

УДК 556.16.06(282.243.7)

Б. Ф. Христюк

МЕТОДИКА ПРОГНОЗУВАННЯ ХАРАКТЕРНИХ ДЕКАДНИХ РІВНІВ ВОДИ СУДОХІДНОЇ ЧАСТИНИ ДУНАЮ

На основі оперативних даних Українського гідрометеорологічного центру за період 2010-13 рр. про рівні води 58 постів у басейні р. Дунай розроблено методику прогнозування характерних декадних рівнів води судохідної частини р. Дунай. На відміну від усіх попередніх методик, які ґрунтуються на методі прогнозу стоку за даними про запас води в русловій мережі, нами запропоновано використовувати метод відповідних рівнів води.

Ключові слова: рівні води, прогностичні залежності, криві витрат, зарегульованість стоку.

Вступ

Прогнози рівневого режиму на судохідній ділянці р. Дунай необхідні для потреб судноплавних компаній України, оскільки за низьких рівнів води ускладнюється долаття суднами перекатів, а за високих рівнів – прохід під мостами.

У 1957 р. інженер-гідролог Одеського бюро погоди А. М. Болгарін розробив методику прогнозування середніх, мінімальних та максимальних декадних рівнів води р. Дунай. Методику створено на основі даних спостережень за період 1928-1939 рр. Нею передбачено можливість випуску прогнозу для 12 постів, розташованих на ділянці р. Дунай від м. Відень (Австрія) до м. Браїла (Румунія) [1]. У 1960 р. автор оновив прогностичні залежності за даними спостережень 1956-60 рр. [2]. Подальше оновлення цієї методики відбулося в 1987 р. за даними спостережень 1970-1983 рр. [3]. Окрім того, у 1978 р. в Гідрометцентрі СРСР В. М. Мухін розробив альтернативну методику прогнозування характерних рівнів води для 5 постів р. Дунай [4]. Процес випуску прогнозу за цією методикою передбачав автоматизацію у вигляді програми «Дунай» для ВЕОМ-6. В оперативній роботі Дунайської гідрометеорологічної обсерваторії (ДГМО) перевагу було надано методиці А. М. Болгаріна, зважаючи на те, що в ній більше постів, для яких можна випускати прогнози, витрати часу на розрахунки менші, а справджуваність прогнозів не нижча, ніж у разі використання методики В. М. Мухіна. У 2002-04 рр. фахівці УкрНДГМІ створили прогностично-інформаційну систему «Дунай-2», яка прогнозує характерні декадні рівні та витрати води 9 постів р. Дунай [5]. Проте тільки 4 пости з 9 належать до переліку постів, для яких випускають прогнози фахівці ДГМО.

Усі зазначені вище методики створено на

основі методу прогнозу стоку за даними про запас води в русловій мережі й на сьогодні потребують оновлення.

Мета роботи – створити методику прогнозування характерних декадних рівнів води судохідної частини р. Дунай для її подальшого використання в оперативній практиці ДГМО.

Виклад основного матеріалу досліджень

Рівневий режим р. Дунай на окремих ділянках визначається особливостями його живлення. Верхній Дунай характеризується різкими пікоподібними коливаннями рівнів води, максимальними влітку та мінімальними взимку, що обумовлено таненням снігів у Альпах улітку та під час відлиг узимку, а також дощами й зливами переважно в теплий період року.

На Середньому Дунаї паводки, які приходять із Верхнього Дунаю, розпластуються і мають більш плавний вигляд. Притоки Тиса і Сава дещо змінюють режим рівнів води Дунаю. Додаються нові значні паводки, сформовані зливами в Альпах та стійкі хвилі весняної повені завдяки весняному сніготаненню в Карпатах.

Для Нижнього Дунаю характерні плавні коливання рівнів води, обумовлені трансформацією паводків, сформованих на Верхньому та Середньому Дунаї. У дельті Дунаю відбувається швидке зниження паводкових хвиль у результаті розтікання води і заповнення нею заплачних озер, боліт та понижень рельєфу.

Найвищі за рік води можуть спостерігатися в будь-якому місяці року, проте на Верхньому та Середньому Дунаї вони найчастіше настають улітку, а на Нижньому Дунаї – навесні. Найнижчі за рік рівні води спостерігаються в період, коли основне живлення річки відбувається за рахунок підземних вод, зазвичай восени або взимку.

Амплітуда коливання рівнів води змінюється по довжині річки в широких межах. У звужених гірських районах вона досягає 10 м, на рівнинних ділянках з широкою заплавою амплітуда становить 3-5 м, у нижній течії вона зменшується до 1-1,5 м, а на приморських ділянках дельти паводкові хвилі майже непомітні.

На рівневий режим р. Дунай впливають деформація русла, транспортування наносів та льодові явища і, особливо, затори та зажори, а в дельті Дунаю – ще й її трансформаційний потенціал, згінно-нагінні явища та коливання рівня Чорного моря.

Природний рівневий режим сучасного Дунаю значно порушений гідротехнічними роботами як на самій річці, так і на її притоках. На багатьох ділянках р. Дунай відбулося спрямлення русла та побудовано протипаводкові дамби. На р. Дунай споруджено каскад, який складається з 18 гідровузлів. Переважну більшість цих гідровузлів (15 із 18) побудовано на Верхньому Дунаї – на території Німеччини та Австрії. З метою покращення умов судноплавства Дунайська Комісія розробила плани будівництва ще 12 гідровузлів як доповнення до наявних [6-7].

Окрім природних та антропогенних чинників, які ускладнюють прогнозування рівневого режиму судохідної частини р. Дунай, треба також зазначити обмеженість доступу як до оперативних, так і до архівних гідрометеорологічних даних, що обумовлено належністю окремих частин водозбору, а також гідрологічних постів і метеорологічних станцій до різних країн.

Методики прогнозування характерних декадних рівнів води судохідної частини р. Дунай, які розроблено в період з 1957 по 2004 рр., оснований на методі прогнозу стоку за даними про запас води в русловій мережі. Цей метод передбачає підрахунок запасів води в тій частині руслової мережі, з якої вода досягає замикального створу протягом декади. Для такого підрахунку необхідно мати інформацію про витрати води у верхньому та нижньому створах окремих ділянок річки і на притоках ділянок, а також про час руслового добігання на цих ділянках.

Реалізація цього методу на окремих ділянках р. Дунай ускладнюється порушенням природного режиму внаслідок гідротехнічного будівництва та ненадійністю кривих витрат води. Так, на Верхньому Дунаї, де розташовано пости Регенсбург, Хофкірхен, Кіншток та Корнейбург, створено каскад водосховищ. Пост Регенсбург перебуває в підпорі гідровузла Гейслінг, розташованому на відстані 22,5 км нижче за течією. Між постами Регенсбург та Хофкірхен є 2 гідровузли, між по-

стами Хофкірхен та Кіншток – 8 гідровузлів, а між постами Кіншток та Корнейбург – ще 2 гідровузли. Сам пост Корнейбург перебуває в підпорі від гідровузла Фройденау, який розташований на відстані 20 км нижче за течією. Зарегульованість Верхнього Дунаю не дозволяє визначити час руслового добігання за характерними точками графіків коливань рівнів води, оскільки під час проходження паводків скиди всіх гідровузлів каскаду відбуваються узгоджено, а іноді й синхронно. Так, максимальні рівні води на постах Регенсбург (2376,49 км), Хофкірхен (2256,86 км), Кіншток (2015,21 км) та Корнейбург (1941,46 км) під час паводка наприкінці лютого – на початку березня 2010 р. спостерігалися одночасно – 2 березня 2010 р. (рис. 1). Таким чином, переміщення водних мас на ділянці Регенсбург – Корнейбург може бути оцінено як миттєве, тоді як відстань від поста Регенсбург до поста Корнейбург становить 435,03 км, а час добігання на цій ділянці, визначений за швидкістю течії в природних умовах руху води в руслі, становить 4 доби!

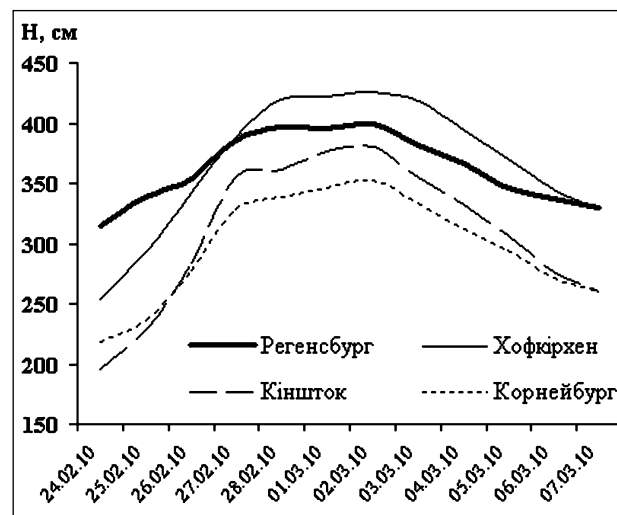


Рис. 1. Сумішені гідрографи паводка на р. Дунай наприкінці лютого – на початку березня 2010 р.

Значну перепону для прогнозування рівневого режиму р. Дунай становлять гідровузли Залізні Ворота I та II, які розташовані на межі Середнього та Нижнього Дунаю. Гідровузол Залізні Ворота I створює підпір 32,0 м, який розповсюджується на відстань 271,6 км, а гідровузол Залізні Ворота I має підпір 12,7 м та розповсюджує його на відстань 79,0 км. Об'єми, початок та тривалість скидів цих гідровузлів завчасно невідомі, що, звичайно, впливає на справджуваність прогнозів рівневого режиму постів, розташованих униз та вверх за течією.

Проблематичним також є використання

кривих витрат для визначення витрат води постів, розташованих як на самій р. Дунай, так і на її основних притоках: рр. Інн, Драва, Тиса, Сава та Велика Морава, що пов'язано з переміщенням руслових форм (гряд) через створи постів (рис. 2 а-г), інтенсивним розмивом рус-

ла (рис. 2 д) або впливом гідротехнічних споруд (рис. 2 е).

Зважаючи на складності визначення як часу добігання, так і витрат води постів р. Дунай і її основних притоків, що ускладнює застосування методу прогнозу стоку за даними про запас води

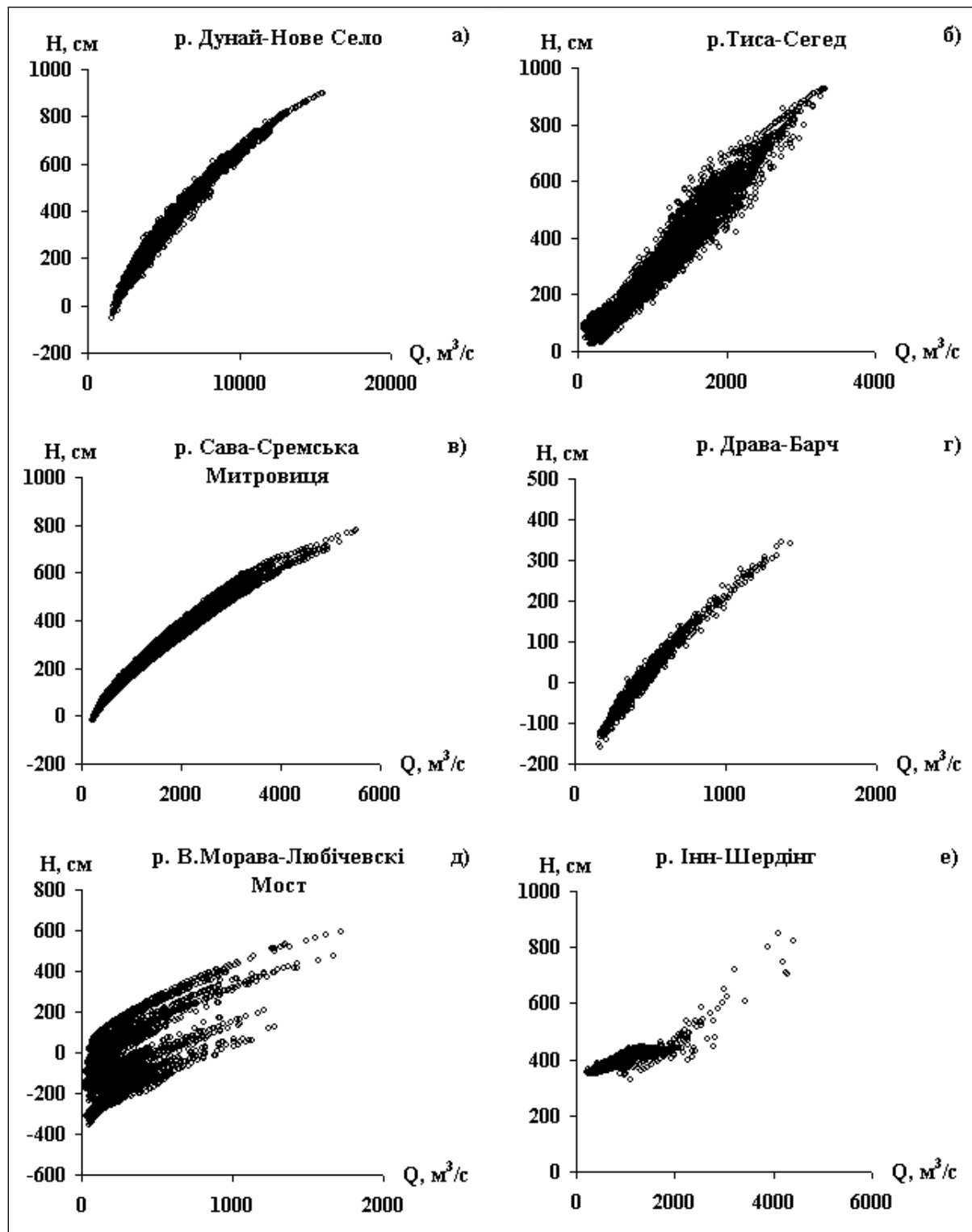


Рис. 2. Криві витрат води, 1980-2004 рр.

Примітка: р. Драва-Барч, 2000, 2003-04 рр.

в русловій мережі, ми запропонували методику прогнозування характерних рівнів води судохідної частини р. Дунай, основу на методі відповідних рівнів води.

Методику розроблено переважно на основі оперативних даних Укргідрометцентру за період 2010-13 рр. про рівні води 58 постів, розташованих у басейні р. Дунай. Ця методика передбачає використання даних про рівні води та їхні прирости за минулу добу для постів (91) у басейні р. Дунай з прогнозними рівнями води завчасністю від 1 до 7 діб (для 14 пунктів) та прогнозами опадів на окремих суббасейнах р. Дунай за температури повітря вище ніж 0 °С завчасністю до 6 діб (для 26 пунктів).

Джерелами вхідних даних є база оперативних даних Українського гідрометеорологічного центру та веб-сайти www.pegelonline.wsv.de (Німеччина), www.ooe.gv.at (Австрія), www.noel.gv.at (Австрія), www.shmu.sk (Словаччина), www.hydroinfo.hu (Угорщина), www.hidmet.gov.rs (Сербія), www.appd-bg.org (Болгарія), www.inhga.ro (Румунія), www.meteo.gov.md (Республіка Молдова), www.meteoinfo.ru (Гідрометцентр РФ).

Для прогнозування середніх рівнів води за декаду ($H_{с.д.}$) запропоновано використовувати формулу:

$$H_{с.д.} = (H_{t+1} + H_{t+2} + \dots + H_{t+i} + \dots + H_{t+n}) / n, \quad (1)$$

де H_{t+i} – прогнозне значення рівня води на i -й день декади; n – тривалість декади, діб.

Прогнозні значення рівня води на i -у добу декади визначаються за залежністю:

$$H_{t+i} = H_t \pm \Delta h_{t+1}^u \dots \pm \Delta h_{t+i}^u, \quad (2)$$

де H_t – рівень води прогнозного поста на дату випуску прогнозу (t); Δh_{t+i}^u – прогнозний добовий приріст рівня води прогнозного поста на дату $t+i$:

$$\Delta h_{t+i}^u = f(\Delta h^{ei}), \quad (3)$$

де Δh^{ei} – добовий приріст рівня води поста, який розташований вище за течією, на дату випуску прогнозу та на відстані, яка відповідає часу добігання i .

$$\Delta h^{ei} = H_t^{ei} - H_{t-1}^{ei}, \quad (4)$$

де H_t^{ei} , H_{t-1}^{ei} – рівні води поста, який розташований вище за течією на відстані, що відповідає часу добігання i на дату випуску прогнозу та на попередню дату.

Максимальний та мінімальний рівень води за декаду визначаються безпосередньо за рядом прогнозних значень на декаду.

Уперше опис методики прогнозування рівнів води Верхнього Дунаю з застосуванням даних про добові прирости рівнів води наведено в 1926 р. в роботі Ф. Розенауера [8]. Цю методику було призначено для прогнозування рівнів води поста Відень залежно від рівня води цього поста на дату випуску прогнозу, від приросту рівня води за минулу добу поста Маутхаузен та від поправок, які враховували боковий притік (рр. Іббс та Піллах) і забір води в обвідний Віденський канал.

Прогнозні добові прирости рівня води, які визначаються за формулою (3), осереднено враховують бокову приточність та трансформацію водного потоку на ділянці річки між верхнім та нижнім постами. Ці залежності є лінійними та мають загальний вигляд:

$$\Delta h_{t+i}^u = a \Delta h_t^{ei} + b, \quad (5)$$

де a – кутовий коефіцієнт, b – постійний параметр.

Як приклад, на рис. 3 наведено залежність для визначення прогнозного добового приросту рівня води поста Богоево від добового приросту рівня води поста Бездан із завчасністю одна доба.

Кутовий коефіцієнт у рівнянні апроксимуючої прямої вказує на те, що на ділянці р. Дунай від поста Бездан до поста Богоево відбувається трансформація добового приросту рівня води на 16 %.

Методика прогнозування характерних декадних рівнів води передбачає випуск прогнозів для

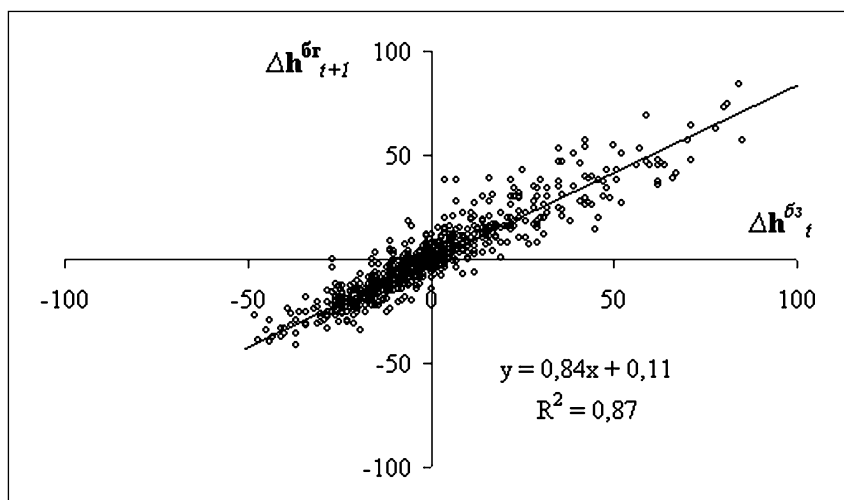


Рис. 3. Залежність для визначення прогнозного добового приросту рівня води поста Богоево ($\Delta h^{\beta r}_{t+1}$) від добового приросту рівня води поста Бездан ($\Delta h^{\beta 3}_t$), 2010-13 рр.

11 постів, які розташовані вздовж судохідної частини р. Дунай (табл. 1).

Таблиця 1
Перелік постів, для яких випускаються прогнози характерних декадних рівнів води

№ з/п	Відстань від гирла, км	Назва гідропоста
1	1646,5	Будапешт
2	1446,8	Мохач
3	1367,3	Богоєво
4	1255,1	Нові Сад
5	493,0	Джурджу
6	300,0	Чернавода
7	170,0	Браїла
8	127,2	Рені
9	93,6*	Ізмаїл
10	47,0*	Кілія
11	18,0*	Вилкове

Примітка: * – відстань по Кілійському, а не по Сулінському рукаву

Фахівці ДГМО також випускають прогнози згідно з указаним переліком. Зважаючи на те, що в окремі місяці року кількість днів у декаді може становити 11 діб, а прогноз характерних декадних рівнів води може випускатися в передостанній день попередньої декади, встановлено залежності для визначення прогнозного приросту рівня води із завчасністю до 12 діб. Окрім того, уздовж судохідної ділянки р. Дунай є значна кількість постів, що дозволяє в окремих випадках визначати прогнозні добові прирости рівнів води необхідної завчасності за даними спостережень не одного, а 2-3 постів, розташованих поруч. Таким чином, загальна кількість залежностей, які задіяно в методиці – 188 [9]. Обсяг статті не дозволяє навести всі залежності, тому як приклад, розглядається пост Богоєво.

Прогнозний пост Богоєво (1367,3 км, Сербія)

Для прогнозування щоденних рівнів води поста Богоєво із завчасністю одна доба запропоновано використовувати дані про добові прирости рівнів води постів Бездан або Мохач, або Бая, розташованих вгору за течією від поста Богоєво на відстані 58,2, 79,6 та 111,4 км відповідно.

Між добовими приростами рівнів води зі зсувом у часі на одну добу встановлено такі залежності:

для постів Бездан (Δh^{β_3}) та Богоєво ($\Delta h^{\beta_2}_{t+1}$):

$$\Delta h^{\beta_2}_{t+1} = 0,84 \Delta h^{\beta_3}_t + 0,11, \quad (6)$$

для постів Мохач (Δh^{mx}_t) та Богоєво ($\Delta h^{\beta_2}_{t+1}$):

$$\Delta h^{\beta_2}_{t+1} = 0,67 \Delta h^{mx}_t + 0,02, \quad (7)$$

для постів Бая ($\Delta h^{\beta_1}_t$) та Богоєво ($\Delta h^{\beta_2}_{t+1}$):

$$\Delta h^{\beta_2}_{t+1} = 0,66 \Delta h^{\beta_1}_t - 0,05. \quad (8)$$

Залежність (7) можна використовувати для визначення $\Delta h^{\beta_2}_{t+1}$ у разі відсутності даних про добовий приріст рівня води поста Бездан, а залежність (8) – у разі відсутності даних про добові прирости рівнів води постів Бездан та Мохач.

Прогнозування щоденних рівнів води для поста Богоєво ($H^{\beta_2}_{t+1}$) із завчасністю одна доба запропоновано виконувати за залежністю:

$$H^{\beta_2}_{t+1} = H^{\beta_2}_t \pm \Delta h^{\beta_2}_{t+1}. \quad (9)$$

Для прогнозування щоденних рівнів води поста Богоєво з завчасністю дві доби запропоновано використовувати дані про добові прирости рівнів води постів Пакш або Дунафельдвар, або Дунауйварош, які розташовані вгору за течією від поста Богоєво на відстані 164,0, 193,3 та 212,7 км відповідно.

Між добовими приростами рівнів води зі зсувом у часі на дві доби встановлено такі залежності:

для постів Пакш (Δh^{nk}_t) та Богоєво ($\Delta h^{\beta_2}_{t+2}$):

$$\Delta h^{\beta_2}_{t+2} = 0,62 \Delta h^{nk}_t + 0,50, \quad (10)$$

для постів Дунафельдвар ($\Delta h^{\delta\phi}_t$) та Богоєво ($\Delta h^{\beta_2}_{t+2}$):

$$\Delta h^{\beta_2}_{t+2} = 0,62 \Delta h^{\delta\phi}_t + 0,27, \quad (11)$$

для постів Дунауйварош ($\Delta h^{\delta u}_t$) та Богоєво ($\Delta h^{\beta_2}_{t+2}$):

$$\Delta h^{\beta_2}_{t+2} = 0,67 \Delta h^{\delta u}_t - 0,01. \quad (12)$$

Залежність (11) можна використовувати для визначення $\Delta h^{\beta_2}_{t+2}$ у разі відсутності даних про добовий приріст рівня води поста Пакш, а залежність (12) – у разі відсутності даних про добові прирости рівнів води постів Пакш та Дунафельдвар.

Прогнозування щоденних рівнів води поста Богоєво ($H^{\beta_2}_{t+2}$) із завчасністю дві доби запропоновано виконувати за залежністю:

$$H^{\beta_2}_{t+2} = H^{\beta_2}_t \pm \Delta h^{\beta_2}_{t+1} \pm \Delta h^{\beta_2}_{t+2}. \quad (13)$$

Для прогнозування щоденних рівнів води поста Богоєво з завчасністю три доби запропоновано використовувати дані про добові прирости рівнів води постів Будапешт або Вац, або Надьмарош, які розташовані вгору за течією від поста Богоєво на відстані 279,2, 310,7 та 327,3 км відповідно.

Між добовими приростами рівнів води зі зсувом у часі на три доби встановлено такі залежності:

для постів Надьмарош (Δh^{nu}) та Богоево ($\Delta h^{\delta z}_{t+3}$):

$$\Delta h^{\delta z}_{t+3} = 0,75 \Delta h^{nu}_t - 0,37, \quad (14)$$

для постів Вац (Δh^{su}) та Богоево ($\Delta h^{\delta z}_{t+3}$):

$$\Delta h^{\delta z}_{t+3} = 0,70 \Delta h^{su}_t - 0,34, \quad (15)$$

для постів Будапешт (Δh^{sm}) та Богоево ($\Delta h^{\delta z}_{t+3}$):

$$\Delta h^{\delta z}_{t+3} = 0,49 \Delta h^{sm}_t - 0,01. \quad (16)$$

Залежність (15) можна використовувати для визначення $\Delta h^{\delta z}_{t+3}$ у разі відсутності даних про добовий приріст рівня води поста Надьмарош, а залежність (16) – у разі відсутності даних про добові прирости рівнів води постів Надьмарош та Вац.

Прогнозування щоденних рівнів води поста Богоево ($H^{\delta z}_{t+3}$) із завчасністю три доби запропоновано виконувати за залежністю:

$$H^{\delta z}_{t+3} = H^{\delta z}_t \pm \Delta h^{\delta z}_{t+1} \pm \Delta h^{\delta z}_{t+2} \pm \Delta h^{\delta z}_{t+3}. \quad (17)$$

Для прогнозування щоденних рівнів води поста Богоево з завчасністю чотири доби запропоновано використовувати дані про добові прирости рівнів води постів Комарно або Генью, розташованих уверх за течією від поста Богоево на відстані 401,0 та 424,0 км відповідно.

Між добовими приростами рівнів води зі зсувом у часі на чотири доби встановлено такі залежності:

для постів Генью (Δh^{zn}) та Богоево ($\Delta h^{\delta z}_{t+4}$):

$$\Delta h^{\delta z}_{t+4} = 0,48 \Delta h^{zn}_t + 0,10, \quad (18)$$

для постів Комарно (Δh^{km}) та Богоево ($\Delta h^{\delta z}_{t+4}$):

$$\Delta h^{\delta z}_{t+4} = 0,51 \Delta h^{km}_t + 0,13. \quad (19)$$

Залежність (18) можна використовувати для визначення $\Delta h^{\delta z}_{t+4}$ у разі відсутності даних про добовий приріст рівня води поста Генью.

Прогнозування щоденних рівнів води поста Богоево ($H^{\delta z}_{t+4}$) із завчасністю чотири доби запропоновано виконувати за залежністю:

$$H^{\delta z}_{t+4} = H^{\delta z}_t \pm \Delta h^{\delta z}_{t+1} \pm \Delta h^{\delta z}_{t+2} \pm \Delta h^{\delta z}_{t+3} \pm \Delta h^{\delta z}_{t+4}. \quad (20)$$

Для прогнозування щоденних рівнів води поста Богоево із завчасністю п'ять днів запропоновано використовувати дані про добові прирости рівнів води постів Девін або Кіншток, які розташовані вверх за течією від поста Богоево на відстані 512,5 та 647,9 км відповідно.

Між добовими приростами рівнів води зі

зсувом у часі на п'ять днів встановлено такі залежності:

для постів Девін ($\Delta h^{\delta e}$) та Богоево ($\Delta h^{\delta z}_{t+5}$):

$$\Delta h^{\delta z}_{t+5} = 0,33 \Delta h^{\delta e}_t - 0,10, \quad (21)$$

для постів Кіншток (Δh^{ku}) та Богоево ($\Delta h^{\delta z}_{t+5}$):

$$\Delta h^{\delta z}_{t+5} = 0,27 \Delta h^{ku}_t - 0,06. \quad (22)$$

Залежність (22) можна використовувати для визначення $\Delta h^{\delta z}_{t+5}$ у разі відсутності даних про добовий приріст рівня води поста Девін.

Прогнозування щоденних рівнів води поста Богоево ($H^{\delta z}_{t+5}$) із завчасністю п'ять днів запропоновано виконувати за залежністю:

$$H^{\delta z}_{t+5} = H^{\delta z}_t \pm \Delta h^{\delta z}_{t+1} \pm \Delta h^{\delta z}_{t+2} \pm \Delta h^{\delta z}_{t+3} \pm \Delta h^{\delta z}_{t+4} \pm \Delta h^{\delta z}_{t+5}. \quad (23)$$

Для прогнозування щоденних рівнів води поста Богоево із завчасністю 6-11 днів запропоновано використовувати прогноз опадів на шість днів за температури повітря вище ніж 0 °C, який наведено на веб-сайті www.hydroinfo.hu (Угорщина).

Добовий приріст рівня води поста Богоево на шосту добу запропоновано визначати залежно від середньозважених опадів, які випадають у басейні р. Дунай до м. Відень зі зсувом у часі на шість днів:

$$\Delta h^{\delta z}_{t+6} = 0,27((0,46 p^1_t + 0,25 p^2_t + 0,12 p^3_t + 0,17 p^4_t) - 1,57 - 8,8), \quad (24)$$

де p^1_t – добова сума опадів у басейні р. Дунай до м. Пассау (1-ша доба); p^2_t – добова сума опадів у басейні р. Інн (1-ша доба); p^3_t – добова сума опадів у басейнах р. Еннс і р. Траун (1-ша доба); p^4_t – добова сума опадів у басейні р. Дунай від м. Пассау до м. Відень (1-ша доба).

Прогнозування щоденних рівнів води для поста Богоево ($H^{\delta z}_{t+6}$) із завчасністю шість днів запропоновано виконувати за залежністю:

$$H^{\delta z}_{t+6} = H^{\delta z}_t \pm \Delta h^{\delta z}_{t+1} \pm \Delta h^{\delta z}_{t+2} \pm \Delta h^{\delta z}_{t+3} \pm \Delta h^{\delta z}_{t+4} \pm \Delta h^{\delta z}_{t+5} \pm \Delta h^{\delta z}_{t+6}. \quad (25)$$

Аналогічно виконуються розрахунки добових приростів рівнів води та рівні води на сьому-одинадцятую добу. Зокрема, добовий приріст рівня води поста Богоево на одинадцятую добу ($\Delta h^{\delta z}_{t+11}$) визначається за залежністю:

$$\Delta h^{\delta z}_{t+11} = 0,27(0,46 p^1_{t+5} + 0,25 p^2_{t+5} + 0,12 p^3_{t+5} + 0,17 p^4_{t+5}) - 1,57 - 8,8, \quad (26)$$

де p^1_{t+5} – добова сума опадів у басейні р. Дунай до м. Пассау (6-та доба); p^2_{t+5} – добова сума опадів у басейні р. Інн (6-та доба); p^3_{t+5} – добова сума опадів у басейнах р. Еннс і р. Траун (6-та доба);

p^4_{t+5} – добова сума опадів у басейні р. Дунай від м. Пассау до м. Відень (6-та доба).

Прогнозування щоденних рівнів води для поста Богоево ($H^{\text{бг}}_{t+11}$) із завчасністю одинадцять діб запропоновано виконувати за залежністю:

$$H^{\text{бг}}_{t+11} = H^{\text{бг}}_t \pm \Delta h^{\text{бг}}_{t+1} \pm \Delta h^{\text{бг}}_{t+2} \pm \Delta h^{\text{бг}}_{t+9} \pm \Delta h^{\text{бг}}_{t+10} \pm \Delta h^{\text{бг}}_{t+11}. \quad (27)$$

Прогнозування щоденних рівнів води для поста Богоево із завчасністю 12 діб можливе лише за наявності довгострокового прогнозу опадів у басейні р. Дунай.

Під час випуску прогнозу середніх за декаду рівнів води поста Богоево може бути врахованим прогноз рівнів води на чотири доби, який наведено на веб-сайті www.hidmet.gov.rs (Сербія).

Методику прогнозування характерних декадних рівнів води застосовано в одному з трьох блоків комп'ютерної програми «Аналітично-експертна система прогнозування рівнів води судохідного Дунаю «Істер» [10]. Програма «Істер» є інтерактивною. Вона дозволяє досвідченому користувачу втручатися в її роботу та вносити необхідні корективи. Такий підхід пов'язаний з тим, що за відсутності необхідної архівної інформації програма не враховує бокову приточність р. Дунай та згінно-нагінні явища в дельті Дунаю.

Відсутність архівних даних про добові суми опадів на окремих суббасейнах р. Дунай та рівні води значної кількості постів, задіяних у методиці, а також численні пропуски в наявних масивах оперативних даних про рівні води решти постів, унеможливають виконання оцінки якості методики. Доцільність використання цієї методики може бути встановлено після її випробувань в оперативній діяльності ДГМО.

Висновки та перспективи подальших досліджень

1. Значна зарегульованість та нестійкість кривих витрат води постів, розташованих на р. Дунай та на її основних притоках, унеможливають використання методу прогнозу стоку за даними про запас води в русловій мережі.
2. Запропоновано методику для прогнозування характерних декадних рівнів води судохідної частини р. Дунай, оснований на методі відповідних рівнів води.
3. Подальше накопичення даних про рівні води та добові суми опадів у басейні р. Дунай дозволить удосконалити прогностичні залежності методики, а випробування в оперативній діяльності ДГМО – оцінити доцільність її використання.

* *

1. *Болгарин А. М.* Методика прогноза средних, минимальных и максимальных декадных уровней воды р. Дунай. Отчет / Одесское бюро погоды. – О. – 1957.
2. *Болгарин А. М.* Пояснительная записка к уточнению графических зависимостей для предсказания наименьших, средних и наибольших за декаду навигационных уровней воды р. Дунай. Отчет / Одесское бюро погоды. – О. – 1960. – 22 с.
3. Методическая записка «Уточнение методики прогнозирования декадных уровней воды Среднего Дуная». Заключительный отчет / ДГМО. – Измаил. – 1987. – 302 с.
4. *Мухин В. М.* Методическая записка «Метод прогноза средних, высших и низших уровней Дуная с заблаговременностью от 10 до 20 суток». Отчет / Гидрометцентр СССР. – М., 1978. – 68 с.
5. *Сусідко М. М., Щербак А. В.* Система безперервного прогнозування десятиденних витрат і рівнів води на річкових ділянках Дунаю із завчасністю 10-30 діб // Наук. пр. УкрНДГМІ. – 2002. – Вип. 250. – С. 179-187.
6. Дунай и его бассейн. Гидрологическая монография. Текст. – Л.: Гидрометеиздат, 1989. – Ч.1. – 396 с.
7. Дунайська комісія / www.danubecommission.org.
8. *Rosenauer F.* Die Wasserstandsvorhersage für die österreichische Donauaustrecke // Wasser wirtsch. – 1926. – № 8.
9. Розробка автоматизованої системи прогнозування рівнів води на судохідній частині р. Дунай. Звіт про НДР / УкрГМІ. – № д.р.0112U004678. – К. – 2013. – 211 с.
10. *Христюк Б.Ф.* Аналітично-експертна система прогнозування рівнів води судохідного Дунаю «Істер» // Наук. пр. УкрГМІ. – 2014. – Вип. 264.
11. Руководство по гидрологическим прогнозам. Вып. 1. Долгосрочные прогнозы элементов водного режима рек и водохранилищ. – Л.: Гидрометеиздат. – 1989. – 358 с.
12. Руководство по гидрологическим прогнозам. Вып. 2. Краткосрочный прогноз расхода и уровня воды на реках. – Л.: Гидрометеиздат. – 1989. – 246 с.
13. Настанова з оперативної гідрології. Прогнози режиму вод суші. Гідрологічне забезпечення і обслуговування. – К.: ПП „Верлан”. – 2012. – 120 с.

*Український науково-дослідний
гідрометеорологічний інститут, Київ*

Б.Ф. Христюк

Методика прогнозирования характерных декадных уровней воды судоходной части Дуная

На основе оперативных данных Укргидрометцентра за период 2010-13 гг. об уровнях воды 58 постов в бассейне р. Дунай разработано методику прогнозирования характерных декадных уровней воды судоходной части р. Дунай. В отличие от всех предыдущих методик, которые были основаны на методе прогноза стока по

данным о запасе воды в русловой сети, мы предложили использовать метод соответственных уровней воды.

Ключевые слова: уровни воды, прогностические зависимости, кривые расходов, зарегулированность стока.

B.F. Khrystyuk

The technique of the forecasting of the characteristic ten-day water levels of the navigable part of Danube River

On the basis of operational data of the Ukrainian Hydrometeorological Center for the period 2010-13 about the water levels of 58 water-gauges in the Danube River basin the technique of the forecasting of the characteristic ten-day water levels of the navigable part of Danube River was developed. Unlike all previous techniques, which were based on the forecast method of runoff on the data about the water storage in the river-bed network, we proposed to use the method of corresponding water levels.

Keywords: water levels, forecasting dependences, gauge-discharge curves, regulation of runoff.

УДК 519.237.8+556:[166; 161]

Є.В. Василенко

ПРОСТОРОВА СТРУКТУРА ЧИННИКІВ ФОРМУВАННЯ ВЕСНЯНОГО ВОДОПІЛЛЯ В БАСЕЙНІ Р. ПРИП'ЯТЬ (У МЕЖАХ УКРАЇНИ)

За допомогою процедури кластеризації виконано районування території басейну р. Прип'ять (у межах України) за умовами формування весняного водопілля. Виділено чотири однорідні райони: перший охоплює верхів'я Прип'яті, басейни річок Турія і Стохід, другий – середню та нижню течії річок Стир, Горинь та Случ в межах Поліської низовини, третій – басейни річок Льва, Уборть, Уж, четвертий – верхів'я річок Стир, Горинь і Случ у межах Волино-Подільської височини.

Ключові слова: весняне водопілля, кластерний аналіз, предиктор, гідрологічний район.

Вступ

Питання застосування принципів гідрологічного районування для класифікації річкових басейнів за групами на основі виявлених найсуттєвіших ознак актуальне в науковому та прикладному аспектах. Гідрологічне районування дозволяє проаналізувати просторову структуру коливань гідрологічних характеристик та гідрометеорологічних чинників, що їх зумовлюють, надає можливість на основі застосування методу аналогії визначити гідрологічні характеристики для річкових басейнів, де відсутні дані спостережень. Це зумовлює широке застосування принципів гідрологічного районування в практиці гідрологічних розрахунків та прогнозів.

Значна кількість наукових праць присвячена дослідженню класифікації річок та гідрологічного районування. Одним із перших учених, який почав ґрунтовно розробляти цю проблему на основі підходів, що застосовуються в ландшафтній географії, був П.С. Кузін [8]. Надалі цей напрям досліджень було розвинуто численними авторами, наприклад [1, 5, 9, 12].

Протягом останніх 10-15 років поруч з ландшафтно-гідрологічними методами районування стали широко застосовуватися методи районування, що базуються на багатомірному статистичному аналізі, зокрема кластерний аналіз.

Описання наукових засад кластерного аналізу можна знайти в багатьох публікаціях, зокрема в роботі [7]. Завдяки своїй відносній простоті, наочності, можливості використання великих об'ємів інформації з подальшим її відбором, а також змістовної інтерпретації результатів кластерний аналіз широко застосовується в економічних, соціальних та природничих науках, зокрема, в гідрологічних дослідженнях.

Кластерний аналіз для районування річок України за певними ознаками (гідрологічними характеристиками) використано багатьма науковцями: О.Г. Ободовським – за характером проходження руслоформувальних витрат води [13], В.І. Вишневським – за умовами формування і характеристиками паводків [3], дослідниками з Одеського державного екологічного університету – за характером коливань річного стоку на