

**Оцінка водності річок басейну Верхньої Прип'яті в умовах кліматичних змін**  
**Гребінь В. В.**

*Розглянуто сучасні зміни складових водно-теплового балансу басейну Верхньої Прип'яті, що відбуваються внаслідок кліматичних змін. Відзначено зміни у співвідношенні окремих видів живлення річок, зміни параметрів весняного водопілля та характеристик меженного стоку.*

*Ключові слова:* зміни клімату, водно-тепловий баланс, водний режим

**Оценка водности рек бассейна Верхней Припяти в условиях климатических изменений**

**Гребень В. В.**

*Рассмотрены современные изменения составляющих водно-теплового баланса бассейна Верхней Припяти, которые происходят вследствие климатических изменений. Отмечены изменения в соотношении отдельных видов питания рек, изменения параметров весеннего половодья и характеристик меженного стока.*

*Ключевые слова:* изменения климата, водно-тепловой баланс, водный режим

**Water content assessment of Upper Pripyat Basin Rivers in conditions to climate changes**

**Grebin V. V.**

*Modern changes of water-heat balance components of Upper Pripyat Basin, which are under the influence of climate changes, were studied. Changes in proportion of particular river alimentation type, changes in parameters of spring flood and low water runoff were determined.*

*Keywords:* climate changes, water-heat balance, water regime.

*Надійшла до редколегії 24.10.2011*

УДК 556.06

**Шакірзанова Ж.Р.**

*Одеський державний екологічний університет*

**ПРОГНОЗУВАННЯ МАКСИМАЛЬНИХ ВИТРАТ ВОДИ  
ВЕСНЯНОГО ВОДОПІЛЛЯ В БАСЕЙНІ ДНІПРА  
З ВИКОРИСТАННЯМ АВТОМАТИЗОВАНИХ ПРОГРАМНИХ  
КОМПЛЕКСІВ**

*Ключові слова:* максимальні витрати води, прогнози весняного водопілля в умовах сучасного водного режиму

**Вступ.** Довгострокові прогнози максимальних витрат води на річках, що складають основну загрозу при затопленнях територій у багатоводні весни, потребують використання великої кількості вихідної гідрометеорологічної інформації. Часова зміна цих факторів стоку в сучасних кліматичних умовах відображується на величинах витрат води у річках. Зокрема, в останні роки зими стали теплішими і опади частіше представлені мокрим снігом і дощами.

**Проблеми, матеріали і мета дослідження.** Запропонований метод територіальних довгострокових прогнозів у вигляді розроблених автомати-

*Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. – 2011. – Т.4(25)*

зованих прогностичних комплексів для оперативного прогнозування максимальних витрат (рівнів) води весняного водопілля з можливістю побудови картосхем прогнозних величин комп'ютерними засобами для річок басейну середньої течії Дніпра [1-3] впровадженій і практично використовується в оперативній діяльності Українського Гідрометцентру.

При цьому методика довгострокових прогнозів максимальних витрат води весняного водопілля на річках розроблена на даних стаціонарних спостережень гідрометеорологічної мережі за період по 2000 р. Тому необхідним є перевірка методики на матеріалах останнього десятиріччя і адаптація результатів прогнозів до сучасного стану водного режиму річок у поточні роки.

Така перевірка методики довгострокових прогнозів максимальних витрат води водопіль на незалежному сучасному періоді 2001-2010 рр. здійснена за розробленими автоматизованими програмними комплексами оперативних прогнозів для басейнів Прип'яті (правобережна частина), Десни, Сейму, інших приток Середнього Дніпра.

**Методи дослідження.** Для прогнозу максимальних витрат води весняного водопілля в комп'ютерних комплексах використовується методика побудови регіональних залежностей максимального весняного модуля стоку ( $q_m$ ) від максимальних запасів води в сніговому покриві ( $S_m$ ) і суми рідких опадів періоду весняного сніготанення ( $X_1$ ), виражених в модульних коефіцієнтах [4], тобто

$$\frac{q_m}{q_0} = f\left(\frac{S_m + X_1}{S_0 + X_{1_0}}\right) \quad (1)$$

чи без урахування опадів

$$\frac{q_m}{q_0} = f\left(\frac{S_m}{S_0}\right), \quad (2)$$

де  $q_m$  і  $q_0$  - максимальний модуль весняного водопілля і його середньобагаторічне значення, м<sup>3</sup>/(с·км<sup>2</sup>);  $S_m$  і  $S_0$  - максимальний запас води в сніговому покриві перед початком весняного сніготанення і його середньобагаторічне значення, мм;  $X_1$  і  $X_{1_0}$  - рідкі опади періоду весняного сніготанення і їх середньобагаторічне значення, мм.

Угрупування точок на графіках зв'язків (1) або (2) обумовлені тим, що формування максимальних витрат води відбувається під впливом сукупності гідрометеорологічних факторів. Для типізації прогнозних залежностей з урахуванням дружності весняних процесів і передвесняного стану басейнів була використана модель дискримінантного аналізу [4].

Слід зазначити, що умови формування водопіль і, відповідно, набір факторів дискримінантної функції дещо розрізняються для лівобережної і правобережної (відносно р.Дніпро) частин рівнинної території України.

Так, аналізуючи умови формування весняних водопіль правобережної частини України, які пов'язані з частими зимовими відлигами і паводками на річках, в якості індексу зволоження ґрунтів на водозборах прийнята

середньомісячна витрата води перед водопіллям; для лівобережної – стік осінньо-зимового періоду, що характеризує загальну зволоженість басейнів з осені до початку весни. У формуванні весняних максимумів роль опадів періоду танення снігу більш відчутна в басейнах правобережних приток Дніпра. Для всієї території за характеристику дружності весни приймалася середньомісячна температура повітря першого місяця основного періоду сніготанення – лютого.

При цьому рівняння дискримінантних функцій  $DF$  мають вигляд:

- для правобережної частини території

$$DF = a_0 + a_1 k_X + a_2 k_{Q_{ne}} + a_3 k_L + a_4 \Theta_{02}^0 ; \quad (3)$$

- для лівобережної частини

$$DF = a_0 + a_1 k_X + a_2 k_{q_{09-01}} + a_3 k_L + a_4 \Theta_{02}^0 . \quad (4)$$

В формулах (3) і (4) послідовно визначаються:

а) модульний коефіцієнт максимальних запасів води в сніговому покриві, які накопичилися на басейні до початку весняного сніготанення з урахуванням (для правобережжя) або без (для лівобережжя) весняних опадів  $k_X$  у вигляді

$$k_X = (S_m + X_1) / (S_0 + X_{1_0}) \quad (5)$$

або

$$k_X = S_m / S_0 ; \quad (6)$$

б) індекси зволоження ґрунтів (у модульних коефіцієнтах):

- для річок лівобережної частини території – як середнього модулю стоку за осінньо-зимовий сезон (з вересня попереднього по січень поточного років)  $q_{09-01}$ , л/(с·км<sup>2</sup>) відносно його норми  $(q_{09-01})_0$  у вигляді

$$k_{q_{09-01}} = q_{09-01} / (q_{(09-01)_0}) ; \quad (7)$$

- для річок правобережжя території – як передповенева середньомісячна витрата води, яка також входить у відносній величині

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

в) визначення середніх по басейнах річок максимальних глибин промерзання ґрунтів  $L$ , як середнього арифметичного значення за даними пунктів їх виміру у межах водозбору. Значення глибин промерзання ґрунтів включене до дискримінантної функції у відносній величині, тобто

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

г) встановлення середньомісячної температури повітря лютого  $\Theta_{02}^0$ С (у тому числі з урахуванням метеорологічного прогнозу температури повітря) по даних метеостанцій, розташованих в межах або близько до геометричних центрів водозборів.

Невідомі на дати складання прогнозів метеорологічні фактори, що входять у вектор-предиктор дискримінантної функції – максимальні запаси води у сніговому покриві  $S_m$  і опади під час формування максимуму водопілля  $X_1$ , температура повітря у лютому та березні (при оцінці можливого випадіння снігу у березні), оцінюються по їх середньобагаторічних значеннях або орієнтуючись на синоптичний прогноз погоди за рекомендаціями [1-3].

За відсутності або пропусках у вимірах в окремих пунктах снігозапасів їх відновлюють по картосхемах розподілу снігозапасів по території, що будуються у гідрометцентрах на кожен дату снігозйомки, а глибин промерзання ґрунтів – по регіональних залежностях їх значень у  $i$ -му році від географічної широти пункту виміру промерзання ґрунту  $\varphi'$  (в частках град.) у вигляді

$$L_i = k_1 + k_2(\varphi' - 50^0); \quad (10)$$

середнього модулю осінньо-зимового стоку  $q_{09-0I}$ , л/(с·км<sup>2</sup>) по залежностях

$$(q_{09-0I})_i = k_3 + k_4(\varphi - 50^0), \quad (11)$$

де  $\varphi$  - географічна широта геометричних центрів водозборів, в частках град.

Побудова залежностей типу (10) і (11) та відновлення пропусків даних по факторах водопілля виконується в програмному комплексі автоматично на кожен дату випуску прогнозу максимальних витрат води весняного водопілля поточного року.

Отримані за комплексом перелічених факторів значення рівнянь дискримінантної функції  $DF1$  і  $DF2$  дозволяють надати якісний (альтернативний) прогноз водності майбутнього водопілля. Так, коли знак дискримінантної функції  $DF1 > 0$ , то слід очікувати формування максимуму водопілля вище середньобагаторічного. Якщо  $DF1 \leq 0$ , а  $DF2 \geq 0$ , то максимальні витрати води весняних вод будуть близькими до середньобагаторічних їх величин. У випадку ж, коли  $DF1 < 0$  і  $DF2 < 0$ , водопілля очікується нижчим за норму.

При цьому для річкових систем, які знаходяться в районах з близькими умовами формування весняних водопіль дискримінантні рівняння сталі і можуть використовуватися для усіх річок такого району.

Прогноз величин модульних коефіцієнтів  $k_q$  здійснюється на дату його складання за регіональними залежностями у вигляді рівняння полінома

$$k_q = b_0 + b_1 k_X + b_2 k_X^2 + b_3 k_X^3, \quad (12)$$

де  $b_0, b_1, b_2, b_3$  – коефіцієнти полінома при прогнозуванні максимальних витрат води весняного водопілля на річках, відповідно району приналежності гідрологічного поста і знаку дискримінантної функції  $DF$ .

Перехід від  $k_q$  до очікуваних значень максимальних витрат води  $Q_m$ , м<sup>3</sup>/с такий

$$Q_m = k_q \cdot q_0 \cdot F, \quad (13)$$

де  $F$  – площі річкових водозборів, км<sup>2</sup>.

За наявності гідрологічних спостережень для кожної конкретної річки величина  $q_0$  розраховується за часовим рядом максимальних витрат води.

За відсутності даних стокових спостережень середньобогаторічне значення  $q_0$  визначається за моделлю редукційного типового гідрографу водопілля у вигляді рівняння [5]

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

де  $q_0$  – середній багаторічний модуль максимального стоку, м<sup>3</sup>/(с·км<sup>2</sup>);  $q'_0$  – середній багаторічний модуль максимальної витрати води схилового припливу, м<sup>3</sup>/(с·км<sup>2</sup>);  $\psi(t_p / T_0)$  - трансформаційна функція розпластування повеневих хвиль під впливом руслового добігання;  $\varepsilon_F$  - коефіцієнт русло-заплавного регулювання;  $r$  – коефіцієнт трансформації водопілля під впливом озер і водосховищ руслового типу.

Визначення параметрів розрахункової схеми (14) виконується відповідно рекомендаціям, наданим в [4 і 6].

Прогнозні значення рівнів води весняного водопілля визначаються по спрогнозованих максимальних витратах води за кривою витрат води  $Q = f(H)$ .

В методиці прогнозу передбачено встановлення забезпеченості (або ймовірності настання) прогнозованих максимальних витрат води весняного водопілля у багаторічному розрізі, що здійснюється за кривою трипараметричного гама-розподілу С.Н. Крицького і М.Ф. Менкеля [6] по очікуваних  $k_q$  і коефіцієнтах варіації максимальних витрат води  $(C_v)_Q$  при  $C_s = 2.5C_v$ . Забезпеченість прогнозних величин  $Q_m$  надається у вигляді інтервалу  $P\%$

$$P_1 < P_Q < P_2, \quad (15)$$

де  $P_1$  і  $P_2$  – верхня та нижня межі забезпеченості, %, які встановлюються за таблицею [6].

Методика прогнозу дозволяє представляти у картографічному вигляді очікувані максимальні модульні коефіцієнти ( $k_q$ ) та їх забезпеченості ( $P\%$ ), і потім отримувати з картосхем прогнозні значення  $k_q$  і  $P_Q\%$  для будь-яких гідрологічних постів (річок), шляхом їх визначення з відповідних картосхем.

Оцінка якості довгострокових прогнозів максимальних витрат та рівнів води весняного водопілля в комп'ютерних комплексах виконується шляхом визначення похибки прогнозу  $\delta$  та в частках від допустимої похибки –  $\delta / \delta_{дон}$ . Прогноз вважається справджуваним, якщо відношення  $\delta / \delta_{дон} \leq 1.0$ .

**Результати досліджень.** В роботі виконано перевірку методики територіальних довгострокових прогнозів максимальних витрат води весняного водопілля в басейні р.Дніпро для сучасного періоду проходження

весняних максимумів (2001-2010 рр.) шляхом складання прогнозів з використанням комп'ютерних комплексів.

Перелік річкових водозборів, по яких здійснено прогнозування максимальних витрат води весняного водопілля обумовлено наявністю даних про фактори стоку та стокові характеристики весняного водопілля в зазначений період (порядку 30 створів). Всього за десятиріччя було складено і оцінено приблизно 1200 прогнозів максимальних витрат води весняних водопіль на різні дати їх випуску. У кожному році прогнозування виконувалось при встановленні невідомих (на дати випуску прогнозів) метеорологічних факторів, використовуючи надані в прогнозній схемі рекомендації по їх визначенню і приймаючи метеорологічні умови зимово-весняного сезону близькими до кліматичної норми.

Результати довгострокових прогнозів максимальних витрат води весняного водопілля на річках басейну Дніпра (у 2001-2010 рр.) у вигляді графіків збіжності спостережених  $Q_m$  і спрогнозованих  $Q_{m_{прог}}$  (в дати прогнозу 10,20,28 лютого і максимального снігонакопичення) їх величин  $Q_m = f(Q_{m_{прог}})$  показали, що в цілому по території прогнозні значення максимальних витрат води завищені відносно їх спостережених величин на 20-25%.

Дослідження часових рядів максимальних витрат води весняного водопілля на річках показали, що вони мають багаторічну тенденцію до зниження максимумів водопіль, внаслідок сучасних змін кліматичних умов регіону – підвищення температур повітря, особливо у зимові місяці і, як наслідок, зменшення снігонакопичення та промерзання ґрунтів. Для басейнів річок правобережжя Дніпра такі висновки узагальнені в [7]. Аналогічні зміни гідрометеорологічних характеристик спостерігаються й на інших річках басейну.

Враховуючи багаторічну тенденцію до зменшення максимальних витрат води весняного водопілля на річках розглядуваної території, були отримані коефіцієнти рівнянь регресії часового тренду за багаторічний період та за десять останніх років (2001-2010 рр.). Коефіцієнти рівнянь останніх добре узагальнюються по території (в залежності від географічної широти і площ водозборів), що дало змогу по їх величинах отримати значення середньобагаторічних максимальних витрат води з врахуванням регресії рядів ( $Q_{регр}$ ) на кожний з десяти останніх років. При цьому в територіальній прогнозній методиці встановлення прогнозних величин максимальних витрат води водопілля виконувалось за формулою

$$Q_{m_{прог}} = k_q \cdot Q_{регр}, \quad (16)$$

де  $k_q$  – спрогнозовані за методикою модульні коефіцієнти максимальних витрат води весняного водопілля.

Перевірні прогнози максимумів водопіль за десять років (2001-2010 рр.) показали, що при врахуванні регресії рядів  $Q_{регр}$  прогнозні величини

$Q_{m\text{прог}}$  стають, навпаки, меншими за їх спостережені значення (до 15%).

Краща якість результатів збіжності спостережених і прогностичних максимальних витрат води водопілля отримана при уточненні значень середньобагаторічних величин максимальних витрат води весняного водопілля  $Q_0$  при подовженні часових рядів спостережень до 2010 р. При обмеженості даних про стокові ряди за період 2001-2010 рр. пропонується (в межах всієї рівнинної території України) регіональне рівняння для отримання коефіцієнта  $K_{Q_{2010}}$ , що враховує зміну значень середньобагаторічних величин максимальних витрат води за період до 2010 р., в залежності від географічної широти центрів водозборів річок ( $\varphi$  в частках град.) у вигляді рівняння

$$K_{Q_{2010}} = 0.92 - 0.022(\varphi - 50^0). \quad (17)$$

Результати перевірних прогнозів максимальних витрат води весняного водопілля на річках басейну Дніпра за період 2001-2010 рр., що отримані при використанні автоматизованих комп'ютерних комплексів та з врахуванням коефіцієнту  $K_{Q_{2010}}$  відповідно (13)

$$Q_{m\text{прог}} = k_q \cdot q_0 \cdot K_{Q_{2010}} \cdot F, \quad (18)$$

показали збіжність спостережених і спрогнозованих величин максимальних витрат в межах 7-10%, при коефіцієнті кореляції зв'язків  $Q_m = f(Q_{m\text{прог}})$  на рівні 0.77-0.83 (на різні дати складання прогнозів). Забезпеченість допустимої похибки складених прогнозів за відношенням  $\delta/\delta_{\text{дон}}$  становить 79-85%.

**Висновки.** Результати перевірних прогнозів максимальних витрат води весняного водопілля на річках басейну Дніпра показали, що середньобагаторічні величини максимумів водопілля, які є базовими у прогностичній схемі, необхідно розраховувати зі змінами водності річок у період до 2010 р. Коефіцієнти, які враховують тенденцію до зменшення середньобагаторічних величин максимальних витрат води узагальнені по території в залежності від географічної широти водозборів річок.

#### Список літератури

1. Гопченко Є. Д. Комп'ютерні засоби просторового узагальнення очікуваних характеристик максимального стоку весняного водопілля рівнинних річок (на прикладі басейну Десни) / Гопченко Є. Д., Шакірманова Ж. Р., Андреевська Г. М. // Метеорологія, кліматологія та гідрологія. – 2005. – Вип. 49. – С. 406-413.
2. Гопченко Є. Д. Довгострокове просторове прогнозування максимального весняного стоку на основі автоматизованого комп'ютерного комплексу / Є. Д. Гопченко, Шакірманова Ж. Р., Андрієвська Г. М. // Наук. праці УкрНДГМІ. – 2006. – Вип. 255. – С. 228-240.
3. Gopchenko E. Bundled software for long-term territorial forecasts of spring floods / Eugene Gopchenko, Jannetta Shakirzanova // Transboundary Floods: Reducing Risks Through Flood Management. – Springer, 2006. – P. 111-119.
4. 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.ІІ – С.158-168. 5. Гопченко Є. Д. Гідрологія суші з основами водних меліорацій : навч.посібник / Є. Д. Гопченко, О. В. Гушля. – К. : ІСЛО, 1994. – 296 с. 6. Пособие по определению расчетных гидрологических характеристик. – Л. : Гидрометеиздат, 1984. – 448 с. 7. Гопченко Є. Д. Дослідження впливу сучасних змін клімату на характеристики максимального стоку весняного водопілля на річках Полісся // Гопченко Є. Д., Овчарук В. А., Шакирзанова Ж. Р. / Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. – 2010. – Т.3(20). – С. 50-59.

**Прогнозування максимальних витрат води весняного водопілля в басейні Дніпра з використанням автоматизованих програмних комплексів**

**Шакирзанова Ж.Р.**

*Реалізовано методику територіальних довгострокових прогнозів максимальних витрат води весняного водопілля в басейні р.Дніпро на матеріалах останнього десятиріччя при зменшенні водності весен.*

**Ключові слова:** максимальні витрати води, прогнози весняного водопілля в умовах сучасного водного режиму.

**Прогнозирование максимальных расходов воды весеннего половодья в бассейне Днепра с использованием автоматизированных программных комплексов**

**Шакирзанова Ж.Р.**

*Реализована методика территориальных долгосрочных прогнозов максимальных расходов воды весеннего половодья в бассейне р.Днепр на материалах последнего десятилетия при уменьшении водности вёсен.*

**Ключевые слова:** максимальные расходы воды, прогнозы весеннего половодья в условиях современного водного режима.

**Forecasting of the maximum water flow of the spring flood in basin Dnieper with use of the automated program complexes**

**Shakirzanova J.**

*The method of territorial long-term forecasts of the maximum water flow of the spring flood in basin of the river Dnieper on materials of last decade is realized, with a decrease in water availability springs.*

**Keywords:** the maximum water flow, forecasts of the spring flood in today's water regime.

**Надійшла до редколегії 27.10.2011**