

УДК 556.16.06 (321):556.166

ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДУ ТЕРИТОРІАЛЬНИХ ДОВГОСТРОКОВИХ ПРОГНОЗІВ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ МАКСИМАЛЬНИХ ВИТРАТ ВОДИ В УМОВАХ ФОРМУВАННЯ ВЕСНЯНОГО ВОДОПІЛЛЯ 2022-2023 РОКУ В БАСЕЙНІ Р.ДЕСНА

**Ж. Р. Шакірманова¹, І. М. Перевозчиков²,
О. П. Шевченко¹**

¹Одеський державний екологічний університет,
вул. Львівська, 15, 65016, Одеса, Україна, jannetodessa@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0003-0600-5657>

²Український гідрометеорологічний центр ДСНС України,
вул. Золоторітська, 6-В, 01030, Київ, Україна

В умовах зміни клімату та установлені багатьма авторами багаторічної тенденції до зменшення гідрологічних характеристик весняного водопілля річок України, ймовірним залишається формування на річках багатководних повеней, що супроводжуються підйомами рівнів води та виходом води на заплаву. Так, гідрометеорологічні умови формування тало-дощового стоку річок у осінньо-зимовий та весняний періоди 2022-2023 років в басейнах рр. Дніпра, Десни та їх приток, за даними Українського гідрометеорологічного центру (УкрГМЦ) ДСНС України (web: www.meteo.gov.ua), характеризувалися складним характером, що призвело до підйому рівнів води в річках із затопленням заплів, порушенням транспортного сполучення, а також затопленням населених пунктів у Київській, Чернігівській та інших областях України.

Метою даного дослідження є вирішення питань щодо визначення природних чинників, які призводять до екстремальних за розмірами весняних водопілля, та довгострокового прогнозування максимального стоку весняного водопілля 2022-2023 р. в басейні р. Десна.

В роботі для оперативного прогностичного забезпечення та оцінки розмірів весняних водопілля у басейні річки Десна та інших лівих приток Середнього Дніпра застосована методика територіальних довгострокових прогнозів максимального стоку весняного водопілля, що враховує комплекс гідрометеорологічних чинників, які в щорічному їх поєднанні призводять до формування різних за розмірами весняних водопілля.

Результати довгострокового прогнозу максимальних витрат води весняного водопілля 2022-2023 р. за прогностичним комп'ютерним комплексом «СЕЙМ» показали задовільні статистичні оцінки прогнозу максимальних витрат води водопілля у разі врахування високої передповеневої водності річок на спаді зимового паводку. Завчасність прогнозів максимальних витрат води водопілля 2022-2023 р. становила від 20-30 діб для невеликих приток Десни до двох місяців - для річок Десна і Сейм.

Застосування методу територіальних довгострокових прогнозів характеристик весняного водопілля річок дає можливість просторового моніторингу водності річок при прогнозуванні за методикою максимальних витрат води для будь-яких річок території, включаючи й ті, на яких відсутні спостереження за стоком води.

Передчасне попередження про небезпечну водність річок зимово-весняного періоду може суттєво скоротити розміри негативних наслідків і отримати соціально-економічний та екологічний ефект.

Ключові слова: максимальний стік; екстремальне весняне водопілля; довгострокові прогнози.

1. ВСТУП

Одним з небезпечних наслідків кліматичних змін є збільшення частоти та амплітуди небезпечних природних явищ, до яких в гідрологічному циклі можна віднести катастрофічні паводки різного походження, у тому числі й тало-дощового стоку періоду

весняного водопілля річок.

На фоні загальної тенденції зменшення стокових характеристик весняного водопілля річок України, не виключено формування й багатководних і, навіть, катастрофічних повеней, що призводять до затоплення територій та руйнування господарських об'єктів. Такими, вкрай складними, гідрометеорологічними

умовами, за даними Українського гідрометеорологічного центру Державної служби України з надзвичайних ситуацій (УкрГМЦ) [1] характеризується формування тало-дощового стоку річок у осінньо-зимовий та весняний періоди 2022-2023 років в басейнах рр. Дніпро, Десна та її приток. Детальний аналіз і постійний моніторинг гідрометеорологічної ситуації у цей період в басейнах цих річок, який виконувався у відділі гідрологічних прогнозів УкрГМЦ та Чернігівському обласному центрі з гідрометеорології дозволив в оперативному режимі інформувати та надавати попередження про розвиток і формування небезпечних підйомів рівнів води річок та затоплення окремих заплавлених територій в басейнах Верхнього Дніпра і Десни. Так, через підйом рівнів води на Десні спостерігалось ускладнення гідрологічної обстановки з затопленням заплавлених територій, порушенням транспортного сполучення, а також підтоплення повеневими водами та відрізання від основних шляхів сполучення ряду прирічкових сіл в окремих регіонах [2].

Гідрологічна ситуація перебувала на посиленому контролі ДСНС України, коли було введено тимчасове закриття руху для всіх транспортних засобів на деяких ділянках автомобільних доріг загального користування державного значення (Департамент з питань цивільного захисту та оборонної роботи Чернігівської обласної державної адміністрації). У деяких областях було затоплено сільськогосподарські угіддя, порушено транспортне сполучення до 33 населених пунктів (Чернігівська – 32 та Київська – 1).

Для цих районів було оголошено червоний і помаранчевий рівень небезпеки через проходження високих вод весняного водопілля 2022-2023 р. Високий рівень небезпеки також був на Київщині та Чернігівщині [2].

Пропуски повені здійснювалися через гідроагрегати і через затвори водозливних гребель гідроелектростанцій у контрольованому режимі (Укргідроенерго).

Внаслідок пропуску весняного водопілля через Київську ГЕС, на річці Дніпро у місті Києві та деяких районах Київської області спостерігалось затоплення заплавлених територій та відмічалось часткове затоплення низьких ділянок садово-дачних забудов, присадибних ділянок у низці прирічкових населених пунктів (II рівень небезпеки – помаранчевий) [2].

В такому разі актуальним стає прогнозування висоти весняних максимумів на основі створення моделей комплексної оцінки гідрометеорологічних чинників і завчасного

попередження водної стихії, що може суттєво скоротити розміри негативних наслідків і отримати соціально-економічний та екологічний ефект.

Метою даного дослідження є вирішення питань щодо визначення природних чинників, які призводять до екстремальних за розмірами весняних водопіль та довгострокового прогнозування максимального стоку весняного водопілля 2022-2023 р. в басейні р. Десна та її приток.

2. ОБ'ЄКТ ТА ПРЕДМЕТ ДОСЛІДЖЕННЯ

Річка Десна є лівою притокою р.Дніпро, водозбір якої розташований в східній частині Українського Полісся, в межах зони мішаних лісів і лісостепової зони України. Річка є трансграничною водною артерією, басейни верхів'їв річок з гідрологічними постами та метеорологічними станціями розташовані за межами території країни.

За даними монографічного видання [3], в басейні Десни холодні та багатосніжні зими сприяють формуванню виражених повноводних весняних водопіль з відповідною часткою від 39 до 80 % в загальному річному стоці річок. Зимові відлиги тут рідкі і не глибокі (за винятком нижньої частини Десни). Водність річок обумовлюється запасами води у сніговому покриві в умовах значної залісеності басейнів, процесами сніготанення і рідкими опадами, які випадають в період танення снігу. Водопроникна властивість ґрунтів, від якої залежать основні втрати весняних вод на інфільтрацію, визначається зволоженням водозборів за рахунок рясних осінніх дощів і глибоким промерзанням ґрунтів взимку. При цьому водопроникна їх спроможність незначна і мало змінюється з року в рік.

Однак, аналіз останніх досліджень закордонних і вітчизняних вчених Blöschl G. et al. [4-6] показав, що внаслідок зміни клімату в масштабах повеней і строках їх виникнення в Європі за останні п'ять десятиліть мають місце різні тенденції через відмінності в процесах їх формування. Зокрема, встановлено, що на території Східної Європи, у тому числі на території України зменшення кількості снігу та його танення призвело до зменшення повеней.

Дані також вказують на очевидне зсування часу початку повеней до більш ранніх дат, майже до зимових місяців і формування на річках максимального тало-дощового стоку. Однак, ймовірність катастрофічних сніго-

дошових повеней збільшується при потеплінні клімату [4].

Дослідження українського вченого В.В. Гребеня [7] показали, що вплив кліматичної зміни у зв'язку з підвищенням температур повітря, збільшенням випаровування та внутрішньорічним перерозподілом атмосферних опадів, став особливо помітним у водному режимі річок України у період з 1989 року.

Вплив змін клімату на водні ресурси України та оцінка можливих майбутніх змін водного стоку річок України за даними кліматичних сценаріїв розглянуті в роботах українських вчених Н.С. Лободи [8, 9] та Л.О. Горбачової [10].

Для довгострокового прогнозування максимального стоку весняного водопілля 2022-2023 р. в басейні р. Десна та її приток застосований науково-обґрунтований метод прогнозування з довгостроковою завчасністю максимальних витрат води весняних водопіль, в основу якого покладено математичну модель формування поверхневого стоку на басейні [11-14]. Прогнозування максимальних витрат води водопілля 2022-2023 р. виконане при використанні автоматизованого програмного комплексу, який впроваджений і практично використовується в оперативній діяльності Українського гідрометцентру (Акт впровадження, 2015 р.).

3. АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

На сьогодні в світовій і вітчизняній практиці гідропрогностичного обслуговування методи прогнозування характеристик стоку, у тому числі екстремальних, представляються математичними моделюючими комплексами, які дозволяють детально і послідовно описувати випадкові зміни метеорологічних впливів на водозбір, а процеси формування річкового стоку представляти у динаміці їх розвитку у часі [15, 16, 17].

Більшість математичних моделей призначена в основному для короткострокового прогнозування гідрографів стоку у замикальних створах річок з різною деталізацією процесів стокоутворення. Вони враховують витрати води основних приток або включають до себе систему диференціальних рівнянь, що описують такі фізичні процеси на басейні, як затримання опадів рослинністю, сумарне випаровування, схиловий та руслової стік, рух води в зоні аерації й зоні насичення та сніготанення. Огляд таких моделей наданий в [15, 16, 18, 19].

Прикладами закордонних математичних моделей короткострокових гідрологічних прогнозів гідрографу стоку річок, тобто тих, що дозволяють виконувати безперервний (із завчасністю від 12-24 годин та до 1-7 діб) розрахунок ходу річкового стоку на басейні, можуть бути названі такі, як концептуальна гідрологічна модель HBV (Hydrologiska Byrans Vatten balansavdelning model) [18], модель Сакраменто [20], LARSIM (Large Area Runoff Simulation Model) [21], гідродинамічні математичні моделі з розподіленими параметрами – Європейська гідрологічна система (SHE) [22], модель DHSWM (Distributed Hydrology Soilsand Vegetation Model) [23], моделі WAVOS [24], FLORIS 2000 [25] з урахуванням зарегульованості стоку гідровузлами, модель типу HBV (Hydrologiska Byrans Vatten balansavdelning model) – COSERO (безперервна напіврозподілена модель) [26], універсальна гідродинамічна модель MIKE11 для оперативного прогнозу стоку будь-яких характеристик річкового водозбору [27], детерміністична концептуальна та напіврозподілена модель NHFS [28] та ін.

У вітчизняній практиці в Українському гідрометеорологічному інституті ДСНС України та НАН України (УкрГМІ) розроблені автоматизовані прогнозно-моделюючі комплекси, які на основі математичного розрахунку процесів просторового розподілу опадів, снігонакопичення та сніготанення, зміни стану поверхні водозборів, стокоутворення, випаровування та фільтрації дозволяють прогнозувати річковий стік у період розвитку весняних водопіль та дошових паводків [29, 30]. Такі автоматизовані комплекси на даний час широко використовуються в оперативній діяльності УкрГМЦ.

Для довгострокового прогнозування характеристик максимального стоку весняного водопілля рівнинних річок в Україні розроблені і використовуються в оперативній практиці прогностичний комплекс «СЛОЙ-2» [17, 29, 30] та комплексний метод територіальних довгострокових прогнозів характеристик весняного стоку деяких рівнинних річок України [11 - 14].

В моделі «СЛОЙ-2» для різних ландшафтних умов обґрунтована можливість просторових довгострокових гідрологічних прогнозів шарів стоку весняного водопілля рівнинних річок, у тому числі тих, що не вивчені у гідрологічному відношенні [29, 30]. Оцінка динаміки природних процесів формування тало-дошового стоку здійснюється для відкритих і залісених частин

річкових басейнів й у районах з зимовими відлигами, які стали звичайним природним явищем в сучасних умовах клімату [31].

Метод ймовірнісної оцінки максимальних витрат води, що пропонується авторами моделі «СЛОЙ-2» [29], ґрунтується на статистичних зв'язках між шарами стоку h і максимальними витратами води Q_m для модельних створів річок басейнів, тобто тих, по даних яких велася розробка і апробація моделі «СЛОЙ-2» [29]. Такі зв'язки описуються узагальненим рівнянням

$$\tilde{Q}_{m_{сер}} = K_Q h, \quad (1)$$

де $\tilde{Q}_{m_{сер}}$ - витрати води, оцінені по середній емпіричній лінії зв'язку;

K_Q - емпіричний коефіцієнт.

Відхилення максимальних витрат води від лінії зв'язку

$$\Delta Q = \tilde{Q}_{m_{сер}} - Q_m \quad (2)$$

залежить від витрат води $\tilde{Q}_{m_{сер}}$, тобто

$$|\Delta \tilde{Q}| = K_{\Delta Q} \cdot \tilde{Q}_{m_{сер}}, \quad (3)$$

де $K_{\Delta Q}$ - емпіричний коефіцієнт цієї залежності;

$|\Delta \tilde{Q}|$ - відхилення для будь-якого значення максимальної витрати води розподілені за біноміальним законом з показниками варіації C_V та асиметрії C_S .

Таким чином, за одержаними в моделі значеннями коефіцієнтів K_Q і $K_{\Delta Q}$, за допомогою функцій розподілу відхилень $|\Delta \tilde{Q}|$ за величиною випадкового компонента δQ_P обчислюються максимальні витрати води \tilde{Q}_{m_P} певної ймовірності перевищення P для будь-якого значення шару стоку h .

Викладені положення записуються наступним чином [29]:

$$\tilde{Q}_{m_P} = \tilde{Q}_{m_{сер}} + \delta Q_P; \quad (4)$$

$$\delta Q_P = K_P |\Delta \tilde{Q}|, \quad (5)$$

де K_P - перехідний коефіцієнт від відхилень $|\Delta \tilde{Q}|$ до величини δQ_P .

Розраховані за рівняннями (1)-(5) значення витрат води \tilde{Q}_{m_P} надаються у вигляді інтервальних оцінок при ймовірності β , за якою гарантується умова, що значення спрогнозованої витрати води буде знаходитись у межах довірчого інтервалу I_β

$$\begin{cases} I_\beta = \{\tilde{Q}_{m_{P2}}, \tilde{Q}_{m_{P1}}\}, \\ \beta = P_2 - P_1 \end{cases}, \quad (6)$$

де P_1 і P_2 - ймовірності перевищення (забезпеченість).

Коефіцієнти $K_Q(P)$ обчислені авторами моделі для встановлених забезпеченостей $P\%$ - 10, 20, 25, 75, 80 і 90%. При використанні коефіцієнтів $K_{\Delta Q}$ відпадає необхідність застосовувати допустимі похибки прогнозів, оскільки у межах довірчих інтервалів одночасно враховуються ймовірні відхилення витрат води.

При прогнозуванні максимальних весняних витрат води з малих водозборів, при відсутності гідрометричних спостережень параметри моделі узагальнюються в залежності від площі і похилу поверхні водозборів або приймаються як осереднені величини. Однак, використання цього методу для прогнозування максимальних витрат води весняного водопілля потребує наявності прогнозних шарів стоку весняного водопілля, що збільшує похибку прогнозу і зменшує його достовірність. Також метод не дає можливості просторової оцінки максимальних витрат води весняних водопіль, що обмежує моніторинг небезпеки екстремальних максимумів річкового стоку.

На відміну від моделі «СЛОЙ-2», комплексний метод територіальних довгострокових прогнозів гідрологічних характеристик весняного водопілля рівнинних річок України авторів [11 - 14] вирішує задачу просторового прогнозування шарів стоку та максимальних витрат води весняного стоку річок при попередньому встановленні типу або діагнозу водності майбутньої весни за комплексом гідрометеорологічних чинників, отриманих за регіональними залежностями прогнозних величин та представлених у картографічному вигляді як шарів стоку, так й максимальних витрат води, які виражені у безрозмірних величинах.

Основною перевагою комплексного методу територіальних довгострокових прогнозів є можливість одержання як прогнозних, так середньобогаторічних характеристик стоку (які є

базовими в прогнозній методиці), включаючи й річки, що не охоплені тривалими гідрологічними спостереженнями для надійного розрахунку їх статистичних величин. При визначенні останніх, авторами методу [11 - 14] прийнята теорія руслових ізохрон добігання води, яка була реалізована для типового одноmodalного гідрографу весняного водопілля [13, 32].

4. МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ

В роботі для прогнозування максимальних витрат води весняного водопілля в басейні р.Десна та інших приток лівобережжя Середнього Дніпра використаний метод територіальних довгострокових прогнозів характеристик весняного стоку рівнинних річок [11, 12].

Основу прогнозу методикою становлять обґрунтовані регіональні залежності між максимальними модульними коефіцієнтами та максимальними запасами води в сніговому покриві, які мають вигляд

$$q_m/q_0 = f(S_m/S_0) \quad (7)$$

або

$$k_{q_m} = f(k_S), \quad (8)$$

де q_m і q_0 - максимальний модуль весняного водопілля і його середньобаторічна величина, м³/(с·км²); S_m і S_0 - максимальний запас води в сніговому покриві (з урахуванням льодової кірки) перед початком весняного сніготанення і його середньобаторічна величина, мм;

k_{q_m} - максимальний модульний коефіцієнт весняного водопілля;

k_S - модульний коефіцієнт запасів води в сніговому покриві на басейні, які приймають участь у формуванні максимальної витрати води весняного водопілля.

Аналіз гідрометеорологічних умов формування весняних водопіль багаторічного періоду в басейнах р. Десна та інших приток лівобережжя Середнього Дніпра показав, що стан ґрунтів при формуванні витрат води в період весняного водопілля визначають їх зволоженість в осінньо-зимовий період і промерзання протягом зими. Процеси інтенсивності танення снігу, який є основним чинником формування весняного стоку річок, визначаються температурними умовами періоду сніготанення на басейнах.

Комплекс гідрометеорологічних чинників, які в щорічному їх поєднанні призводять до формування різних за розмірами весняних водопіль враховується в методі територіальних довгострокових прогнозів водопіль при використанні лінійної дискримінантної функції [33, 34].

Так, для басейну р. Десна та приток лівобережжя Середнього Дніпра [11, 35 - 37] до складу вектор-предиктора дискримінантної функції включені (у вигляді модульних коефіцієнтів) сумарні запаси вологи на водозборі, що беруть участь у формуванні весняного водопілля – максимальні перед весною снігозапаси (k_S); індекс зволоження ґрунтів, в якості якого прийнятий річковий стік осінньо-зимового періоду ($k_{q_{09-01}}$); максимальна глибина промерзання ґрунтів (k_L); температура повітря у лютому (Θ_{02} °С).

В межах всієї лівобережної частини басейну Дніпра одержані районні рівняння дискримінантних функцій DF у вигляді [11, 35, 36]

$$DF = a_0 + a_1 k_S + a_2 k_{q_{09-01}} + a_3 k_L + a_4 \Theta_{02}; \quad (9)$$

де A ($a_0, a_1, a_2, \dots, a_m$) - вектор коефіцієнтів дискримінантної функції.

З урахуванням знаку лінійної дискримінантної функції DF здійснюється складання альтернативного (якісного) прогнозу типу водності майбутнього весняного водопілля.

Прогнозні залежності $q_m/q_0 = f(S_m/S_0)$, які побудовані за знаком дискримінантних функцій, описуються поліномами 3-го ступеня

$$\frac{q_m}{q_0} = b_0 + b_1 \frac{S_m}{S_0} + b_2 \left(\frac{S_m}{S_0} \right)^2 + b_3 \left(\frac{S_m}{S_0} \right)^3, \quad (10)$$

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

Встановлено, що для басейнів річок розглядуваної території, які характеризуються однорідними умовами формування весняних водопіль, дискримінантні рівняння і прогнозу поліноми стали та можуть використовуватися для усіх річок регіону, включаючи й ті з них, що не вивчені у гідрологічному відношенні [11, 35, 36]. По встановлених регіональних залежностях вигляду (7) чи (8), а також за даними снігомірних зйомок, за методикою знаходяться значення максимальних модульних коефіцієнтів

$k_{q_m} = q_m/q_0$. Одержання прогнозних величин максимальних модулів весняного водопілля q_m , $\text{м}^3/(\text{с}\cdot\text{км}^2)$ відбувається як

$$q_m = k_{q_m} q_0, \quad (11)$$

а максимальних витрат води ($\text{м}^3/\text{с}$) –

$$Q_m = k_{q_m} q_0 F, \quad (12)$$

де F - площа водозборів річок, км^2 .

Реалізація методу територіальних довгострокових прогнозів максимальних витрат води весняного водопілля потребує визначення середньобагаторічного модуля максимального стоку q_0 , $\text{м}^3/(\text{с}\cdot\text{км}^2)$. Для річок, по яких є багаторічні ряди спостережень, його значення можна визначити як

$$q_0 = \frac{\sum_{i=1}^n Q_{m_i}}{n \cdot F}, \quad (13)$$

де Q_{m_i} - максимальні витрати води водопілля i -х років ($\text{м}^3/\text{с}$) за період спостережень n .

За відсутності даних спостережень за стоком води, тобто річок, не вивчених у гідрологічному відношенні, величина q_0 визначається за методикою, яка спирається на модель типового редуційного гідрографа водопілля – операторної моделі формування максимального стоку річок [13, 32].

В умовах сучасних коливань клімату та наявності, у зв'язку з цим, часових тенденцій до зменшення як шарів стоку, так і максимальних витрат води весняних водопілля, авторами [32, 38] запропонований модифікований варіант операторної моделі формування максимального стоку рівнинних річок України у вигляді

$$q_0 = q'_0 \psi(t_p / T_0) \varepsilon_F r k_{3M}, \quad (14)$$

де k_{3M} – коефіцієнт змін клімату

$$k_{3M} = \frac{((S_m + \sum X) \cdot \eta)_{\text{прогн.}}}{((S_m + \sum X) \cdot \eta)_{\text{сучасн.}}}, \quad (15)$$

де S_m – максимальні запаси води в сніговому покриві перед початком весняного водопілля, мм; $\sum X$ – сума опадів періоду весняного водопілля, мм; η – коефіцієнт стоку весняного

водопілля (за прогнозними оцінками і у сучасний період);

В формулі (14) також:

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.

Середньобагаторічний модуль максимальної витрати води схилового припливу q'_0 в (14), визначається в рамках редуційних гідрографів [13, 32]

$$q'_0 = 0,28 \frac{n+1}{n} \frac{1}{T_0} Y_0, \quad (16)$$

де $(n+1)/n$ – коефіцієнт нерівномірності схилового припливу у часі, що приймається для басейнів рівнинних річок України на рівні 8,1;

T_0 – тривалість схилового припливу, год;

Y_0 – середньобагаторічний шар стоку, мм.

В прогнозній методиці територіальних довгострокових прогнозів характеристик весняного водопілля річок [11, 35, 36] передбачено також визначення забезпеченості або ймовірності настання у багаторічному періоді прогнозних величин максимальних витрат води водопілля Q_m . Вона встановлюється за спрогнозованими за методикою максимальними модульними коефіцієнтами k_{q_m} і коефіцієнтами варіації максимальних витрат води водопілля $(C_v)_{Q_m}$ по таблицях трипараметричного гама-розподілу С.Н. Крицького і М.Ф. Менкеля при встановленому для даної території $(C_s / C_v)_{Q_m} = 2,5$ [39].

Для невивчених у гідрологічному відношенні річок величина $(C_v)_{Q_m}$ може бути отримана за регіональною залежністю

$$(C_v)_{Q_m} = 1,09 - 0,17(\varphi^0 - 50), \quad (17)$$

де φ^0 - широта геометричних центрів водозборів, в частках 0 півн.ш.

Забезпеченість прогнозних величин максимальних витрат води весняного водопілля P_{Q_m} , % встановлюється у вигляді інтервалу забезпеченостей

$$P_1 < P_{Q_m} < P_2, \quad (18)$$

де P_1 і P_2 – верхня та нижня межі забезпеченості, % [40].

Оцінка справджуваності довгострокових прогнозів максимальних витрат води весняного водопілля виконувалася шляхом визначення похибки прогнозу δ та в частках від допустимої похибки – $\delta/\delta_{\text{доп}}$ [41, 42].

Величина похибки прогнозу δ , м³/с визначається за рівнянням

$$\delta = Q_m - Q'_m, \quad (19)$$

де Q_m і Q'_m – спостережені і спрогнозовані максимальні витрати води весняного водопілля, м³/с.

Величина допустимої похибки $\delta_{\text{доп}}$ максимальних витрат води водопілля становить $\pm 0,674$ від середньоквадратичного відхилення прогнозої величини від її середньобагаторічної величини (норми) σ_{Q_m} , м³/с. Прогноз вважається справджуваним, якщо відношення $\delta/\delta_{\text{доп}} \leq 1,0$ [41].

Формою представлення територіальних довгострокових прогнозів максимальних витрат води весняного водопілля по запропонованій методиці [11, 35, 36] є карти очікуваних величин максимальних модульних коефіцієнтів k_{q_m} та їх прогнозних забезпеченостей P_{Q_m} , %, що складаються в оперативному режимі на різні дати випуску прогнозів.

Карти дають змогу у кожному році здійснювати просторовий моніторинг розмірів майбутнього водопілля в цілому для великої території та визначати прогнозні значення максимальних витрат води водопілля для будь-якого водозбору у межах розглядуваної території, що є особливо корисним для невивчених річок.

Довгострокове прогнозування максимальних витрат води весняних водопіль річок басейну р.Десна та лівобережжя Середнього Дніпра виконано авторами [11, 43-45] при використанні програмного комплексу «СЕЙМ» з можливістю оперативного збору та обробки вихідної

гідрометеорологічної інформації, поточного прогнозування та статистичних оцінок характеристик максимального стоку весняного водопілля річок.

5. ОПИС І АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ

Гідрометеорологічні умови формування весняного водопілля 2022-2023 р. За даними Українського гідрометеорологічного центру [1] гідрометеорологічна ситуація у басейнах річок України, зокрема басейну Дніпра, Десни та інших приток, в зимово-весняний період 2022-2023 рр. характеризувалася такими умовами формування весняного водопілля цього року.

Упродовж осінньо-зимового періоду 2022-2023 рр. склались несприятливі гідрометеорологічні умови для формування весняного водопілля у 2023 р. на більшості річок України: нестійкий температурний режим взимку, малоактивне та нерівномірне снігонакопичення, незначні снігозапаси, добра зволоженість метрового шару ґрунту (порівняно з осіннім періодом) та неглибоке промерзання ґрунту.

Осінній період 2022 року видався дощовим для більшої частини території України, у тому числі басейну р. Десна та її приток, що обумовило збільшення водності річок перед початком зимового періоду (рис.1).

Гідрометеорологічні умови зимового періоду 2022-2023 рр. (чергування снігонакопичення і відлиг в зимовий період, достатня кількість опадів переважно у вигляді дощів та мокрог снігу), що склались в другій половині грудня 2022 р. та впродовж січня 2023 р. обумовили формування та розвиток у грудні-січні кількох хвиль **тало-дощових паводків на річках суббасейнів Десни, Середнього Дніпра та інших річок** (рис.1). На Десні зафіксовано видатний зимовий паводок за всі роки. Таким чином на цих річках утримувався підвищений режим рівнів води і відповідно водність річок була переважно близькою до норми та вищою за неї.

За даними Каталогу небезпечних відміток минулих років, в період формування тало-дощових паводків, у Чернігівській області відмічалось досягнення та перевищення відміток небезпечних гідрологічних явищ, таких як порушення транспортного сполучення та часткового затоплення окремих населених пунктів, присадибних ділянок та сільськогосподарських угідь.

Процес снігонакопичення протягом зими 2022-2023 рр. був малоактивним з чергуванням періодів встановлення незначного снігового

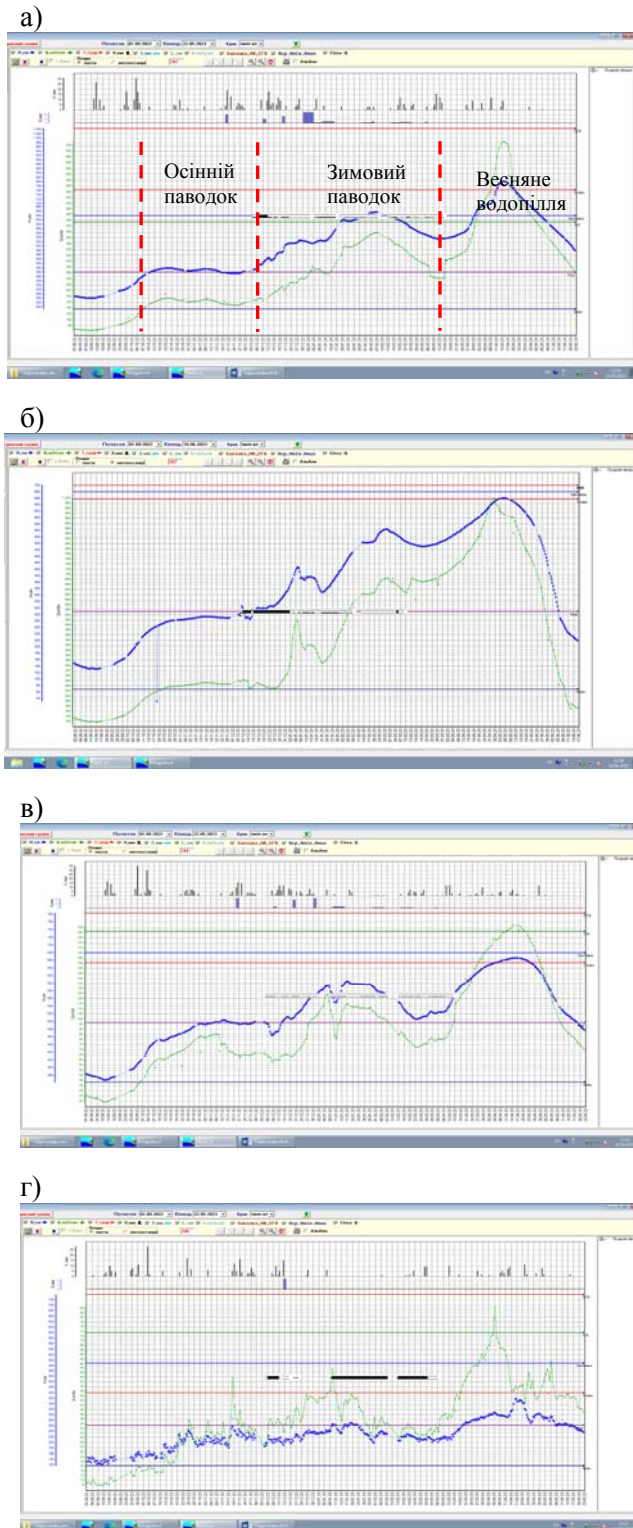


Рис. 1 – Комплексні графіки ходу гідрометеорологічних характеристик на р.Десна - с. Розльоти (а), р.Десна - м. Чернігів (б), р.Сейм - с. Мутин (в), р. Псел - с. Запсілля (г)

Fig. 1 – Complex graph of hydrometeorological characteristics on the Desna River - the Razlyoty water gauging station (a), the Desna River - the Chernihiv water gauging station (b), the Seim river - the Mutyn water gauging station (c), Psel river - the Zapsillia water gauging station (d)

покриву та відлиг. Максимальні середні снігозапаси по основних річкових водозборах території спостерігались у грудні 2022 р. і становили на водозборах Прип'яті та Десни 25 мм.

За результатами снігомірної зйомки середні по басейнах річок запаси води у сніговому покриві станом на 28 лютого 2023 р. дорівнювали (у мм і відсотках норми на цю дату): Дніпра до Києва 12 (31); Сейму (притока Десни) до Мутино 16 (33); Десни до Чернігова 17 (35); Середнього Дніпра: Псел, Ворскла 7-15 (28-58). На решті рівнинних водозборів країни протягом зимового періоду снігозапаси були незначні (до 10 мм) або взагалі не спостерігались.

Враховуючи, що ґрунт з осені був добре зволожений і протягом зимового періоду відмічались відлиги та опади у вигляді дощу, **зволоження метрового шару ґрунту** у лютому переважно відмічалось близьким до достатнього зволоженого та перезволоженого.

Нетиповий режим погоди зимового періоду 2022-2023 рр. без тривалих значних морозів обумовив нерівномірне та незначне промерзання ґрунту по території країни. За даними на 20 лютого **глибина промерзання ґрунту** була меншою за середні багаторічні показники та становила у басейнах річок лівобережжя Дніпра 20-45 см, що дорівнює 25-45 % норми.

Таким чином, гідрометеорологічні умови осінньо-зимового періоду 2022-2023 рр. характеризувалися підвищеною водністю річок від осінніх дощів, нестійким режимом погоди зимового періоду (чередуванням холодних періодів та відлиг), незначним промерзанням ґрунту, формуванням у зимовий період екстремального тало-дощового паводку, що обумовили високу водність річок перед весняним водопіллям, подальшим малоактивним накопиченням та нерівномірним заляганням снігового покриву і, як наслідок, в цілому незначними снігозапасами в межах водозборів річок басейну Дніпра, Десни, лівих приток Середнього Дніпра на території країни (28-35%).

Такі гідрометеорологічні умови дали підставу УкрГМЦ [1] для очікування близького до норми весняного водопілля річок розглядуваної території, на відміну від інших частин території країни, де весняне водопілля 2022-2023 р. було не вираженим, оскільки був відсутній основний чинник водопілля – сніговий покрив.

Прогнозування максимальних витрат води весняного водопілля 2022-2023 р. в басейні р.Десна та інших приток Середнього Дніпра,

умови формування та наслідки якого проаналізовано вище, виконане авторами даної роботи за методикою територіальних довгострокових прогнозів характеристик водопіль при використанні програмного прогностичного комплексу «СЕЙМ» [12, 43 - 45]. Датою складання прогнозу прийнята встановлена УкрГМЦ дата основного випуску прогнозу в Україні, тобто 20 лютого.

На календарну дату складання прогнозу максимальних витрат води весняного водопілля розрахунок середніх на водозборах максимальних запасів води в сніговому покриві $(S_m)_{ДСП}$ ведеться за схемою

$$(S_m)_{ДСП} = [S_{ДСП}(1 - f_l) + k_l S_{ДСП} f_l] + \Delta \bar{S}, \quad (20)$$

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 одиниці;

k_l – коефіцієнт снігонакопичення у лісі, прийнятий на рівні 1,12 [11, 36];

$\Delta \bar{S}$ – середня багаторічна добавка запасів води в сніговому покриві до максимальних в кожному році їх величин.

Визначення середніх величин добавок $\Delta \bar{S}$ на календарні дати складання прогнозу виконується за трьома сценаріями розвитку очікуваних погодних умов зимового сезону – по температурам повітря в лютому й березні та величинам можливих опадів в період після дати складання прогнозу (вищими, близькими та нижчими за норму) шляхом введення відповідних коефіцієнтів [11, 12, 36].

Індекс зволоження ґрунтів перед весняним водопіллям $(q_{09-01})_i$, що входить до складу вектор-предиктора дискримінантної функції (9) для конкретних років отримується на основі безпосередніх спостережень за стоком води річок. За відсутності спостережень в програмному комплексі здійснюється відновлення значень $(q_{09-01})_i$ шляхом побудовання для кожного i -го року залежностей типу

$$(q_{09-01})_i = k_1 + k_2(\varphi^o - 50), \quad (21)$$

де k_1 і k_2 – коефіцієнти рівняння (21), що отримуються у поточному році;

φ^o – широта геометричних центрів водозборів, в частках °півн.ш. приведена до середньої широти 50 °півн.ш.

Для розрахунку глибин промерзання ґрунтів на водозборах у вектор-предикторі дискримінантної функції (9) використовуються безпосередні їх виміри та розраховуються середні арифметичні значення глибин промерзання у межах кожного з водозборів. За відсутності спостережень на водозборі в програмному комплексі здійснюється відновлення полів глибин промерзання ґрунтів на дати прогнозу шляхом встановлення залежностей вигляду

$$L_i = k_3 + k_4(\varphi^o - 50), \quad (22)$$

де k_3 і k_4 – коефіцієнти рівняння (22), визначені у поточному році;

φ^o – географічна широта пунктів виміру глибин промерзання ґрунтів, в ° півн.ш.

Етапи випуску прогнозів максимальних витрат води весняного водопілля 2022-2023 р. в басейнах річок Десни та лівих приток Середнього Дніпра відповідають викладеній методиці територіальних довгострокових прогнозів максимального стоку весняного водопілля, що наведена вище.

Довгострокове прогнозування максимальних витрат води весняного водопілля та їх забезпеченостей у багаторічному періоді здійснюється у програмному комплексі «СЕЙМ» для опорних гідрологічних створів. Слід зазначити, що їх перелік включає крім басейну р. Десна з притоками, ще й інші ліві притоки Середнього Дніпра (рр. Сула, Псел і Ворскла). Визначення запасів води в сніговому покриві на водозборах відбувається за даними 57 метеорологічних станцій та постів. При цьому слід зазначити, що майже за відсутності запасів снігу на водозборах рр. Сула та Ворскла та їх приток перед початком весни 2023 р. прогнозування максимальних витрат води весняного водопілля цих річок не відбувалося.

Слід також зазначити, що застосування методу територіального довгострокового прогнозування максимальних витрат води весняного водопілля може здійснюватися й для інших річок території, включаючи ті, по яких відсутні дані спостережень за стоком води, при виконаних регіональних узагальненнях параметрів і коефіцієнтів прогновної методики і представленні прогнозних величин у вигляді

безрозмірних комплексів - максимальних модульних коефіцієнтів [11, 35, 36].

У зв'язку зі складними гідрометеорологічними умовами формування весняного водопілля 2022-2023 р. прогнозування максимальних витрат води річок Десни та інших лівих приток Середнього Дніпра (р. Псел з притокою) здійснювалося за різних сценаріїв випадіння опадів у вигляді снігу в період завчасності прогнозу (при температурі повітря в березні та опадах близьких та вищих за їх середньобогаторічні величини), що визначаються в методі прогнозу величиною добавок снігу до максимальних снігозапасів $\Delta\bar{S}$ на календарні дати складання прогнозу.

Так, на першому етапі довгострокове прогнозування максимальних витрат води весняного водопілля 2022-2023 р. для опорних створів в басейнах річок Десни та інших лівих приток Середнього Дніпра здійснено за сценарієм, коли температура повітря в березні і кількість опадів у вигляді снігу близькі до їх середньобогаторічних величин. При цьому величина добавок снігу до максимальних снігозапасів $\Delta\bar{S}$ на календарну дату складання прогнозу 20 лютого становила по території 3-8 мм (табл.1). Результати розрахунків показали (див. табл.1), що спрогнозовані за методикою величини максимальних витрат води весняного водопілля поточного року були значно меншими за їх спостережені величини.

Це пов'язане з тим, що передумовою утворення весняного стоку річок стала висока їх водність за рахунок проходження у грудні-січні екстремальних за витратами води тало-дошових паводків і весняне водопілля поточного року сформувалося на фоні значних передповенеких витрат води (див. рис.1). В такому разі, був розглянутий варіант розрахунків, коли спрогнозовані за методикою максимальні витрати води водопілля Q'_m , м³/с були підсумовані з витратами води, що спостерігалися на спаді зимового паводку, тобто перед початком весняного водопілля Q_{nb} , м³/с (табл.2).

Спрогнозовані таким чином максимальні витрати води весняного водопілля 2022-2023 р. річок Десни та інших приток Q''_m , м³/с у 85% випадків були справжуваними (за статистичними оцінками δ/δ_{don}), а їх величини близькі до спостережених.

В іншому варіанті прогнозування максимальних витрат води весняного водопілля

2022-2023 р було здійснено й за сценарієм випадіння опадів більших за їх середньобогаторічні величини, при величинах $\Delta\bar{S}$ періоду завчасності прогнозу на рівні 12-25 мм для різних за географічним положенням річкових водозборів.

До речі, загалом за березень найбільша кількість опадів спостерігалась в басейнах річок Прип'яті та Десни – 113-203 % місячної норми. І, навіть, останніми днями місяця (з 28 березня) із заходу відбувся затік холоду з помірними і значними дощами, які перейшли у сніг і на лівобережжі встановився сніговий покрив висотою до 10 см, а на пригирловій ділянці Десни – 1-4 см.

За таким сценарієм випадіння опадів, спрогнозовані максимальні витрати води майже врахували спостережені максимальні обсяги водопілля з високим відсотком справджуваності складених прогнозів. При додаванні до спрогнозованих максимальних витрат води передповенеких витрат збільшило їх величини до значень, вищих за спостережені.

Забезпеченість настання прогнозних величин максимальних витрат води весняного водопілля 2022-2023 р. P_{Q_m} у багаторічному періоді становила 50-65% – в басейні Десни, 86-97% – в басейні Сейму та інших приток.

За даними УкрГМЦ [1] неоднорідні та змінні погодні умови обумовили різний початок весняного водопілля 2022-2023 р. у басейнах річок. Спостережені строки початку водопілля припадали на 25 лютого – 2 березня на притоках Десни в межах країни, 16-29 березня – на Десні, що було пізніше нормальних строків (див. рис.1).

На р. Десна - с. Розльоти максимальні витрати води сформувалися до 14-15 квітня, а у м. Чернігів – до 24 квітня, р. Сейм - с. Мутин – до 16 квітня. В подальший період спостерігалось поступове зниження рівнів і витрат води весняного водопілля (див. рис.1). Слід зазначити, що максимальні витрати води весняного водопілля 2022-2023 р. на р. Десна за розмірами майже досягли їх значення у багатоводному, сформованому за рахунок значних снігозапасів, 2010 р.

Завчасність довгострокових прогнозів максимальних витрат води була обумовлена швидкістю розвитку весняних процесів, тривалістю підйому весняного водопілля річок, різних за географічним положенням і розмірами водозборів. Таким чином, при даті випуску основного прогнозу 20 лютого 2023 р. завчасність прогнозів максимальних витрат води

Таблиця 1 - Результати довгострокових прогнозів максимальних витрат води весняного водопілля 2022-2023 р. річок басейну Десни та інших лівих приток Середнього Дніпра

Table 1 – Results of long-term forecasts of the maximum water discharges of the spring flood in 2022-2023 of the rivers of the Desna basin and other left tributaries of the Middle Dnieper

№	Річка - пост	$S_{ДСП}$, мм	$\Delta\bar{S}$, мм	$(S_m)_{ДСП}$, мм	q_{09-01} , л/(с·км ²)	L , см	θ_{02} °С	$DF1$	$DF2$	k_{qm}	Q'_m , м ³ /с
1	Десна-с.Розльоти	29	7	36	5,07	24	-4,0	2,82	3,21	0,4	380
2	Сейм-с.Мутин	10	5	15	2,78	29	-4,0	5,46	3,51	0,10	90,2
3	Псел-м.Суми	28	4	33	1,85	28	-2,9	0,0	1,1	0,17	52,6
4	Псел-м.Гадяч	15	4	19	1,41	31	-2,9	3,25	2,12	0,19	53,6
5	Псел-с.Запсілля	9	4	13	1,32	30	-2,9	4,93	3,19	0,12	39,4
6	Хорол-м.Миргород	16	3	19	0,52	32	-2,0	3,55	2,35	0,18	14,1

Таблиця 2 - Оцінка справджуваності довгострокових прогнозів максимальних витрат води весняного водопілля 2022-2023 р. річок басейну Десни та інших лівих приток Середнього Дніпра

Table 2 – The long-term forecasts verification of the maximum water discharges of the spring flood in 2022-2023 of the rivers of the Desna basin and other left tributaries of the Middle Dnieper

№ зп	Річка - пост	F , км ²	σQ_m , м ³ /с	$\delta_{дон}$, м ³ /с	Q_m , м ³ /с	Q'_m , м ³ /с	$Q_{пв}$, м ³ /с	Q''_m , м ³ /с	δ , м ³ /с	$\delta / \delta_{дон}$
1	Десна-с.Розльоти	36300	654	441	712	380	304	684	28,3	0,06
2	Сейм-с.Мутин	25600	676	456	192	90,2	82,3	173	19,5	0,04
3	Псел-м.Суми	7770	253	171	***	52,6	-	-	-	-
4	Псел-м.Гадяч	11300	273	184	***	53,6	-	-	-	-
5	Псел-с.Запсілля	22400	233	157	84,5	39,4	36,2	75,6	8,89	0,06
6	Хорол-м.Миргород	1740	57,5	38,8	***	14,1	-	-	-	-

Примітка *** - відсутність даних про спостережені витрати води.

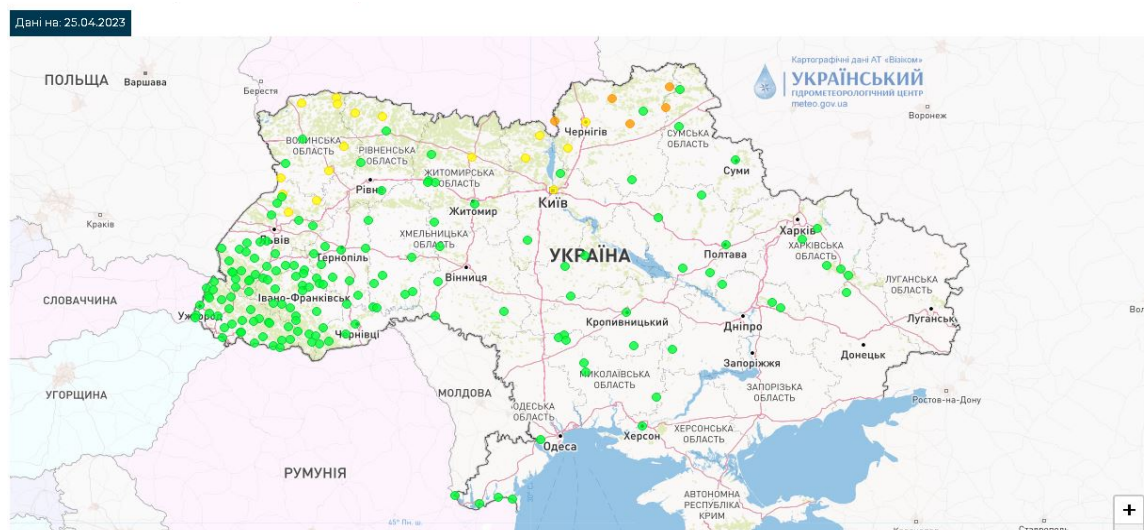


Рис. 2 – Щоденна гідрологічна ситуація небезпеки весняної повені 2022-2023 р. на річках території України станом на 25 квітня 2023 р.[2]

Fig. 2 – Daily hydrological situation of the spring flood danger in 2022-2023 on the rivers of the territory of Ukraine as of April 25, 2023 [2]

водопілля 2022-2023 р. становила порядку 20-30 діб для невеликих приток Десни, та майже двох місяців - для річок Десни і Сейму.

Моніторинг щоденної гідрологічної ситуації річок території України, що проводиться УкрГМЦ показав, що в період проходження максимальних витрат води весняного водопілля 2022-2023 р. (станом на 25 квітня 2023 р.) для річок басейну Десни і Сейму був оголошений жовтий і помаранчевий рівень небезпеки (рис.2) [2].

При цьому затоплення спостерігалися на понижених ділянках заплави вздовж р. Десна, окремих населених пунктів, присадибних ділянок, міських пляжів водами Дніпра та Сожу у Чернігівському районі та водами Десни у Новгород-Сіверському, Корюківському, Ніжинському, Чернігівському районах, відбувався перелив води через дороги та порушення транспортного сполучення з рядом прирічкових сіл у Чернігівській області.

При цьому слід відмітити, що застосування методу територіальних довгострокових прогнозів характеристик весняного водопілля річок, включаючи не вивчені у гідрологічному відношенні, дає можливість просторового моніторингу водності річок при проходженні максимальних витрат води в умовах формування водопілля.

6. ВИСНОВКИ

У даному дослідженні авторами проаналізовано гідрометеорологічні умови формування видатного за максимальними витратами води весняного водопілля 2022-2023 р. в басейні р. Десна й інших приток та здійснене довгострокове прогнозування максимальних витрат води водопілля поточного року.

Аналіз формування весняного водопілля 2022-2023 р. в басейнах рр. Дніпра, Десни та лівих приток Середнього Дніпра показав, що воно характеризувалося складними гідрометеорологічними умовами як в осінньо-зимовий, так й весняний періоди. Підвищена водність річок від осінніх дощів, нестійкий режим погоди зимового періоду, незначне промерзання ґрунту та снігонакопичення, формування у зимовий період тало-дошового паводку обумовили високу водність річок, що стало основною передумовою формування видатного весняного водопілля і виникнення небезпеки затоплення окремих населених пунктів, присадибних ділянок та

сільськогосподарських угідь, а також автомобільних шляхів, порушення транспортного сполучення в межах Київської, Чернігівської та інших областях України.

Довгострокове прогнозування максимальних витрат води весняного водопілля 2022-2023 р. в басейнах рр. Десна та лівих приток Середнього Дніпра (р.Псел з притокою) було виконане за методикою територіальних довгострокових прогнозів характеристик весняного водопілля річок при використанні програмного комплексу «СЕЙМ» для різних сценаріїв випадіння опадів у період завчасності прогнозу, високої осінньо-зимової зволоженості і незначного зимового промерзання ґрунтів на водозборах.

Результати довгострокового прогнозу максимальних витрат води весняного водопілля 2022-2023 р. показали задовільні статистичні оцінки прогнозу максимальних витрат води водопілля у разі врахування високої передповеневої водності річок при проходженні зимового паводку. При цьому спрогнозовані максимальні витрати води весняного водопілля поточного року були одержані шляхом їх сумування з витратами води на спаді зимового паводку, тобто перед початком весняного водопілля.

Завчасність прогнозів максимальних витрат води водопілля 2022-2023 р. становила порядку 20-30 діб для невеликих приток Десни, та майже двох місяців - для річок Десна і Сейм.

Застосування методу територіального довгострокового прогнозування максимальних витрат води весняного водопілля може здійснюватися для всіх річок розглядуваної території, включаючи ті, які не вивчені у гідрологічному відношенні, при виконаних регіональних узагальненнях параметрів і коефіцієнтів прогновної методики. Це дає можливість просторового моніторингу водності річок при проходженні максимальних витрат води в умовах формування водопілля.

Таким чином, враховуючи складні гідрометеорологічні умови формування весняного водопілля річок в умовах зміни клімату, які все частіше пов'язані з несталими зимовими температурами повітря та незначним зимовим снігонакопиченням й промерзанням ґрунтів на водозборах, прогнозування гідрологічних характеристик максимального стоку водопілля річок повинно здійснюватися при аналізі особливостей погодних умов як осінньо-зимового, так й весняного періодів кожного конкретного року.

ПОДЯКИ

Автори висловлюють подяку д-ру геогр. наук, професору В.А. Овчарук за активну участь в зборі інформації про небезпечні наслідки весняного водопілля 2022-2023 р. та наукові обговорення проблематики дослідження.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

- Український гідрометеорологічний центр Державної служби України з надзвичайних ситуацій. Головна. Гідрологія. Паводки, водопілля. URL: <https://www.meteo.gov.ua/ua/Pavodki-vodopillya> (дата звернення 21.03.2023)
- Український гідрометеорологічний центр Державної служби України з надзвичайних ситуацій. Головна. Попередження. Гідрологічні попередження. URL: <https://www.meteo.gov.ua/ua/Hidrolohichni-poperedzhennya> (дата звернення 25.04.2023)
- Ресурси поверхневих вод СССР Т.6. Украина и Молдавия. Вып.2. Среднее и Нижнее Поднепровье / под ред. М.С.Каганера. Ленинград : Гидрометеиздат, 1971. 656 с.
- Changing climate shifts timing of European floods / Blöschl G. et al. *Science*. 2017. Vol. 357(6351). Pp. 588-590. <https://doi.org/10.1126/science.aan2506>.
- Changing climate both increases and decreases European river floods / Blöschl G. et al. *Nature*. 2019. 573(7772). Pp. 108-111. <https://doi.org/10.1038/s41586-019-1495-6>
- Joint trends in flood magnitudes and spatial extents across Europe / Kemter M. et al. *Geophysical Research Letters*. 2020. 46. Pp. 1-8. <https://doi.org/10.1029/2020GL087464>
- Гребінь В. В. Сучасний водний режим річок України (ландшафтно-гідрологічний аналіз). Київ: Ніка-Центр, 2010. 316 с.
- Лобода Н. С., Козлов М. О. Оцінка водних ресурсів річок України за середніми статистичними моделями траєкторій змін клімату RCP4.5 та RCP8.5 у період 2021-2050 роки. *Український гідрометеорологічний журнал*. 2020. №25. С. 93-104. <https://doi.org/10.31481/uhmj.25.2020.09>
- Лобода Н. С. Прогноз змін водних ресурсів України за сценаріями змін клімату (RCP4.5, RCP8.5) та оцінка ризиків для водного господарства // Кліматичні ризики функціонування галузей економіки України в умовах зміни клімату: колективна монографія / за ред. С.М. Степаненка, А.М. Польового; Одеський державний екологічний університет. Одеса: ТЕС, 2018. С. 498-521.
- Горбачова Л. О. Оцінка можливих майбутніх змін водного стоку річок України (на середину XXI століття). *Проблеми матеріальної культури. Географіческие науки*. 2014. С. 89-94. URL : <http://dspace.nbuv.gov.ua/handle/123456789/92902>
- Шакірманова Ж. Р. Довгострокове прогнозування характеристик максимального стоку весняного водопілля рівнинних річок та естуаріїв території України : монографія. Одеса : ФОП Бондаренко М.О., 2015. 252 с.
- Shakirmanova Zhannetta, Dokus Anhelina. Territorial long-term forecasting of hydrological characteristics of spring floods of lowland rivers. *Ecological Significance of River Ecosystems, Elsevier* / Edited by Sugghosh Madhav, Shyam Kanhaiya, Arun Srivastav, Virendra Singh, Pardeep Singh. 2022. Chapter 17. Pp. 325-350. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-85045-2.00020-0>
- Гопченко Є.Д., Овчарук В.А., Шакірманова Ж.Р. Розрахунки та довгострокові прогнози характеристик максимального стоку весняного водопілля в басейні р. Прип'ять: монографія. Одеса: Екологія, 2011. 336 с.
- Шакірманова Ж. Р., Докус А. О. Довгострокове прогнозування характеристик весняного водопілля в басейні р. Південний Буг: монографія. Одеса : ФОП Бондаренко М.О., 2021. 244 с.
- Guide to Hydrological Practices. Volume II, no. 168 : Management of Water Resources and Application of Hydrological Practices WMO / Edited by World Meteorological Organization, 2009. 302 p.
- Guide to hydrological practices. No. 168 : Data acquisition and processing, analysis, forecasting and other applications / Edited by World Meteorological Organization, 1994. 770 p.
- Сусідко М. М. Математичне моделювання процесів формування стоку як основа прогностичних систем. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. 2000. Том 1. С. 32-40.
- Hydrological Models for Water-Resources System Design and Operation. Report № 34 / Operational Hydrology. World Meteorological Organization. Geneva, 1990.
- Гопченко Є. Д., Шакірманова Ж. Р., Овчарук В. А. Сучасні математичні моделі в гідрологічних розрахунках і прогнозах: навчальний посібник. Одеса : ОДЕКУ, 2015. 195 с.
- Burnash R. J. C., Ferral R. L., McGuire R. A. A Generalized Streamflow Simulation System: Conceptual Modelling for Digital Computers. *National Weather Service and State of California Department of Water Resources*, March. 1973. P. 69.
- Gerlinger K., Demuth N. The flood forecast model LARSIM application experience and evaluation of operational runoff forecasts in the Moselle basin. 2011. URL : <http://www.watlab.be/en/events/files> (Accessed: 29.03.2021).
- An Introduction to the European Hydrological System – Systeme Hydrologique Europeen, "SHE," 1: Structure of a Physically-Based, Distributed Modelling System / Abbott M.B. et al. *Journal of Hydrology*. 1986. No. 87. Pp. 61-77. URL : [10.1016/0022-1694\(86\)90114-9](https://doi.org/10.1016/0022-1694(86)90114-9)
- Wigmosta M. S., Vail L., Lettenmaier D. P. A distributed hydrology-vegetation model for complex terrain. *Water Resources Research*. 1994. Vol. 30. Pp. 1665-1679. URL : https://www.uvm.edu/~bwemple/HydroModel/DHSVM/Wigmosta_et al1994.pdf
- Wilke K., Rademacher S. Operationelle Wasserstands – und Durchflussvorhersagen im Rheingebiet. Operational forecast of water level and runoff in Rhine Catchment. *Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft*. 2002. No. 54. Pp. 9-10.
- Reichel G. FluxDSS und FLORIS2000 – ein leistungsfähiges Paket zur Modellierung der Fließvorgänge in komplexen Systemen. *Österreichische Wasserwirtschaft*. 2001. 53. Pp. 5-6.
- Calibration techniques used for HBV hydrological model in Savinja catchment / Kobold M., Suselj K., Polajnar J. et al. *Conference abstracts XXIV-th of the Danubian countries on hydrological forecasting and hydrological bases of water management*, 2-4 June. Slovenia. 2008. P. 14.
- User guide MIKE 11. A Modelling System for River and Channels / DHI. 2012. Vol. 2. 204 p.
- Hydrological calibration scenarios of the HSPF model for the upper Iskar basin / Ninov P. et al. *Conference abstracts XXIII of the Danubian countries on hydrological forecasting and hydrological bases of water management*, 28-31 August. Serbia : Belgrade, 2006. P. 59.

29. Кочелаба Е. И., Окорский В. П., Соседко М. Н. Математическое моделирование процессов формирования половодного стока на территории Полесья с учетом отепельных явлений. *Труды УкрНИГМИ*. 1990. Вып. 235. С. 3-18.
30. Разработать методику расчета и прогноза дождевого и талого стока на территории Киевского Полесья. Отчёт о НИР. ГР № 01870026055 / науч. руков. Соседко М.Н.; УкрНДГМИ. Киев, 1988. 78 с.
31. Хохлов В. М., Сіріченко К. С., Уманська О. В. Вплив змін клімату на періоди холодної погоди в Україні. *Вісник Одеського державного екологічного університету*. 2017. № 22. С. 39-44. URL : http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vodeu_2017_22_7
32. Овчарук В. А. Максимальний стік весняного водопілля рівнинних річок України : монографія. Одеса : Видавничий дім «Гельветика», 2020. 300 с.
33. Школьнік С. П., Лоева І. Д., Гончарова Л. Д. Обработка та аналіз гідрометеорологічної інформації : підручник. Київ : Міносвіти України, 1999. 538 с.
34. Лобода Н. С. Методи статистичного аналізу у гідрологічних розрахунках і прогнозах : навчальний посібник. Одеса: Екологія, 2010. 184 с.
35. Метод прогностичної оцінки характеристик гідрологічного режиму річок басейну Дніпра у весняний період року / Шакирзанова Ж. Р., Бойко В. М., Гопцій М. В. та ін. *Український гідрометеорологічний журнал*. 2018. Вип. №22. С. 80-99. <https://doi.org/10.31481/uhmj.22.2018.08>
36. Комплексний метод довгострокового прогнозування гідрологічних характеристик весняного водопілля річок : Проблеми гідрології, гідрохімії, гідроекології : монографія / Шакирзанова Ж. Р., Докус А. О., Сербова З. Ф., Швець Н. М.; за ред. В. І. Осадчого та ін. Київ : Ніка-Центр, 2019. С.58 – 74.
37. Інноваційний комплексний метод ймовірносно-прогностичного моделювання характеристик весняного водопілля та оцінки екологічних ризиків урболандшафтів басейну Дніпра в умовах мінливості клімату. Зелено-блакитна інфраструктура в містах пострадянського простору : вивчення спадщини та підключення до досвіду країн V4 : колективна монографія / Овчарук В., Шакирзанова Ж., Кічук Н., Гопцій М.; за ред. Максименко Н.В., Шкаруба А.Д. Харків : Вид-во ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2022. 400 с. URL : <http://eprints.library.odeku.edu.ua/id/eprint/11318/>
38. Valeriya Ovcharuk, Eugene Gopchenko. Engineer substantiation of estimated characteristics of maximum rivers runoff during floods under climate change. *Ecological Significance of River Ecosystems* / Edited by Sughosh Madhav, Shyam Kanhaiya, Arun Srivastav, Virendra Singh, Pardeep Singh. *Elsevier*. 2022. Chapter 18. Pp. 351-382. URL : <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-85045-2.00018-2>.
39. Гопченко С. Д., Лобода Н. С., Овчарук В. А. Гідрологічні розрахунки: підручник для студентів ВНЗ. Одеса, 2014. 483 с.
40. Пособие по определению расчетных гидрологических характеристик. Ленинград: Гидрометеиздат, 1984. 447 с.
41. Наставова з оперативної гідрології. Прогнози режиму вод суші. Гідрологічне забезпечення і обслуговування / Керівний документ. Київ: Український гідрометеорологічний центр, 2012. 120 с.
42. Оцінювання якості методики та точності (справджуваності) прогнозів режиму поверхневих вод суші / Керівний документ. Київ: Український гідрометеорологічний центр, 2015. 70 с.
43. Шакирзанова Ж. Р. Прогнозування максимальних витрат води весняного водопілля в басейні Дніпра з використанням автоматизованих програмних комплексів. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. 2011. Т.4 (25). С. 48-55.
44. Шакирзанова Ж. Р., Андреевська Г. М., Бойко В. М. Довгострокове прогнозування максимальних витрат води весняних водопіль річок лівобережжя Дніпра (з використанням програмного комплексу). *Наукові праці Українського науково-дослідного гідрометеорологічного інституту*. 2012. Вип. 263. С. 89-95.
45. Shakirzanova Zh., Kazakova (Dokus) A., Volkov A. Territorial long-term forecasting of spring flood characteristics in the modern climatic condition utilizing geographical informational systems. *International Journal of Research In Earth & Environmental Sciences*. April. 2017. Vol. 7. No. 1. Pp. 13-16. URL : <http://www.ijsk.org/ijrees.html>.

REFERENCES

1. *Ukrainskyi hidrometeorolohichnyi tsentr Derzhavnoi sluzhby Ukrainy z nadzvychainykh sytuatsii. Holovna. Hidrolohiia. Pavodky, vodopillia [Ukrainian Hydrometeorological Center of the State Emergency Service of Ukraine. Main. Hydrology. Floods, water harvesting]*. Available at: <https://www.meteo.gov.ua/ua/Pavodki-vodopillya> (Accessed: 21.03.2023) (in Ukr)
2. *Ukrainskyi hidrometeorolohichnyi tsentr Derzhavnoi sluzhby Ukrainy z nadzvychainykh sytuatsii. Holovna. Poperedzhennia. Hidrolohični poperedzhennia [Ukrainian Hydrometeorological Center of the State Emergency Service of Ukraine. Main. Warning. Hydrological warnings]*. Available at: <https://www.meteo.gov.ua/ua/Hidrolohični-poperedzhennia> (Accessed: 25.04.2023) (in Ukr)
3. Kaganer, M.S. (ed). (1971). *Resursy poverkhnostnykh vod SSSR [Surface water resources of the USSR]*. Vol. 6: *Ukraina i Moldaviya [Ukraine and Moldova]*. Issue 2: *Srednee i Nizhnee Podneprov'e [Middle and Lower Dnieper]*. Leningrad : Gidrometeoizdat. (in Russ.)
4. Blöschl, G. et al. (2017). Changing climate shifts timing of European floods. *Science*, 357(6351), pp. 588-590. <https://doi.org/10.1126/science.aan2506>.
5. Blöschl, G. et al. (2019). Changing climate both increases and decreases European river floods. *Nature*, 573(7772), pp. 108-111. <https://doi.org/10.1038/s41586-019-1495-6>
6. Kemter, M., Merz, B., Marwan, N. et al. (2020). Joint trends in flood magnitudes and spatial extents across Europe. *Geophysical Research Letters*, 46, pp. 1-8. <https://doi.org/10.1029/2020GL087464>
7. Hrebin, V.V. (2016). *Suchasnyy vodnyy rezhym richok Ukrainy (landshaftno-hidrolohičniy analiz) [The current water regime of the rivers of Ukraine (landscape-hydrological analysis)]*. Kyiv: Nika-Tsentr Publ. (in Ukr.)
8. Loboda, N.S. & Kozlov, M.O. (2020). [Assessment of water resources of rivers of Ukraine according to average statistical models of climate change trajectories RCP4.5 and RCP8.5 in the period 2021-2050]. *Ukrains'kij gidrometeorolohičnij žurnal [Ukrainian hydrometeorological journal]*, 25, pp.93-104. (in Ukr). <https://doi.org/10.31481/uhmj.25.2020.09>
9. Loboda, N.S. (2018). Prohnoz zmin vodnykh resursiv Ukrainy za stsenariiamy zmin klimatu (RCP4.5, RCP8.5) ta otsinka ryzykiv dlia vodnoho hospodarstva [Forecast of changes in water resources of Ukraine according to climate change scenarios (RCP4.5, RCP8.5) and risk assessment for water management]. In: Stepanenko, S.M., Polovoho, A.M. (eds). *Klimatychni ryzyky funktsionuvannia*

- haluzei ekonomiky Ukrainy v umovakh zminy klimatu [Climatic risks of the functioning of branches of the economy of Ukraine in the conditions of climate change]. Odesa: TPP, pp. 498-521. (in Ukr.)
10. Horbachova, L.O. (2014). Otsinka mozhyvykh maibutnykh zmin vodnoho stoku richok Ukrainy (na seredynu XXI stolittia) [Assessment of possible future changes in the water flow of the rivers of Ukraine (for the middle of the 21st century)]. *Problemy materialnoi kultury [Problems of material culture]*, pp. 89-94. Available at: <http://dspace.nbuv.gov.ua/handle/123456789/92902> (Accessed: 15.05.2022) (in Ukr.)
 11. Shakirzanova, Zh.R. (2015). *Dovhostrokovye prohozuvannia kharakterystyk maksimalnogo stoku vesnianoho vodopillia rivnynykh richok ta estuariiv terytorii Ukrainy [Long-term forecasting of characteristics maximum runoff of spring flood plain rivers and estuaries in Ukraine]*. Odesa: FOP Bondarenko Publ. (in Ukr.)
 12. Shakirzanova, Z. & Dokus, A. (2022). Territorial long-term forecasting of hydrological characteristics of spring floods of lowland rivers. In: Sughosh, M., Shyam, K., Arun, S. et al. (eds). *Ecological Significance of River Ecosystems, Elsevier*, chapter 17, pp. 325-350. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-85045-2.00020-0>
 13. Gopchenko, E.D., Ovcharuk, V.A. & Shakirzanova, Zh.R. (2011). *Rozrakhunky ta dovhostrokovi prohozy kharakterystyk maksimalnogo stoku vesnianoho vodopillia v baseini r. Prypiat [Calculations and long-term forecasts of the characteristics of the maximum runoff of spring water in the Prypiat river basin]*. Odesa: Ekolohiia Publ. (in Ukr.)
 14. Shakirzanova, Zh.R. & Dokus, A.O. (2021). *Dovhostrokovye prohozuvannia kharakterystyk vesnianoho vodopillia v baseini r. Pivdennyi Buh [Long-term forecasting of characteristics of spring irrigation in the basin of the Pivdenny Bug River]*. Odesa: FOP Bondarenko M.O. (in Ukr.)
 15. World Meteorological Organization (2009). *Guide to Hydrological Practices*. Volume II, no. 168 : *Management of Water Resources and Application of Hydrological Practices WMO*.
 16. World Meteorological Organization (1994). *Guide to hydrological practices*. No 168 : *Data acquisition and processing, analysis, forecasting and other applications*.
 17. Susidko, M.M. (2000). Matematychni modeliuvannia protsesiv formuvannia stoku yak osnova prohoznychykh system [Mathematical modeling of flow formation processes as a basis for prognostic systems]. *Hidrolohiia, hidrokimiia i hidroekolohiia [Hydrology, hydrochemistry and hydroecology]*, 1, pp. 32-40. (in Ukr.)
 18. World Meteorological Organization. (1990). *Hydrological Models for Water-Resources System Design and Operation. Report № 34*. Geneva.
 19. Hopchenko, Ye.D, Shakirzanova, Zh.R. & Ovcharuk, V.A. (2015). *Suchasni matematychni modeli v hidrollohichnykh rozrakhunkakh i prohozakh [Modern mathematical models in hydrological calculations and forecasts]*. Odesa: ODEKU. (in Ukr.)
 20. Burnash, R.J.C., Ferral, R.L. & McGuire, R.A. (1973). A Generalized Streamflow Simulation System: Conceptual Modelling for Digital Computers. *National Weather Service and State of California Department of Water Resources*, march, p. 69.
 21. Gerlinger, K. & Demuth, N. (2011). *The flood forecast model LARSIM application experience and evaluation of operational runoff forecasts in the Moselle basin*. Available at: <http://www.watlab.be/en/events/files> (Accessed: 29.03.2021).
 22. Abbott, M.B. et al. (1986). An Introduction to the European Hydrological System – Systeme Hydrologique Europeen, "SHE," 1: Structure of a Physically-Based, Distributed Modelling System. *Journal of Hydrology*, 87, pp. 61-77. [https://doi.org/10.1016/0022-1694\(86\)90114-9](https://doi.org/10.1016/0022-1694(86)90114-9)
 23. Wigmosta, M.S., Vail, L. & Lettenmaier, D.P. (1994). A distributed hydrology-vegetation model for complex terrain. *Water Resources Research*, 30, pp. 1665-1679. Available at: https://www.uvm.edu/~bwemple/HydroModel/DHSVM/Wigmosta_et al1994.pdf (Accessed: 29.03.2021).
 24. Wilke, K. & Rademacher, S. (2002). Operationelle Wasserstands – und Durchflussvorhersagen im Rheingebiet. Operational forecast of water level and runoff in Rhine Catchment. *Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft*, 54, pp. 9-10.
 25. Reichel, G. (2001). FluxDSS und FLORIS2000 – ein leistungsfähiges Paket zur Modellierung der Fließvorgänge in komplexen Systemen. *Österreichische Wasserwirtschaft*, 53, pp. 5-6.
 26. Kobold, M., Suselj, K., Polajnar, J. et al. (2008). Calibration techniques used for HBV hydrological model in Savinja catchment. *Conference abstracts XXIV-th of the Danubian countries on hydrological forecasting and hydrological bases of water management, 2-4 June. Slovenia*, p.14
 27. *User guide. MIKE 11. A Modelling System for River and Channels* (2012). DHI. Vol. 2.
 28. Ninov, P. et al. (2006). Hydrological calibration scenarios of the HSPF model for the upper Iskar basin. *Conference abstracts XXIII of the Danubian countries on hydrological forecasting and hydrological bases of water management, 28-31 August. Serbia: Belgrade*, p. 59.
 29. Kochelaba, E.I., Okorskij, V.P. & Sosedko, M.N. (1990). Matematicheskoe modelirovanie protsessov formirovaniya polovodnogo stoka na territorii Poles'ya s uchetom otpep'nykh yavleniy [Mathematical modeling of the processes of formation of flood runoff in the territory of Polesie, taking into account thaw phenomena]. *Trudy UkrNIGMI [Proceedings of UkrNIHMI]*, 235, pp. 3-18. (in Russ.)
 30. Sosedko, M.N. (scient.chief). (1988). *Razrabotat' metodiku rascheta i prognoza dozhdevogo i talogo stoka na territorii Kievskogo Poles'ya : Otchyot o NIR. GR № 01870026055 [To develop a methodology for calculating and forecasting rain and snowmelt runoff on the territory of Kyiv Polissya. Research report. GR No. 01870026055]*. UkrNDGMI. Kyiv. (in Russ.)
 31. Khokhlov, V.M., Sirichenko, K.S. & Umanska, O.V. (2017). [Impact of climate change on periods of cold weather in Ukraine]. *Visnyk Odeskoho derzhavnogo ekolohichnoho universytetu [Bulletin of Odessa State Ecological University]*, 22, pp. 39-44. Available at: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vodeu_2017_22_7 (Accessed: 10.09.2022) (in Ukr.)
 32. Ovcharuk, V.A. (2020). *Maksimalnyi stik vesnianoho vodopillia rivnynykh richok Ukrainy [The maximum flow of spring irrigation of lowland rivers of Ukraine]*. Odesa: "Helvetika" Publ. (in Ukr.)
 33. Shkolnyi, Ye.P., Loieva, I.D. & Honcharova, L.D. (1999). *Obrobka ta analiz hidrometeorolohichnoi informatsii [Processing and analysis of hydrometeorological information]*. Kyiv: Ministry of Education of Ukraine. (in Ukr.)
 34. Loboda, N.S. (2010). *Metody statystychnoho analizu u hidrollohichnykh rozrakhunkakh i prohozakh : navchalnyi posibnyk [Methods of statistical analysis in hydrological calculations and forecasts: a study guide]*. Odesa: Ecology. (in Ukr.)

35. Shakirzanova, Zh.R., Boiko, V.M., Hoptsi M.V. et al. (2018). Metod prognostychnoi otsinky kharakterystyk hidrolohichnoho rezhymu richok baseinu Dnipro u vesnianyi period roku [The method of prognostic assessment of the characteristics of the hydrological regime of the rivers of the Dnipro basin in the spring period of the year]. *Ukrains'kij gidrometeorologichnij zhurnal [Ukrainian hydrometeorological journal]*, 22, pp. 80-99. (in Ukr.) <https://doi.org/10.31481/uhmj.22.2018.08>
36. Shakirzanova, Zh.R., Dokus, A.O., Serbova, Z.F. & Shvets, N.M. (2019). Kompleksnyi metod dovhostrokovoho prohozuvannia hidrolohichnykh kharakterystyk vesnianoho vodopillia richok : Problemy hidrolohii, hidrokhimii, hidroekolohii [Complex method of long-term forecasting of hydrological characteristics of spring waterlogging of rivers: Problems of hydrology, hydrochemistry, hydroecology]. Edited by Osadchyi, V.I. Kyiv: Nika Center Publ. (in Ukr.)
37. Ovcharuk, V., Shakirzanova, Zh., Kichuk, N. & Hoptsi, M. (2022). Innovatsiyni kompleksnyi metod imovirnosno-prognostychnoho modeliuвання kharakterystyk vesnianoho vodopillia ta otsinky ekolohichnykh ryzykiv urbolandshafiv baseinu Dnipro v umovakh minlyvosti klimatu. Zelenoblakytina infrastruktura v mistakh postradianskoho prostoru : vyvchennia spadshchyny ta pidkliuchennia do dosvidu krain V4 [Innovative complex method of probabilistic and prognostic modeling of characteristics of spring irrigation and assessment of ecological risks of urban landscapes of the Dnipro basin in conditions of climate variability. Green and blue infrastructure in the cities of the post-Soviet space: study of heritage and connection to the experience of V4 countries]. Edited by N.V. Maksymenko. Kharkiv : Publ. KhNU after V.N. Karazin. (in Ukr.) Available at: <http://eprints.library.odeku.edu.ua/id/eprint/11318/> (Accessed: 15.03.2023) (in Ukr.)
38. Ovcharuk, V. & Gopchenko, E. (2022). Engineer substantiation of estimated characteristics of maximum rivers runoff during floods under climate change. In: Madhav, S. et al (ed.). *Ecological Significance of River Ecosystems*. Elsevier, chapter 18, pp. 351-382. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-85045-2.00018-2>
39. Gopchenko, E.D., Loboda, N.S. & Ovcharuk, V.A. (2014). *Hidrolohichni rozrakhunky [Hydrological calculations]*. Odesa. (in Ukr.)
40. Posobie po opredeleniyu raschetnykh gidrologicheskikh kharakteristik. (1984). [Manual for the determination of calculated hydrological characteristics]. Leningrad: Gidrometeoizdat Publ. (in Russ.)
41. Nastanova z operatyvnoi hidrolohii. (2012). *Prohozy rezhymu vod sushi. hidrolohichne zabezpechennia i obsluhovuvannia [Instruction on operational hydrology. Forecasts of the regime of land waters. Hydrological Support and Maintenance]*. Kyiv. (in Ukr.)
42. Kerivnyi document. (2015). *Otsiniuvannia yakosti metodyky ta tochnosti (spravdzhuvanosti) prohoziv rezhymu poverkhnevyykh vod sushi [Assessment of the quality of the methodology and accuracy (validity) of forecasts of surface land water regime]*. Kyiv. (in Ukr.)
43. Shakirzanova, Zh.R. (2011). [Forecasting the maximum water consumption of spring irrigation in the Dnipro basin using automated software complexes]. *Hidrolohiia, hidrokhimii i hidroekolohii [Hydrology, hydrochemistry and hydroecology]*, 4 (25), pp. 48-55. (in Ukr.)
44. Shakirzanova, Zh.R., Andreievska, H.M. & Boiko V.M. (2012). Dovhostrokovoe prohozuvannia maksimalnykh vytrat vody vesnianykh vodopil richok livoberezhzhia Dnipro (z vykorystanniam prohramnoho kompleksu) [Long-term forecasting of the maximum water consumption of spring weirs of the left bank of the Dnieper (using a software package)]. *Naukovi pratsi Ukrainskoho naukovo-doslidnoho hidrometeorolohichnoho instytutu [Scientific works of the Ukrainian Research Hydrometeorological Institute]*, 263, pp. 89-95. (in Ukr.)
45. Shakirzanova, Zh., (Dokus) Kazakova, A. & Volkov, A. (2017). Territorial long-term forecasting of spring flood characteristics in the modern climatic condition utilizing geographical informational systems. *International Journal of Research In Earth & Environmental Sciences*, April, 7(1), pp. 13-16. Available at: <http://www.ijsk.org/ijrees.html>. (Accessed: 05.02.2023)

APPLICATION OF THE METHOD OF TERRITORIAL LONG-TERM FORECASTS TO DETERMINE THE MAXIMUM WATER DISCHARGE RATES UNDER THE CONDITIONS OF SPRING FLOOD 2022-2023 FORMATION ACROSS THE DESNA BASIN

Zh. R. Shakirzanova¹, I. M. Perevozchikov²,
O. P. Shevchenko¹

¹Odessa State Environmental University,
15, Lvivska St., 65016 Odesa, Ukraine, jannetodessa@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0003-0600-5657>

² Ukrainian hydrometeorological center of the state emergency service of Ukraine
6-B, Zolotovoriiska St., 01030 Kyiv, Ukraine

Despite the conditions of both climate change and long-term trend to decrease of hydrological characteristics of the Ukrainian rivers' spring flood that was established by many authors, the formation of high-water river floods accompanied by rising water levels and release of water to floodplains still remains probable.

Thus, according to the data of the Ukrainian Hydrometeorological Center (UkrHMC) of the State Emergency Service of Ukraine (web: www.meteo.gov.ua), the hydrometeorological

conditions of snowmelt and rain runoff formation during the autumn-winter and spring periods of 2022-2023 across the basins of the Dnipro and Desna rivers and their tributaries were characterized as those having a complex nature. This led to a rise of these rivers' water levels with flooding of floodplains, disruption of transport connections, as well as flooding of populated areas in Kyiv, Chernihiv and other Ukrainian regions.

The purpose of this study is the issues related to determination of natural factors that lead to extreme large-scale spring floods, and long-term forecasting of maximum runoff of spring floods in 2022-2023 across the Desna River basin.

To ensure operational forecasting support and assessment of the spring floods size across the basin of the Desna River and other left tributaries of the Middle Dnieper, the research used a method of territorial long-term forecasts of spring floods maximum runoff. The method takes into account a complex of hydrometeorological factors which, when combined annually, lead to the formation of spring floods of different sizes.

The results of the long-term forecast for maximum water discharge rates during the spring flood in 2022-2023 retrieved from the forecasting computer complex "SEYM" show satisfactory statistical estimates of the forecast for maximum water discharge rates during a spring flood provided that a high pre-flood water content of the rivers during recession of a winter flood is considered. The forecast lead time for maximum water discharge rates of the spring flood in 2022-2023 varied from 20-30 days for small tributaries of the Desna River to two months for the Desna and Seim rivers themselves.

Application of the method of territorial long-term forecasts of characteristics of river spring floods allows spatial monitoring of the rivers' water content provided that forecasting is conducted using the methodology of maximum water discharge rates for any rivers of a certain territory, including those with relation to which there are no observations of their water runoff.

An early warning about a dangerous river water level during winter-spring periods can significantly reduce the scale of negative consequences and ensure achievement of socio-economic and environmental effects.

Keywords: maximum runoff; extreme spring flood; long-term forecasts.

Дата першого подання: 02. 06. 2023

Дата надходження остаточної версії: 21. 06. 2023

Дата публікації статті: 29. 06. 2023