами А.В. Огієвським, В.Н. Лебедевим, В.Д. Комаровим, Є.І. Поповою і іншими авторами. По територіально загальних залежностях можливості прогнозів стоку весняного водопілля розглядалися в роботах В.Д. Комарова [1] – для річок лісної зони, Є.Г. Попова – для низки північних річок, Т.І. Великанової – для річок Північного краю, В.Н. Паршина і М.С. Салова – для степової і лісостепової зон, В.В. Салазанова – для річок Верхнього Дніпра, В.А. Романенка – для невеликих річок басейну Дніпра в межах України, О.С. Змієвої – для річок басейну Волги, А.С. Суботіна – для річок Нечорноземної зони ЄТ та інших авторів.

Дослідження багатьох вчених (В.Д. Комарова, Є.Г. Попова, В.А. Бельчикова, В.І. Корня, Ю.Б. Виноградова, М.М. Сосєдка, В.П. Окорського та інших) послужили методичною основою для створення різних математичних моделей по розрахунках і прогнозах весняного стоку. Одна з цих математичних моделей “Шар-2” була розроблена в УкрНДГМІ М.М. Сосєдком, Є.І. Кочелабою і В.П. Окорським [2] для довгострокового прогнозу шарів стоку. Прогнозні шари весняного стоку з річного басейну в моделі отримуються шляхом воднобалансового вирішення. При цьому втрати талої води визначаються двома чинниками – коефіцієнтом стоку і шаром поверхневого затримання вологи з урахуванням залісеності водозборів. Ця модель дозволяє прогнозні шари весняного стоку представляти у картографічному вигляді, а також випускати прогноз стоку у імовірнісній формі.

Однак, для річок, по яких не відбуваються стокові спостереження, необхідним є оцінка майбутнього водопілля відносно норми, а також встановлення імовірності його настання у багаторічному розрізі.

Розробка регіональної методики довгострокового прогнозу шарів стоку здійснюється для басейну р.Десни (з притокою р.Сейм) та лівобережних приток Середнього Дніпра.

На умови формування стоку весняного водопілля цієї території впливає великий комплекс гідрометеорологічних факторів. При розробці методики прогнозу були

використані матеріали: запаси води в сніговому покриві, опади, температури повітря, запаси вологи у ґрунті та глибини його промерзання, витрати води в річках перед початком водопілля. На основі цих, а також стокових матеріалів була створена комп'ютерна база вихідних даних.

**Результати досліджень та їх аналіз.** Основу методики складають залежності шарів стоку від максимальних запасів води в сніговому покриві з урахуванням суми рідких опадів періоду весняного водопілля, виражених у модульних коефіцієнтах, як

$$Y_m/Y_0 = f[(S_m + X_1 + X_2)/(S_0 + X_{1_0} + X_{2_0})] \quad (1)$$

чи (що те ж саме)

$$k_{Y_m} = f(k_X), \quad (2)$$

де  $Y_m$  і  $Y_0$  – шар весняного стоку та його норма (мм);

$S_m$  і  $S_0$  – максимальний запас води в сніговому покриві та його норма (мм);

$X_1$  і  $X_{1_0}$  - опади періоду танення снігу та їх норма (мм);

$X_2$  і  $X_{2_0}$  - опади періоду спаду весняного водопілля та їх норма (мм);

$k_{Y_m}$  - модульний коефіцієнт шару стоку весняного водопілля;

$k_X$  - модульний коефіцієнт сумарного надходження води на водозбір під час весняного водопілля ( $X = S_m + X_1 + X_2$ ).

Аналіз залежностей показав, що розкид точок на них досить значний, що пов'язано з впливом великої кількості гідрометеорологічних факторів на весняний стік. Урахування комплексу взаємодіючих факторів було здійснено на основі дискримінантної функції ( $DF$ ) шляхом типізації водопіль за їх водністю (багато-, середнє- чи маловодне).

Функція  $DF$  записується у вигляді

$$DF = a_0 + a_1 X / X_0 + a_2 [q_{09-01} / (q_{(09-01)_0})] + a_3 L / L_0 + a_4 \Theta^{0.02}, \quad (3)$$

де  $A = (a_0, a_1, a_2, a_4)$  - вектор коефіцієнтів дискримінантної функції;

$X$  і  $X_0$  – сума максимальних запасів води в сніговому покриві та рідких опадів періоду весняного водопілля та її норма (мм);

$q_{09-01}$  і  $(q_{(09-01)_0})$  – середній модуль стоку осінньо-зимового періоду та його норма (л/с км<sup>2</sup>);

$L_m$  і  $L_0$  – глибина промерзання ґрунту та її норма (см);

$\Theta^{0.02}$  - температура повітря лютого ( $^{\circ}C$ ).

Процес формування весняного водопілля складається з надходження тало-дошової води на водозбір, стікання її по схилах та руслах річок з різними втратами талого стоку на водозборі, які визначаються промерзанням, вологістю ґрунтів та іншими факторами. Тому до вектор-предиктора були включенні такі фактори як максимальні запаси води в сніговому покриві, опади періоду водопілля, передвесняне

зволоження ґрунтів, глибини їх промерзання, виражені в модульних коефіцієнтах, а також метеорологічна характеристика (середня температура повітря лютого).

На першому етапі розробки було виконане розділення водопіль на три категорії - високі, середні та низькі. Для цих груп водності були обґрунтовані прогностичні криві, які математично описуються поліномами 3-ї степені. Такі прогностичні залежності і дискримінантні рівняння з набором визначаючих ознак однотипні для усіх річок розглядуваної території.

Оцінка методики прогнозу здійснювалась за критерієм якості  $S/\sigma$  (де  $S$  - середня квадратична похибка прогнозів,  $\sigma$  – середнє квадратичне відхилення прогнозованої величини від норми) і забезпеченості допустимої похибки  $P\%$ . Якість складених прогнозів задовільна ( $S/\sigma$  змінюється від 0,65 до 0,87).

Аналіз похибок прогнозованої методики показав, що на фоні високих водопіль в окремі роки при незначній кількості зимово-весняних опадів спостерігаються водопілля дуже високі (наприклад, 1971, 1974, 1983, 1984 рр.), а на фоні низьких – при значних запасах вологи на басейні, дуже низькі (наприклад, 1967, 1968, 1976, 1985 рр.).

У першому випадку такі умови формування весняного стоку пов'язані з різким переходом температур повітря через  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ , швидким накопиченням позитивних температур повітря, і, як наслідок, інтенсивним сніготаненням. У другому випадку велика кількість снігу на басейні призводить до збільшення тривалості сніготанення і значною імовірністю повернення холоду, яке призводить до затримки танення снігу.

Ось чому на етапі удосконалення методики прогнозу виділялися допоміжні криві для дуже високих і дуже низьких водопіль. При цьому були отримані додаткові дискримінантні рівняння, які представлені в табл.1.

Таблиця 1 – Коефіцієнти рівнянь дискримінантних функцій у формулі (3)

Басейни річок	$DF$	$a_0$	$a_1$	$a_2$	$a_3$	$a_4$
<i>р.Сейм</i>	$DF1$	0,41	-14,8	5,34	3,94	-0,23
	$DF2$	1,87	-23,2	10,8	8,34	-0,41
	$DF3$	0,58	-9,47	8,14	6,72	0,59
	$DF4$	-0,95	-15,1	20,9	22,4	1,77
<i>р.Сула</i>	$DF1$	0,65	-13,6	11,1	-0,26	0,62
	$DF2$	1,87	-23,2	10,8	8,34	-0,41
	$DF3$	0,58	-9,47	8,14	6,72	0,59
	$DF4$	-0,95	-15,1	20,9	22,4	1,77
<i>р.Псьол і р.Ворскла</i>	$DF1$	0,80	-6,18	-0,20	12,7	1,47
	$DF2$	1,87	-23,2	10,8	8,34	-0,41
	$DF3$	0,58	-9,47	8,14	6,72	0,59
	$DF4$	0,27	-11,58	14,5	14,2	0,80

Знак дискримінантної функції показує відношення водопіль до однієї із п'яти категорій водності. Прогнозні криві описуються математично параболою 3-ї степені (табл.2).

Таблиця 2 – Коефіцієнти прогностичних рівнянь

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

Басейни річок	Умови застосування	b <sub>0</sub>	b <sub>1</sub>	b <sub>2</sub>	b <sub>3</sub>
<i>р. Сейм</i>	<i>DF1 &gt; 0</i>	0,094	-0,287	0,643	0,660
	<i>DF1 &lt; 0; DF2 &gt; 0</i>	0,069	-0,142	0,081	0,587
	<i>DF2 ≤ 0; DF3 ≥ 0</i>	0,055	-0,238	0,234	0,299
	<i>DF3 &lt; 0; DF4 ≥ 0</i>	-0,138	1,734	3,221	4,269
	<i>DF4 &lt; 0</i>	-0,016	0,043	-0,016	0,179
<i>р. Сула</i>	<i>DF1 &gt; 0</i>	0,059	0,227	0,622	0,382
	<i>DF1 &lt; 0; DF2 &gt; 0</i>	0,159	-0,529	1,249	-0,206
	<i>DF2 ≤ 0; DF3 ≥ 0</i>	0,098	-0,390	0,653	-0,046
	<i>DF3 &lt; 0; DF4 ≥ 0</i>	0,342	-1,275	4,658	-1,040
	<i>DF4 &lt; 0</i>	0,0038	0,111	-0,128	0,124
<i>р. Псьол і р. Ворскла</i>	<i>DF1 &gt; 0</i>	-0,268	2,408	-3,673	2,327
	<i>DF1 &lt; 0; DF2 &gt; 0</i>	-0,041	0,541	-0,558	0,612
	<i>DF2 ≤ 0; DF3 ≥ 0</i>	-0,086	0,611	-0,648	0,469
	<i>DF3 &lt; 0; DF4 ≥ 0</i>	0,352	-1,689	4,712	-1,666
	<i>DF4 &lt; 0</i>	-0,111	0,624	-0,639	0,352

У межах окремих водозборів спостерігається однотипність прогностичних кривих і рівнянь дискримінантних функцій, що дозволяє виконати районування розглядуваної території за умовами формування весняного стоку. В межах таких районів можливо для будь-якої річки складати довгостроковий прогноз шару весняного стоку за одержаними параметрами прогновної схеми.

Отримані за викладеною методикою модульні коефіцієнти представляються у картографічному вигляді. На основі карти модульних коефіцієнтів шарів стоку весняного водопілля можливо надавати прогноз для будь-якої річки у межах району, навіть невивченої у гідрологічному відношенні. Для цього досить по карті для геометричних центрів тяжіння водозборів зняти очікувані модульні коефіцієнти шарів весняного стоку.

Величини шарів стоку можна одержати шляхом помноження модульних коефіцієнтів  $k_{Y_m}$  на норму весняного стоку  $Y_0$

$$Y_m = k_{Y_m} Y_0 \quad (4)$$

При відсутності спостережень визначається  $Y_0$  за допомогою карти розподілу цієї величини по території.

Однією із актуальних задач гідрологічних прогнозів є визначення імовірності настання очікуваного явища у багаторічному розрізі. При наявності багаторічних рядів спостережень ця задача вирішується шляхом побудови емпіричних кривих забезпеченості модульних коефіцієнтів. За відсутності спостережень у роботі використовується метод визначення забезпеченості  $P\%$  [3], який спирається на трипараметричний гама-розподіл С.Н. Крицького і М.Ф. Менкеля при визначеному для даної території  $C_S / C_V = 2,5$ . Значення  $P\%$ , як і шари стоку, наносяться на карту.

При складанні прогнозів шарів весняного стоку для невивчених річок проблемним є й оцінка допустимої похибки прогнозу, причому величина її, як показав аналіз, визначається географічним положенням водозборів. Обґрунтована залежність  $\delta_{доп}$  від широти центрів ваги водозборів річок у вигляді

$$\delta_{доп} = 2,16(\varphi - 50^0) + 16,9. \quad (5)$$

Якість методики довгострокового прогнозу шарів стоку весняного водопілля після її удосконалення має кращі результати. Прогнози шарів весняного стоку було здійснено по даних річок Сейм, Сула, Псьол і Ворскла. Складено більш як 200 прогнозів, близько 150 з них – на незалежних матеріалах. Справжуваність перевірних прогнозів коливається у межах від 91% до 61%, а критерій якості  $S/\sigma$  змінюється від 0,39 до 0,76. Результати представлені у табл. 3.

Таблиця 3 - Оцінка якості методики довгострокового прогнозу шарів стоку весняного водопілля в басейні р. Десни та лівих приток Дніпра

№ п/п	Річка-пост	Площа водозбору F, км <sup>2</sup>	$\sigma$ , мм	$\delta_{доп}$ , мм	$S/\sigma$	P %
1	р.Сейм – Мутіно	25600	38	26	0,50	81
2	р.Сейм – Рильськ	18100	32	21	0,63	73
3	р.Сейм – Ришкове	7460	34	23	0,53	82
4	р.Тускарь –Курськ	2380	40	27	0,39	91
5	р.Свапа - Ст.Город	3690	40	27	0,67	68
6	р. Клевень – Шарпівка	2440	37	25	0,58	82
7	р.Сула – Лубни	14200	23	15	0,57	70
8	р.Сула – Ромни	4020	22	15	0,68	61
9	р.Псьол- Запсілля	22400	21	14	0,58	77
10	р.Псьол- Гадяч	11300	22	15	0,67	64
11	р.Псьол – Суми	7770	25	17	0,47	77
12	р.Ворскла – Чернетчина	5790	30	20	0,76	65
13	р.Хорол – Миргород	1740	31	21	0,56	78

Завчасність надання прогнозів шарів стоку весняного водопілля у запропонованій методиці у середньому складає 30-40 діб.

**Висновки.** Запропонована методика дозволяє щорічно здійснювати оцінку очікуваних шарів стоку весняного водопілля та імовірності їх настання на річках не тільки в окремих пунктах, де є багаторічні ряди спостережень, але й у цілому для усєї території. Прогноз представляється у картографічному вигляді.

### Список літератури

1. Комаров В.Д. Долгосрочный прогноз весеннего стока рек черноземной зоны ЕТС на основе территориально общих зависимостей. – Л.: Гидрометеиздат, 1955. – 74 с.
2. Кочелаба Е. И., Окорский В.П., Соседко М.Н. Математическое моделирование процессов формирования половодного стока на территории Полесья с учетом оттепельных явлений // Труды УкрНИГМИ, 1990. – Вып.235. – с. 3-18.
3. Гопченко Е.Д., Шакирзанова Ж.Р. Территориальное долгосрочное прогнозирование максимальных расходов воды весеннего половодья. – К.: «КНТ», 2005. – 240 с.

#### **Разработка региональной методики прогноза слоев стока весеннего половодья в бассейне р. Десны. Шакирзанова Ж.Р., Швець О.А.**

*В статье обосновывается методика пространственного долгосрочного прогноза слоев весеннего стока на основе установления типов весны.*

**Ключевые слова:** *весеннее половодье, долгосрочный прогноз, слои стока, дискриминантная функция.*

#### **Development of a regional technique of the long-term forecast of layers of a flood runoff of a spring in basin R. Desni. Shakirzanova J. R., Shvets O. A.**

*In article the technique it is proved of the spatial long-term forecast of layers of a spring flood runoff on the basis of an establishment such as spring.*

**Key words:** *flood runoff, long-term forecast, layers of spring, discriminative function.*