

УДК 556.16.06:556.166

Шакірзанова Ж.Р.,
доктор географічних наук, професор, завідувач кафедри гідрології суші
Одеський державний екологічний університет

Докус А.О.,
аспірант III року навчання,
молодший науковий співробітник науково-дослідної частини
Одеський державний екологічний університет

Романова Є.О.,
аспірант II року навчання, інженер 1 категорії
*Басейнове управління водних ресурсів річок
Причорномор'я та Нижнього Дунаю*

Ємельянова К.Б.,
аспірант I року навчання, інженер 1 категорії
*Басейнове управління водних ресурсів річок
Причорномор'я та Нижнього Дунаю*

РОЗРАХУНКОВІ ХАРАКТЕРИСТИКИ МАКСИМАЛЬНОГО СТОКУ ВЕСНЯНОГО ВОДОПІЛЛЯ РІЧОК ПІВДНЯ УКРАЇНИ

У статті представлено сучасний підхід прогнозування та розрахунків характеристик максимального стоку весняного водопілля, картографічного узагальнення гідрометеорологічних характеристик з метою надання завчасних попереджень розвитку катастрофічних водопіль та запобігання надзвичайним ситуаціям, зокрема зменшенням руйнівних наслідків від катастрофічних повеней, забезпечення безаварійного пропуску льодоходу та паводкових вод.

Для оперативної та спрощеної роботи розроблено алгоритм дій використання запропонованого підходу – територіального методу довгострокового прогнозування характеристик максимального стоку весняного водопілля рівнинних річок півдня України (на прикладі річок басейну Південного Бугу, річок території північно-західної частини Причорноморської низовини, Придунайського регіону та Нижнього Подніпров'я).

Ключові слова: максимальний стік, весняне водопілля, розрахункові характеристики, довгострокове прогнозування, територіальний метод.

В статье представлен современный подход прогнозирования и расчетов характеристик максимального стока весеннего половодья, картографического обобщения гидрометеорологических характеристик с целью предоставления заблаговременных предупреждений развития катастрофических половодий и предотвращения чрезвычайных ситуаций, в частности уменьшение разрушительных последствий от катастрофических наводнений, обеспечения безаварийного пропуска льодохода и паводковых вод.

Для оперативной и упрощенной работы разработан алгоритм действий использования предложенного подхода – территориального метода долгосрочного прогнозирования характеристик максимального стока весеннего половодья равнинных рек юга Украины (на примере рек бассейна Южного Буга, рек территории северо-западной части Причерноморской низменности, Придунайского региона и Нижнего Поднепровья).

Ключевые слова: максимальный сток, весеннее половодье, расчетные характеристики, долгосрочное прогнозирование, территориальный метод.

Shakirzanova Zh.R., Dokus A.A., Romanova Ye.A., Yemelianova K.B. ESTIMATED CHARACTERISTICS OF THE MAXIMUM RUNOFF OF SPRING FLOOD OF THE RIVERS IN THE SOUTH OF UKRAINE

The article presents a modern approach to forecasting and calculating the characteristics of the maximum flow of spring flood, cartographic synthesis of hydro-meteorological characteristics in order to provide early warnings of catastrophic floods and prevent of emergencies, in particular, reducing the devastating effects of catastrophic flooding, ensuring accident-free ice drift and floodwater.

For operational and simplified work, an action algorithm of using the proposed approach has been developed - a territorial method of long-term forecasting of the characteristics of the maximum runoff



of spring floods of lowland rivers in the south of Ukraine (on the example of the rivers of the Pivdenny Buh basin, rivers in the north-western part of the Black Sea Lowland, the Danube region and the Lower Dnieper region).

The method is based on the previous qualitative forecast of the type of river water content in the spring period of the year using discriminant analysis and the establishment of expected characteristics first in the form of their modular coefficients (for their spatial generalization), and then the quantitative values of runoff depths and maximum water discharge. The latter is achieved on through the scientific basis of the hydrological calculation of the basic parameters of the forecast scheme - average long-time annual runoff depths and maximum water discharge of spring water.

In addition, when establishing the average long-time annual runoff characteristics in the forecast scheme, it is proposed to introduce regional corrective factors that take into account changes in the water content of the spring flood in the rivers of the considered territory with a pronounced declining trend in recent years.

Prognostic map-diagrams built in the operational mode of forecasting gave an opportunity to estimate the size of the water flood immediately on a large part of the south of Ukraine, to carry out an analysis of the hydrometeorological situation in the basins and the region as a whole, to identify the probabilistic characteristics of the current year's flood.

Key words: maximum runoff, spring flood, calculated characteristics, long-term forecasting, territorial method.

Постановка проблеми. Людство ще з давніх часів використовує водні об'єкти як джерело питної води, зручні шляхи сполучення, місця для вилову риби, меліорації, рекреації тощо. Найдавніші цивілізації світу виникли і розвивалися в річкових долинах, але вода іноді ставала загрозою для функціонування населення, особливо при проходженні катастрофічних повеней. Відомі згадки про такі катастрофічні повені, як на р. Хуанхе 2297 р. до н.е. та на р. Ніл, які були зафіксовані близько 3 тис. років тому. При цьому спостерігались наслідки, що тягли за собою людські жертви та руйнування поселень [1, с. 299].

Відомості про стародавні культури свідчать, що гідрологічна інформація мала життєвоважливе значення. Вже тисячі років тому в Єгипті, Месопотамії, Китаї були збудовані великі гідротехнічні споруди та меліоративні системи.

В наш час перенаселення планети та урбанізації питання забезпечення та управління водними ресурсами є вкрай актуальною проблемою, а в останні роки і життєвоформуючою задачею. Зважаючи на відкритий доступ до сучасних технологій, люди не навчилися приборкувати стихію, про що свідчать оцінки Європейської економічної комісії ООН [2]. За їх висновками, повені є лідируючими стихійними лихами, щорічний збиток від яких в середньому становить 1% від ВВП країни. Тільки за період 2000–2010 р. від повені постраждали більше 2 млн. жителів Східної Європи. В Україні щорічна сума збитку оцінюється в більш ніж 550 млн. доларів США.

Для території рівнинних річок європейських країн (у тому числі рівнинних річок півдня України) спостерігаються два види повеней, що можуть нести за собою гідрологічні ризики різного характеру, – це дощові паводки (зазвичай осінні та весняні) та весняні водопілля.

У роботі авторами досліджено максимальний стік весняного водопілля, оскільки він є переважно багатоводною фазою водного режиму рівнинних річок України і формує значний об'єм річного стоку – 50–60% річного, досягаючи в окремі роки 95% (для невеликих річок південної частини України).

За даними Українського гідрометеорологічного центру Державної служби України з надзвичайних ситуацій (УкрГМЦ), на території України протягом інструментального періоду спостережень в окремі роки на різних рівнинних річках країни під час проходження весняних водопіль було зафіксовано визначні підйоми рівнів води (1924, 1929, 1931, 1932, 1937, 1940, 1941, 1942, 1947, 1950, 1953, 1956, 1958, 1960, 1962, 1963, 1966, 1968, 1970, 1971, 1976, 1977–1980, 1985, 1986, 1988, 1994, 1996, 1998, 1999 рр.).

Так, наприклад у 1931 році під час весняного водопілля було затоплено величезну територію від м. Могильова (Білорусь) на півночі до м. Запоріжжя (Україна) – на півдні, та у 1970 році весняне водопілля стало видатним за багатоводністю в басейні Дніпра та його основних притоках – рр. Десна та Прип'ять. За даними авторів [3, с. 314–319, 4, с. 51–67, 5, с. 30–34], за останні десятиріччя клімат

території України (у тому числі досліджуваної території) характеризується недостатньою вологістю з м'якими зимами і нестійким сніговим покривом, проте в окремі роки (2003, 2006, 2010, 2017) зафіксовані проходження небезпечних весняних повеней на деяких рівнинних річках України [6, с. 48–59].

Сьогодні гідрологічні розрахунки характеристик максимального стоку весняного водопілля, у тому числі рідкісної ймовірності перевищення (наприклад, 1%-ої забезпеченості, тобто повторюваністю 1 раз на 100 років [7, с. 44–56]), та поточне щорічне прогнозування гідрологічних характеристик водопіль є вкрай важливою задачею для забезпечення державного управління водними ресурсами, реалізації державної політики у сфері використання та відтворення поверхневих вод, забезпечення потреб населення і галузей економіки водними ресурсами тощо [8].

Стосовно гідрологічних розрахунків, то вони є вкрай важливими для побудови та експлуатації різного роду гідротехнічних споруд, прогнози ж забезпечують їх подальше раціональне використання і направлені на попередження негативних наслідків від проходження екстремальних повеней, які можуть бути зумовлені бурхливим таненням снігів, зажорами, заторами на іншим. Авторами роботи пропонується до використання метод територіальних довгострокових прогнозів характеристик максимального стоку весняного водопілля, який включає сучасні статистичні методи обробки та узагальнення гідрометеорологічних даних, наукових підходів до гідрологічних розрахунків характеристик стоку (при встановленні базових параметрів прогностичної схеми), картографічне представлення прогностичних величин. Метод дозволяє попередити виникнення можливого катастрофічного водопілля за 15–90 діб до настання явища, надати кількісну просторову оцінку стокових величин весняного водопілля в цілому для великих регіонів, включаючи річки, що недостатньо вивчені в гідрологічному відношенні (якими є переважна більшість річок досліджуваної території північно-західного Причорномор'я і Придунав'я) [6, с. 79–95].

Метою роботи є територіальне довгострокове прогнозування на основі наукового

методу характеристик максимального стоку весняного водопілля (максимальних витрат води, шарів стоку), картографічне представлення очікуваних модульних коефіцієнтів максимального стоку та їх ймовірнісних оцінок для річок півдня України на прикладі весняного водопілля 2017–2018 р.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Основними рисами сучасних методів гідрологічного прогнозування стоку річок є моделюючі комплекси, які дозволяють математично описувати випадкові зміни метеорологічних впливів на річковий водозбір, зокрема на стокові процеси у динаміці їх розвитку у часі, а також створення просторових моделей прогнозування і представлення прогностичної інформації у картографічному вигляді. Наявність ЕОМ і розвиток відповідних чисельних методів надають можливості гідрологам використовувати сучасні розрахункові методи та виконувати складні багатоваріантні обчислення з використанням великої кількості даних. Моделювання річкового стоку стає важливим елементом під час планування та управління системами водопостачання та контролю, а також під час надання річкових прогнозів і прогнозів служби попередження Всесвітньої метеорологічної організації (ВМО) [9, с. 551–576].

Теоретичні й експериментальні дослідження з питань формування стоку річок (дощового і тало-дощового) та його чинників протягом тривалого часу послужили методичною основою для створення різних математичних моделей по розрахунках і прогнозах річкового стоку. Ці моделі зазвичай належать до детерміністичних (передбачають однозначний зв'язок між вхідними і вихідними даними) із зосередженими параметрами (класу концептуальних). Вони використовуються здебільшого для короткострокових прогнозів гідрографів весняного водопілля і дощових паводків – для рівнинних (моделі Гідрометцентру СРСР, В.І. Кореня і В.А. Бельчикова (в подальшому реалізована й для річок України В.П. Водоласковим) та гірських (модель Ю.М. Денисова та інших) річок [9, с. 554, 10, с. 240–271]. Для розрахунку і прогнозу об'єму весняного водопілля рівнинних річок розроблені і використовуються моделі Ю.Б. Виноградова [11, с. 3–41] і М.М. Соседка [12, с. 3–18] – прогностичний



комплекс «СЛОЙ». На цей час у сучасній оперативній практиці гідрологічного прогнозування в Українському Гідрометцентрі ДСНС України (УкрГМЦ) для гірських річок використовуються науково-методичні розробки Українського гідрометеорологічного інституту ДСНС України і НАН України (УкрГМІ), які об'єднані в єдину систему у вигляді прогнозно-моделюючих комплексів (за видами прогнозів і групами річкових басейнів): «Тиса», «Дністер», «Прут», комплекси «ДОЩ-3», «СЛОЙ-3», з програмним забезпеченням, реалізованим на персональному комп'ютері (автори М.М. Сусідко, О.І. Лук'янець) [13, с. 17–26].

Найбільш фундаментальною з сучасних робіт щодо математичного моделювання для прогнозу талого та дощового стоку річок є робота Л.С. Кучмента [14, 394 с.]. Автором показана можливість побудови ансамблевих (складених за різними методиками в одну і ту ж дату прогнозу) довгострокових прогнозів об'єму та максимальної витрати води весняного стоку за допомогою фізико-математичного і динаміко-стохастичного моделювання з урахуванням антропогенного впливу на формування річкового стоку.

В Одеському державному екологічному університеті обґрунтований науковий метод територіального довгострокового прогнозування максимальних витрат води та шарів стоку весняного водопілля рівнинних річок, строків проходження водопіль [6, с. 79–95, 15, с. 183–191, 16, с. 25–33, 17, с. 13–16, 18, с. 406–413]. Метод прогнозу заснований на попередньому встановленні типу або діагнозі водності майбутньої весни, отриманні за регіональними залежностями прогнозних величин, їх представлення у картографічному вигляді.

За кордоном, у тому числі в практиці ВМО [9, с. 556–568], розроблені і використовуються математичні моделі з зосередженими параметрами для прогнозування водного режиму річок (гідрографів стоку у замикаючому створі річок з різною деталізацією процесів стокоутворення), наприклад: Стенфордська (автори Н.Г. Крауфорд і Р.К. Лінслей); Д. Доуді і О'Доннела, Шеньси, Д.Є. Неша та ін.; Сакраменто (США); резервуарна модель (танк-модель, Токіо, Японія).

Гідродинамічні моделі (моделі вищого рівня) є моделями з розподіленими параметрами, які засновані на рівняннях математичної фізики і гідродинаміки, враховують в явному вигляді просторову нерівномірність стокоформуючих чинників і тому потребують для ефективного використання достатньо різноманітної інформації, яка наразі часто є відсутньою [9, с. 561–564]. Серед розподілених моделей найбільш відомими є Європейська гідрологічна система (SHE) [19, с. 45–59], DHSWM (Distributed Hydrology Soils and Vegetation Model, розробка американських вчених університету в Сієтлі – основні автори Вігмоста і Леттенмайер) [20, с. 1665–1679], а також модель Датського гідравлічного інституту «Майк-11», в яку входить модель опади-стік NAM, гідродинамічна модель MIKE11 DHI [21, с. 1–15] та ін. Прикладом розробки спеціалізованих ГІС-технологій обробки даних та представлення водозбору є технологія, застосована у розподіленій фізично обґрунтованій гідрологічній моделі річкового стоку ТОПКАПІ-ІПММС (Інституту проблем математичних машин і систем НАН України, автори М.Й. Железняк, О.В. Бойко, 2012) [22, с. 149–160], яка базується на використанні рівняння «кінематичної хвилі» для опису динаміки процесів стоку. Але більшість прогностичних моделей стоку прив'язана до окремих гідрологічних створів річок, що не дозволяє їх використовувати для невивчених у гідрологічному відношенні річок, тобто за відсутності часових стокових рядів спостережень в створах, а також не дають можливість здійснювати просторовий аналіз гідрологічних стокових характеристик в межах великих річкових басейнів або географічних регіонів.

Об'єкт дослідження і вихідні матеріали. Об'єктом дослідження є максимальний стік весняного водопілля рівнинних річок півдня України (річок басейну Південного Бугу, території північно-західної частини Причорноморської низовини (включаючи невеликі річки Придунайського регіону) та Нижнього Подніпров'я.

Усі річки досліджуваної території розташовані в басейні Чорного моря. Річкові водозбори охоплюють різні географічні зони та гідрологічні райони, у зв'язку з чим умови формування весняних водопіль можуть розрізнятися

як для окремих басейнів, так і у межах одного річкового басейну. Більша частина розглядуваної території займає степову зону (Причорноморська низовина) і лише частина території басейну Південного Бугу знаходиться в лісостеповій географічній зоні України.

Характер водного режиму рівнинних річок півдня України визначається кліматичними, гідрогеологічними, орографічними та гідрографічними особливостями території. На розглядуваній території весняне водопілля є вираженою багатоводною фазою в річному режимі річок та формує основний річний об'єм стоку – до 70–94% внаслідок сніготанення та випадіння опадів у весняний період. Різноманітність природних умов визначає велику кількість факторів, які тісно пов'язані між собою і у кожному році у своїй сукупності впливають на терміни проходження, об'єми та максимальні витрати (рівні) води весняних водопілля. За умови різних поєднань гідрометеорологічних умов і в окремі роки весняне водопілля може набувати характеру небезпечного природного явища.

У роботі виконано аналіз і визначення складників максимального стоку весняного водопілля (при побудові комплексних графіків ходу гідрометеорологічних елементів) за весь період інструментальних спостережень за максимальним стоком води в річках (по 2018 рік включно) по 31 опорному гідрологічному посту на досліджуваній території, тобто тих, що мають спільні гідрологічні і метеорологічні спостереження в межах їх басейнів.

У роботі використані вихідні гідрометеорологічні дані, отримані з фондових та режимних видань Гідрометслужби і автоматизованої системи поточного отримання інформації АРМ-гідро (УкрГМЦ ДСНС України):

– характеристики максимального стоку весняного водопілля (шари стоку та максимальні витрати і рівні води) з початку стокових гідрологічних спостережень на річках по поточний 2018 рік;

– метеорологічні та агрометеорологічні характеристики за період з 60-х років ХХ століття по 2018 рік.

Слід відмітити, що сучасна автоматизована система АРМ-гідро містить і дані про рівні та витрати води, за яких спостерігаються небезпечні явища (НЯ) і стихійні гідрометеороло-

гічні явища (СГЯ), які є показниками можливих гідрологічних ризиків.

Виклад основного матеріалу. Сьогодні у гідрологічних дослідженнях використовують низку різноманітних методів, які дають можливість прогнозувати стік на базі сучасних уявлень про механізм їх формування. В роботі використано загальновідомий детерміністичний підхід гідрологічного аналізу, рекомендований керівництвом з гідрологічної практики ВМО [9, с. 554, 627, 650], в рамках якого велась графічна будова частоти появи величин, кореляційних зв'язків, узагальнених кривих, хронологічних графіків тощо.

Метод довгострокових прогнозів шарів стоку і максимальних витрат води заснований на використанні регіональних залежностей [6, с. 80, 84]

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

$$q_m/q_0 = f[(S_m + X_1) / (S_0 + X_{1_0})] \quad (2)$$

або у вигляді модульних коефіцієнтів цих характеристик

$$k_Y(k_q) = f(k_X), \quad (3)$$

де Y_m та Y_0 – шари весняного стоку і їх середньобагаторічні величини, мм; Q_m та Q_0 – максимальні витрати води і їх середньобагаторічні величини, м³/с; $k_Y(k_q)$ – модульний коефіцієнт шарів стоку (максимальних витрат води) весняного водопілля; k_X – модульний коефіцієнт сумарного надходження води на водозбір у період весняного водопілля.

Розроблений алгоритм довгострокового прогнозування характеристик максимального стоку весняного водопілля річок має наступні етапи.

I. Складання альтернативного (якісного) прогнозу.

За використання багатовимірною стохастичного аналізу – дискримінантної функції DF встановлюється тип або діагноз водності очікуваного водопілля, тобто складається альтернативний (якісний) прогноз майбутнього водопілля (вище, близьке або нижче за середньобагаторічне водопілля) за виразами:

– для лівобережних приток Нижнього Дніпра

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

– для правобережних приток Нижнього Дніпра, Південного Бугу, річок північно-західного Причорномор'я і Придунав'я



$$DF = a_0 + a_1 k_x + a_2 k_{Q_m} + a_3 k_L + a_4 \Theta_{02} \quad (5),$$

де $A = (a_0, a_1, a_3, a_4)$ – вектор коефіцієнтів дискримінантної функції, який має однакові величини в межах однорідних районів формування весняного водопілля річок [6, с. 81].

У вектор-предиктор гідрометеорологічних чинників дискримінантної моделі входять (включені у прогнозу схему у вигляді модульних коефіцієнтів, тобто по відношенню до середніх багаторічних величин);

– величини запасів води на водозборі в період весняного водопілля, які беруть участь у формуванні весняного водопілля і є основним чинником надходження тало-дощових вод на річковій водозбір

$$k_x = (S_m + X_1 + X_2) / (S_0 + X_{1_0} + X_{2_0}) \quad (6),$$

де S_m та S_0 – середні на водозборах максимальні снігозапаси та їх середньобагаторічна величина, мм; X_1 і X_{1_0} – рідкі опади періоду весняного сніготанення та їх середньобагаторічна величина, мм; X_2 і X_{2_0} – рідкі опади періоду спаду водопілля та їх середньобагаторічна величина, мм (враховуються під час прогнозу шарів стоку водопілля);

– показник зволоження ґрунтів, яким виступає індекс зволоження ґрунтів, який визначається, як середня річкова витрата води в осінньо-зимові місяці (з вересня попереднього року по січень поточного) для лівобережних приток Нижнього Дніпра

$$k_{q_{09-01}} = \frac{q_{09-01}}{q_{(09-01)_0}} \quad (7),$$

де q_{09-01} і $q_{(09-01)_0}$ – середній модуль стоку з вересня попереднього по січень поточного років та його середньобагаторічна величина;

– передповенева витрата води Q_{ns} , віднесена до середньобагаторічної величини витрати води цього ж місяця $(Q_{ns})_0$ (для правобережних приток Нижнього Дніпра, басейнів річок Південного Бугу та річок північно-західного Причорномор'я і Придунав'я) у вигляді

$$k_{Q_{ns}} = \frac{Q_{ns}}{(Q_{ns})_0} \quad (8);$$

– показник промерзання ґрунтів, в якості якого виступає модульний коефіцієнт максимальної глибини промерзання ґрунтів

$$(k_L) = \frac{L}{L_0} \quad (9),$$

де L – середні по водозборах величини максимальних перед весною глибин промерзання

ґрунтів, см; L_0 – середньобагаторічні величини максимальних глибин промерзання ґрунтів на окремих водозборах, см;

– температура повітря у лютому Θ_{02} 0С, як показник погодних умов накопичення і, в окремі роки, танення снігу на річкових водозборах.

II. Складання кількісного прогнозу.

На другому етапі прогностичної схеми відбувається встановлення кількісних значень модульних коефіцієнтів шарів стоку чи максимальних витрат води (відповідно до групи водності водопіль за знаком дискримінантної функції DF) у вигляді

$$k_y(k_q) = b_0 + b_1 k_x + b_2 k_x^2 + b_3 k_x^3 \quad (10),$$

де b_0, b_1, b_2, b_3 – коефіцієнти рівняння (10) з урахуванням районування басейну за однорідними фізико-географічними умовами формування весняного стоку [6, с. 155].

III. Визначення забезпеченостей очікуваних величин у багаторічному розрізі.

На третьому етапі ведеться визначення ймовірнісних характеристик весняного водопілля в багаторічному періоді та їх представлення в прогностичній схемі, де забезпеченість прогностичних величин $P_{Y(Q)}$ встановлюється за використання кривої трипараметричного гама-розподілу С.Н. Крицького і М.Ф. Менкеля [1, с. 48–49] у вигляді інтервалу забезпеченостей

$$P_1 < P_{Y(Q)} < P_2 \quad (11),$$

де P_1, P_2 – верхня і нижня межі забезпеченості, що встановлюються за таблицями С.Н. Крицького і М.Ф. Менкеля (для середнього по території значення $(Cs/Cv=2,5)$) [7, с. 132–133].

Практична схема складання довгострокового прогнозу характеристик максимального стоку весняного водопілля на рівнинних річках півдня України може бути представлена у вигляді блок-схеми (рис. 1).

В запропонованому методі територіальних довгострокових прогнозів характеристик максимального стоку річок використовується картографічна форма представлення прогностичних величин, а саме: розподілу по території очікуваних модульних коефіцієнтів шарів стоку та максимальних витрат води весняного водопілля, а також їх забезпеченостей у багаторічному періоді.

Приклади зазначених прогностичних карта-схем для шарів весняного стоку наведені на



Рис. 1. Блок-схема довгострокового прогнозу максимального стоку весняного водопілля

рис. 2 та рис. 3, що побудовані авторами роботи на основі збору та обробки вихідної гідрометеорологічної інформації, аналізу умов формування та здійснення довгострокового прогнозування, за описаним вище прогнозним методом, характеристик весняного водопілля 2017–2018 р. на річках території півдня України.

Прогноз характеристик максимального стоку весняного водопілля було складено на 10, 20, 28 лютого та дату максимальних снігозапасів в басейнах річок. Вказані дати фіксовані і встановлені Українським гідрометцентром України ДСНС України.

Прогнозні карта-схеми у 2017–2018 р. були побудовані на дату випуску прогнозу (ДВП) – 05 березня 2018 р., оскільки в цю дату спостерігались максимальні снігозапаси на басейні (дата S_m).

Одержані під час прогнозування стоків величини і побудовані карта-схеми свідчать про те, що очікувані шари стоку весняного водопілля 2017–2018 р. (у вигляді їх модульних коефіцієнтів) доволі низькі і становлять від 0,1–0,2 від їх середньобогаторічних величин в басейнах річок північно-західного Причорномор'я і річок Придунав'я до 0,2–0,5 – в басейнах річок Нижнього Подніпров'я (див. рис. 2). Стосовно ж очікуваних забезпеченостей шарів стоку весняного водопілля у 2017–2018 р. (див. рис. 3), то вони змінюються в тому ж напрямі від 99 до 60–70% і свідчать про дуже рідкісну

повторюваність низьких за об'ємом весняних водопіль поточного року на річках розглядуваної території. Низькими величинами характеризувалися й максимальні витрати та рівні води водопілля цього року.

За знятими з карти для будь-якого водозбору річки величинами модульних коефіцієнтів шарів стоку або максимальних витрат води весняного водопілля визначаються значення відповідних гідрологічних величин. Але водночас, враховуючи сучасні направлені тенденції до зменшення величин як шарів стоку, так і максимальних витрат води весняних водопіль за багаторічний період спостережень на річках досліджуваної території [6, с. 161, 185; 23, с. 48], пропонується до значень середньобогаторічних величин характеристик стоку вводити регіональні поправочні коефіцієнти, що враховують зміни водності весняного водопілля (наприклад, станом на 2010 р.):

– для шарів стоку, Y_m , мм, за рівнянням [6, с. 161]

$$Y_m = k_Y \cdot Y_0 \cdot K_{Y_{2010}} \quad (12),$$

де Y_0 – середньобогаторічні величини шарів стоку весняного водопілля, мм, які визначаються за часовими рядами стоків спостережень, а за їх відсутності – за карта-схемами розподілу шарів стоку по території (з урахуванням впливу на нього місцевих чинників – залісненості і заболоченості річкових басейнів);

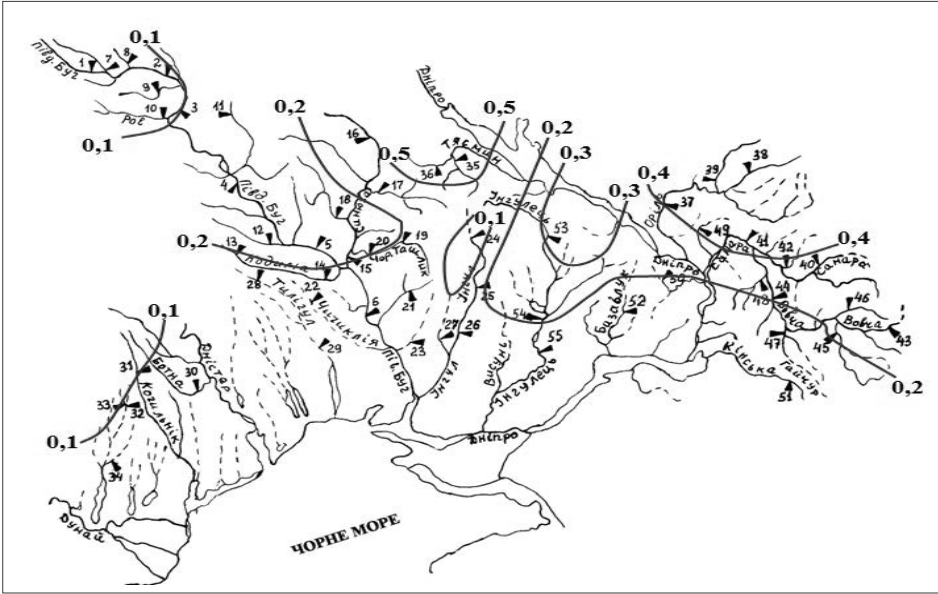


Рис. 2. Карта-схема розподілу по території очікуваних модульних коефіцієнтів шарів стоку весняного водопілля 2017–2018 р. (ДВП 05.03.2018 р.)

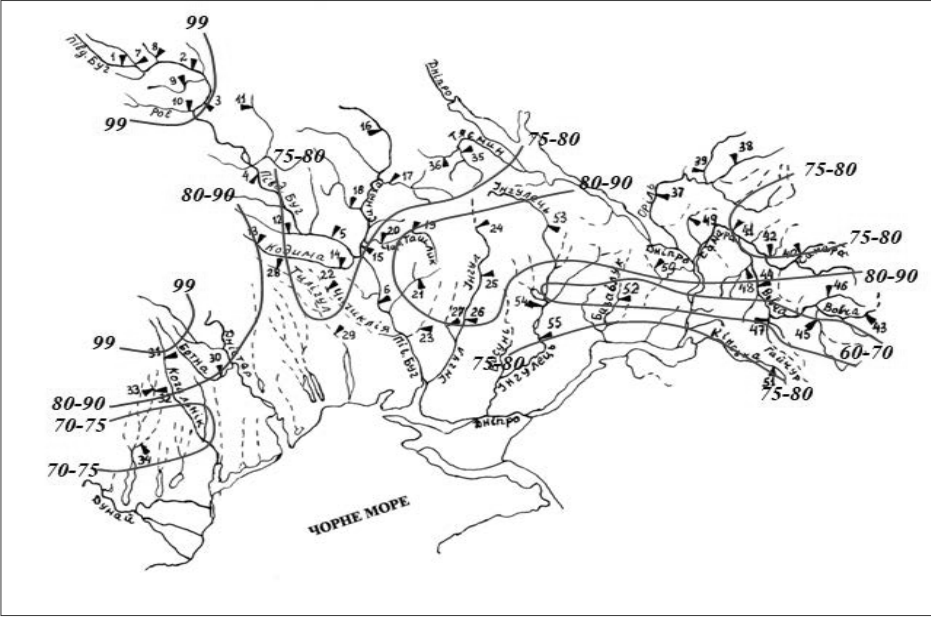


Рис. 3. Карта-схема розподілу по території очікуваних забезпеченостей шарів стоку весняного водопілля у 2017–2018 р.

– $K_{Y_{2010}}$ – регіональний коефіцієнт, враховуючий зміну значень середньобогаторічних величин шарів стоку за період до 2010 р. до їх зменшення, що отримується за рівнянням (ϕ – частка град.)

$$K_{Y_{2010}} = 0,91 - 0,010(\phi - 50) \quad (13);$$

– для максимальних витрат води, Q_m , м³/с, за рівнянням [6, с. 185]

$$Q_m = k_q \cdot q_0 \cdot K_{Q_{2010}} \cdot F \quad (14),$$

де q_0 – середньобогаторічні величини максимальних модулів весняного водопілля, м³/с·км², які визначаються за часовими рядами стокових спостережень, а за їх відсутності – за моделлю типових редуційних гідрографів водопіль, авторами якої є Є.Д. Гопченко і М.Є. Романчук [24, с. 134]

$$q_0 = \frac{k_0 Y_0}{(F + 1)^{n_1}} \quad (15),$$

де k_0 – коефіцієнт схилової трансформації або «коефіцієнт дружності» весняного водопілля, визначається за карта-схемою його розподілу по території або за регіональним рівнянням

$$k_0 = 1,10 - 0,0007\phi \quad (16),$$

де ϕ – широта центру тяжіння водозбору річки; F – площі річкових водозборів, км²; n_1 – показник редукції максимальних модулів стоку (прийнятий на основі розрахунків для річок розглядуваної території на рівні 0,13);

$K_{Q_{2010}}$ – регіональний коефіцієнт, враховуючий зміну значень середньобіагаторічних величин максимальних витрат води за період до 2010 р. до їх зменшення [6, с. 185], що отримується за рівнянням (ϕ в частках град.)

$$K_{Q_{2010}} = 0,87 - 0,08(\phi^\circ - 50) \quad (17).$$

У роботі здійснено оцінку стокових характеристик весняного водопілля згідно з положеннями [25, с. 6–18]. Для шарів стоку весняного водопілля прогноз є справджуваним, з добрими оцінками ($\delta/\delta_{дон}$ змінюється від 0,27 до 0,78), а для максимальних витрат води – $\delta/\delta_{дон}$ змінюється в межах 0,11 до 0,20, тобто прогнози належать до категорії відмінних. Здійснити оцінку прогнозу для інших річок північно-західної частини Причорноморської низовини неможливо через відсутність стокових спостережень на них. Прогнозування максимальних рівнів води весняного водопілля здійснюється за кривими витрат води на гідрологічних створах річок.

Висновки. Запропонований науковий метод є сучасним підходом до територіального довгострокового прогнозування характеристик максимального стоку весняного водопілля річок, що базується на попередньому якісному прогнозі типу водності річок у весняний період року при використанні дискримінантного аналізу та встановлення очікуваних характеристик спочатку у вигляді їх модульних коефіцієнтів (для просторового їх узагальнення), а потім й кількісних величин шарів стоку та максимальних витрат води (при визначенні їх середньобіагаторічних значень для будь-яких за розміром і географічним положенням річкових басейнів). У роботі для встановлення середньобіагаторічних шарів стоку весняного водопілля викорис-

таний картографічний прийом географічного узагальнення (з урахуванням впливу на шар стоку місцевих чинників – залісеності і заболоченості річкових басейнів), а для максимальних модулів весняного водопілля – модель типових редукційних гідрографів водопіль (автор Є.Д. Гопченко, М.Є. Романчук). При цьому при встановленні середньобіагаторічних величин характеристик стоку в прогнозній схемі пропонується вводити регіональні поправочні коефіцієнти, що враховують зміни водності весняного водопілля річок розглядуваної території з вираженим убутним трендом за останні роки. Прогностичний метод дає змогу встановити і ймовірності виникнення гідрологічних характеристик в біагаторічному розрізі, включаючи й водопілля річок рідкісної ймовірності перевищення (навіть, 1 раз на 100 років, тобто при забезпеченості 1%).

Таким чином, запропонований метод територіальних довгострокових прогнозів дозволяє в оперативному режимі визначати стокові характеристики весняного водопілля (з супровідом його розвитку у часі при змінних гідрометеорологічних умовах формування весняного стоку річок), у тому числі для річок недостатньо вивчених в гідрологічному відношенні, до яких належать річки північно-західної частини Причорномор'я та Придунайського регіону України.

За можливого виникнення у будь-якому році катастрофічно високого весняного водопілля річок прогностичні карта-схеми дозволяють оцінити ймовірний гідрологічний ризик підтоплення заплавлених територій річок для своєчасного прийняття управлінських рішень з метою запобігання надзвичайним ситуаціям, зменшення руйнівних наслідків повеней, забезпечення безаварійного пропуску льодоходу та паводкових вод. Для встановлення зон підтоплення заплавлених територій перспективним є прив'язка спрогнозованих максимальних рівнів води весняних водопіль до орографічних карт місцевості, наприклад, під час використання геоінформаційних систем.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Гопченко Є.Д., Лобода Н.С., Овчарук В.А. Гідрологічні розрахунки: підручник. Одеса: ТЕС, 2014: 484.



2. Директива 2007/60/ЕС Європейського Парламенту і Ради від 23 жовтня 2007 г. про оцінку і управління ризиками наводнень (Директива про наводнення). URL: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32007L0060>.
3. Клімат України; за ред. В.М. Ліпінського, В.А. Дячука, В.М. Бабіченко. Київ: Видавництво Раєвського, 2003. 343 с.
4. Кульбіда М.І., Барабаш М.Б., Єлістратова Л.О. та інші. Клімат України: у минулому...і майбутньому? Монографія за ред. М.І. Кульбіди, М.Б.Барабаш. Київ: Сталь, 2009. 234 с.
5. Мартазінова В.Ф. Свердлик Т.А. Зміни великомасштабної атмосферної циркуляції повітря протягом ХХ ст. та її вплив на погодні умови і регіональну циркуляцію повітря в Україні. Український географічний журнал. 2001. №2. С. 28–34.
6. Шакирзанова Ж.Р. Довгострокове прогнозування характеристик максимального стоку весняного водопілля рівнинних річок та естуаріїв території України. Одеса: ФОП Бондаренко М.О., 2015. 252 с.
7. Пособие по определению расчётных гидрологических характеристик. Ленинград: Гидрометеиздат, 1984. 450 с.
8. Угода про асоціацію між Україною, з однієї сторони, та Європейським Союзом, Європейським співтовариством з атомної енергії і їхніми державами-членами, з іншої сторони. URL: http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/984_011/page10.
9. Руководство по гидрологической практике. Сбор и обработка данных, анализ, прогнозирование и другие применения. Всемирная Метеорологическая Организация (ВМО - №168). Пятое изд. 1994.
10. Бефани Н.Ф., Калинин Г.П. Упражнения и методические разработки по гидрологическим прогнозам: Учебное пособие. Ленинград: Гидрометеиздат, 1983. 390 с.
11. Виноградов Ю.Б. Модель «Объем половодья – ГГИ 82». Труды ГГИ, 1985. Вып. 304. С. 3–41.
12. Кочелаба Е.И., Окорский В.П., Соседко М.Н. Математическое моделирование процессов формирования половодного стока на территории Полесья с учетом оттепельных явлений. Труды УкрНИГМИ. 1990. Вып. 235. С. 3–18.
13. Соседко М.Н., Лук'янець О.І. Карпати – паводкобезпечний регіон України. Комплексна басейнова система прогнозування паводків у Закарпатті: методична та технологічна база її складових. Київ, 2010. 64 с.
14. Кучмент Л.С. Речной сток (генезис, моделирование, предвычисление). Москва: 2008. 394 с.
15. Гопченко Є.Д., Овчарук В.А., Шакирзанова Ж.Р. Розрахунки та довгострокові прогнози характеристик максимального стоку весняного водопілля в басейні р. Прип'ять: монографія. Одеса: Екологія, 2011. 336 с.
16. Шакирзанова Ж.Р., Казакова (Докус) А.О. Територіальне довгострокове прогнозування характеристик максимального стоку весняного водопілля в басейні р. Південний Буг. Гідрологія, гідрохімія, гідроекологія: Наук. збірник / Гол. редактор В.К. Хільчевський, 2015. Т. 3(38). С. 25–33.
17. Shakirzanova Zh., (Dokus) Kazakova 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. P. 13-16. <http://www.ijsk.org/ijrees.html>.
18. Гопченко Є.Д., Шакирзанова Ж.Р., Андреевська Г.М. Комп'ютерні засоби просторового узагальнення очікуваних характеристик максимального стоку весняного водопілля рівнинних річок (на прикладі басейну Десни). Метеорологія, кліматологія та гідрологія. 2005. Вип. 49. С. 406–413.
19. M.B. Abbott, J.C. Bathurst, J.A. Cunge [et al.] An introduction to the European Hydrological System-Systeme Hydrologique Europeen. "SHE". 1 History and philosophy of a physically based distributed modelling system. Journal of Hydrology. 1986. N 87. P. 45–59.
20. M.S. Wigmosta, L.Vail, D.P. Lettenmaier. A distributed hydrology-vegetation model for complex terrain. Water Resources Research. 1994. Vol. 30. P. 1665–1679.
21. MIKE 11 – a Modelling System for Rivers and Channels / Short Introduction Tutorial / Version 2007, DHI Water & Environment, 15 p.
22. Бойко О.В., Железняк М.Й. Оцінка ефективності протипаводкових заходів на



малих річкових водозборах Закарпаття на основі розрахунків розподіленої моделі «опад-стік». Математичні машини і системи. 2011. № 4. С. 149–160.

23. Шакирзанова Ж.Р., Докус А.А. Прогнозирование гидрологических рисков наводнений при использовании метода долгосрочного прогноза максимального стока. Collected Papers of the International Scientific Geographical Conference held at Akaki Tsereteli State University

(Kutaisi, Georgia) in June 3-4, 2017. P. 40–55.

24. Гопченко Е.Д., Романчук М.Е. Нормирование характеристик максимального стока весеннего половодья на реках Причерноморской низменности / Київ, КНТ, 2005. 148 с.

25. Настанова з оперативної гідрології. Прогнози режиму вод суші. Гідрологічне забезпечення і обслуговування / Керівний документ. Київ.: Український гідрометеорологічний центр, 2012. 120 с.