

УДК 556.16.06 (321):556.166

МЕТОД ПРОГНОСТИЧНОЇ ОЦІНКИ ХАРАКТЕРИСТИК МАКСИМАЛЬНОГО СТОКУ РІЧОК БАСЕЙНУ ДНІПРА У ВЕСНЯНИЙ ПЕРІОД РОКУ

Ж. Р. Шакирзанова¹, В. М. Бойко², М. В. Гопцій¹, О. І. Тодорова¹,
А. О. Докус¹, З. Ф. Сербова¹, Н. М. Швець¹

¹ Одеський державний екологічний університет,

вул. Львівська, 15, 65016, Одеса, Україна, natzin@ukr.net

² Український гідрометеорологічний центр ДСНС України,

вул. Золотоворітська, 6-В, 01030, Київ, Україна, vicbojko@meteo.gov.ua

В роботі запропонований метод територіальних довгострокових прогнозів характеристик весняних водопіль річок (на прикладі басейну р. Дніпро в межах території України), що дозволяє при використанні комплексу гідрометеорологічних чинників і встановленні типу водності водопілля за районними залежностями вести щорічне прогнозування шарів стоку та максимальних витрат води водопіль, визначати ймовірність їх настання у багаторічному періоді. Прогностична оцінка характеристик гідрологічного режиму річок басейну Дніпра при картографічному представленні прогнозних величин (у вигляді модульних коефіцієнтів) і їх ймовірнісних показників виконана для весняного водопілля 2017-2018 р. Оцінка методики прогнозів показала задовільні результати, а в умовах багаторічної тенденції до зменшення шарів стоку та максимальних витрат води у період весняного водопілля річок басейну р. Дніпро пропонується здійснювати уточнення середньобагаторічних значень цих величин, які є базовими в методиці територіальних довгострокових прогнозів максимального весняного стоку річок.

Ключові слова: комплекс гідрометеорологічних чинників, тип водності водопілля, багаторічні тенденції, прогнозні характеристики.

1. ВСТУП

В Україні в умовах сучасних коливань клімату змінюється водність річок, у тому числі й періоду весняного водопілля. На фоні загальної тенденції зменшення стокових характеристик весняного водопілля, не виключено формування на річках катастрофічних повеней, що призводять до затоплення територій та руйнування господарських об'єктів. У рамках Угоди про асоціацію між Україною та Європейським Союзом, одним із важливих зобов'язань нашої країни є впровадження Паводкової Директиви 2007/60/ЄС Європейського Парламенту та Ради від 23 жовтня 2007 року [1] про оцінки і управління ризиками затоплення.

Дослідження спрямоване на розв'язання важливої науково-прикладної та соціально-економічної проблеми покращення водогосподарської обстановки в басейні крупної водної артерії країни р. Дніпро шляхом ймовірнісних оцінок гідрологічних небезпек, до яких відноситься весняне водопілля та його наслідки – повені різного масштабу. При цьому необхідним є створення єдиної універсальної математичної

моделі формування, розрахунку та довгострокового прогнозування характеристик водопіль, її реалізація для річок басейну Дніпра (у тому числі й для невеликих, зазвичай не охоплених даними стокових спостережень) з урахуванням кліматичних змін зимово-весняного періоду. При виникненні загрози затоплення територій, методика прогнозування водопіль з картографічним представленням можливих небезпек надає підґрунтя для обґрунтування планів дій відповідних підрозділів по безпечній евакуації та захисту населення.

Метою роботи є прогностична оцінка характеристик гідрологічного режиму річок басейну Дніпра у період найбільш повноводної фази їх водного режиму – весняного водопілля з метою просторового моніторингу стану водних об'єктів в цей період. В основу довгострокового прогнозування характеристик весняного стоку покладено комплексну прогностичну модель, яка базується на теорії руслових ізохрон та врахуванні комплексу стокоформуєчих гідрометеорологічних чинників при попередньому визначенні типу водності весняного водопілля річок.

Просторове представлення прогнозних вели-

чин у картографічному вигляді (у тому числі при використанні сучасних цифрових технологій) дозволить оцінювати розміри водопілля і його багаторічної повторюваності на усій території басейну, у тому числі скласти прогноз по окремих річках, незалежно від ступеня їх гідрологічної вивченості.

Об'єктом дослідження є гідрологічний режим весняного водопілля річок басейну Дніпра (у межах України) – з притоками Прип'ять, Десна, Сейм, Сула, Псел, Ворскла, Інгулець, Оріль, Самара та ін.

В даній роботі вирішуються питання аналізу умов формування та визначення природних факторів, які призводять до екстремальних весняних водопіль, використання методичної бази щодо територіальних довгострокових прогнозів характеристик максимального стоку весняного водопілля невеликих річок басейну Дніпра (на прикладі весняного водопілля 2017-2018 р.).

Робота виконується в рамках науково-дослідної роботи за рахунок видатків загального фонду державного бюджету «Науково-методична база для встановлення розрахункових характеристик весняного водопілля в басейні Дніпра в умовах мінливості клімату», № ДР0117U002424 (2017-2019 рр.).

2. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

Існуючі в практиці гідрологічних прогнозів моделі довгострокових прогнозів шарів стоку та максимальних витрат води весняного водопілля розроблені і застосовуються в основному для річок з наявністю часових рядів стокових спостережень на них. Але при формуванні багатководних водопіль, що іноді призводять до затоплень заплавлених територій, потрібна просторова оцінка їх характеристик в цілому для деяких регіонів, де мають місце й річки недостатньо вивчені у гідрологічному відношенні. Вирішення такої задачі можливе при створенні територіальних прогностичних методик, які дозволяли б прогнозувати розмір весняних витрат води для будь-якого за площею і географічним положенням водозбору розглядуваної території.

Головним напрямком досліджень при накопиченні матеріалів спостережень за чинниками весняного стоку в басейнах різних річок, а також застосування математичних методів до вирішення задач прогнозування стоку стало отримання більш надійних і фізично обґрунтованих методів прогнозів стоку як по окремих річках, так і загальних – для значних за площею тери-

торій. Наявність географічних закономірностей розподілу по території гідрологічних характеристик весняного водопілля і можливості їх просторової інтерполяції встановили ще у 20-30-ті роки минулого сторіччя Д.І. Кочерин і Д.Л. Соколовський. Досліджуванням географічного розподілу весняного стоку присвячені також роботи А.В. Огієвського, І.Д. Антонова, П.С. Кузіна та ін.

Просторові узагальнення талого стоку для річок районів з однорідними фізико-географічними умовами, а також даних про запаси води у сніговому покриві, весняні опади, глибини промерзання ґрунтів, втрати талих вод, коефіцієнти весняного стоку й інші елементи вперше виконані В.Д. Комаровим [2] у вигляді карт ізоліній норм цих величин на Європейській території СРСР. Автор також уперше підійшов до питання територіальних прогнозів шарів стоку водопілля у вигляді побудови узагальнених по низці річок балансових залежностей шарів стоку від факторів, які їх визначають, а також надав їх аналітичний опис у вигляді

$$Y = X - P_0 \operatorname{th} \frac{X}{P_0}, \quad (1)$$

де Y – шар тало-дошового стоку за період весняного водопілля, мм; X – сумарний запас вологи на басейні на початку весняного водопілля, мм.

В редакції В.Д. Комарова [2], параметр P_0 є поверхнева ємність і втрати води на інфільтрацію в мерзлий ґрунт. Для річок степової і лісостепової зон ЄТС він встановив, що

$$P_0 = Ae^{-w(bl+a)}, \quad (2)$$

де w – запас вологи в шарі ґрунтів на початок весни, мм; l – глибина промерзання ґрунтів, см; A , a , b – емпіричні параметри.

Використання територіально загальних залежностей для довгострокових прогнозів стоку весняного водопілля розглядалися у дослідженнях низки авторів різних років. Слід зазначити територіальні методики для прогнозування стоку весняного водопілля В.Н. Паршина і М.С. Салова [3] на прикладі річок степової і лісостепової зон (у басейні р. Дон), С.І. Харченка [4] – річок зони недостатнього зволоження, Є.Г. Попова [5] – для деяких північних річок, В.А. Романенка [6] – для невеликих річок басейну Дніпра (в межах України), В.В. Салазанова [7] – для річок Верхнього Дніп-

ра. В подальші роки з'явилися розробки О.С. Змієвої [8] для річок басейну Волги, А.І. Суботіна [9] – для річок Нечорноземної зони ЄТС та ін.

Зазначені територіальні методики використовуються для шарів чи об'ємів стоку весняного водопілля. При переході до максимальних витрат води Q_m або модулів q_m весняного водопілля, які залежать від площ водозборів, пов'язаних з трансформацією паводкових хвиль гідрологічною мережею, завжди використовують індивідуальні залежності $Q_m = f(Y)$ для окремих річкових басейнів. В 50-ті роки минулого сторіччя Г.П. Калініним і Т.Т. Макаровою (1958 р.) були побудовані узагальнені для низки річок прогностичні залежності максимальних витрат води від розрахункового шару талого стоку, виражені у модульних коефіцієнтах, проте, вони не знайшли широкого застосування в практиці.

Побудова територіальної методики для довгострокового прогнозу максимальних витрат води весняного стоку є розробка О.С. Змієвої [10]. В основу моделі покладено одноmodalний гідрограф у вигляді редуційної формули, параметри якої одержані як осереднені для річок однорідного району, відповідно до ландшафтно-гідрологічного районування території [11]. Прогностична модель побудована і реалізується на основі залежностей максимальних витрат води від шару стоку за повінь, де як третя змінна виступає площа водозбору. Прогноз максимуму весняного припливу для різних за розмірами водозборів здійснюється на основі розрахунку шару стоку за повінь, як середнього значення для річок однорідного району, що вносить додаткові похибки в прогнозну схему.

Прикладом довгострокового прогнозу максимальних витрат води весняного водопілля по узагальнених для низки річок залежностях максимальних модульних коефіцієнтів від факторів водопілля (максимальних снігозапасів разом з опадами та показником попереднього зволоження ґрунту на басейні) може бути метод, що запропонований в [12]. Використання методу для територіальних прогнозів Q_m пов'язане з можливістю надійного обчислення норми Q_0 , що може здійснюватися лише для басейнів, по яких є часові ряди спостережень і які зазвичай відсутні на відносно невеликих річках (з площею водозбору декілька тисяч квадратних кілометрів [12]).

Сучасна модель для довгострокових гідрологічних прогнозів шарів стоку і максимальних витрат води весняного водопілля рівнинних

річок «СЛОЙ-2» (автор М.М. Сусідко) призначена для дослідження динаміки зимово-весняних процесів на річковому водозборі та дозволяє виконувати довгострокове прогнозування характеристик весняного стоку [13].

Модель формування весняного стоку «СЛОЙ-2» дозволяє використовувати її в різних ландшафтних умовах як для аналізу процесів снігонакопичення та сніготанення, зміни стану підстильної поверхні водозбору – динаміки глибини промерзання і відтаювання ґрунтів [14], їх зволоженості, так і прогнозування шарів (об'ємів) стоку водопілля. Оцінка динаміки цих природних процесів здійснюється для відкритих і залісених частин річкових басейнів, у тому числі й у районах з зимовими відлигами, що порушують хід процесів снігонакопичення і сніготанення та можуть суттєво впливати на стан підстильної поверхні [13].

Для прогнозу шарів стоку за водопілля з річкового водозбору в моделі «СЛОЙ-2» використаний воднобалансовий підхід. Втрати талої води виражаються в моделі двома показниками за допомогою коефіцієнту стоку та через шар поверхневого утримання. Принципова схема методу, включеного в модель «СЛОЙ-2», розроблена І.Г. Рубцовим [15], котрий використав його при прогнозуванні стоку в лісостепових та степових районах України [16]. Для розрахунку водовіддачі під час зимових відлиг в моделі використаний методичний підхід з використанням коефіцієнтів танення та показників водоутримуючої спроможності снігу [13].

В моделі «СЛОЙ-2» обґрунтована й можливість просторових довгострокових гідрологічних прогнозів максимальних витрат води весняного водопілля рівнинних річок на основі встановлення графічних залежностей між шарами стоку і максимальними витратами води, побудованих для основних створів річок басейнів, що розглядаються в моделі.

Для визначення максимальних весняних витрат води з малих водозборів, при відсутності гідрометричних спостережень, необхідно мати шар стоку та відомості про площу і похил місцевості водозборів. Однак, використання цього методу для прогнозування максимальних витрат води весняного водопілля потребує наявності шарів весняного стоку, які не відомі на дату випуску прогнозу і підлягають їх завчасному прогнозуванню.

До територіальних моделей прогнозування шарів стоку та максимальних витрат води весняного водопілля рівнинних річок в роботах [17,18] запропонований прогностичний метод,

що враховує комплекс гідрометеорологічних чинників, які в щорічному їх сполученні призводять до формування різних за висотою та об'ємом водопіль. Реалізація методу виконана авторами на прикладі окремих річкових басейнів України [17, 19-21], в тому числі у вигляді програмних автоматизованих прогностичних комплексів (зокрема для басейнів Прип'яті, Десни з Сеймом, інших приток Середнього Дніпра), що розроблені на замовлення Українського гідрометцентру ДСНС України та використовуються в їх практичній діяльності [22, 23].

3. ОБ'ЄКТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

Річка Дніпро є основною водною артерією України. Протікає з півночі на південь в межах Росії, Білорусі і через всю Україну, де знаходиться 58% площі її басейну [24,25]. Українська частина басейну розташована в південно-західній частині Східноєвропейської рівнини, на півночі і північному сході обмежена Державним кордоном України, на заході межує з басейнами Вісли, Дністра і Південного Бугу, на сході – з річковим басейном Сіверського Дінця, а на південному сході, до Дніпровського лиману Чорного моря – з басейнами річок Приазов'я.

Річковий басейн Дніпра розташований на території від 52°20' півн. ш. до 46°30' півн. ш. і від 23°41' сх. д. до 37°48' сх. д., знаходячись у трьох географічних зонах: мішаних лісів, лісостеповій і степовій, що зумовлює особливості формування кліматичних умов, ґрунтового і рослинного покриву, гідрографічної сітки та гідрологічного режиму річок.

На території України Дніпро приймає свої найбільші притоки. На півночі це р. Прип'ять (права) і р. Десна (ліва), в середній частині – річки Тетерів, Рось, Сула, Псел, Ворскла. До Нижнього Дніпра впадають річки Інгулець, Оріль, Самара. Відповідно гідрографічного районування території України, виконаного авторами роботи [26] згідно вимог Водної Рамкової Директиви (Директива 2000/60/ЄС Європейського Парламенту і Ради від 23 жовтня 2000 року про встановлення рамок діяльності Співтовариства у сфері водної політики [27]) в межах району річкового басейну Дніпра (на території України) виділено 4 суббасейни: Прип'яті, Десни, Середнього Дніпра та Нижнього Дніпра. На даний час згідно Наказу від 03.03.2017 №103 «Про затвердження Меж районів річкових басейнів, суббасейнів та водогосподарських ділянок» [28] територія Дніпра поділяється на 5 частин, включаючи, крім перелічених, суббасейн

Верхнього Дніпра (р. Дніпро від державного кордону до початку Київського водосховища (включаючи р. Сож у межах України).

Характер рельєфу басейну Дніпра загалом рівнинний. Басейн охоплює декілька орографічних областей: Придніпровську височину, південно-західний схил Середньоруської височини, північну частину Подільської та північний схил Приазовської височини, а також Поліську, Придніпровську і Причорноморську низовини.

Характер ґрунтового покриву на території басейну Дніпра дуже різноманітний. В суббасейні Прип'яті та північної частини суббасейну Десни перевагу мають дерново-підзолисті ґрунти, за механічним станом піщані, глинисто-піщані та піщані суглинисті. Також зустрічаються торф'яно-болотні ґрунти. В суббасейні Середнього Дніпра поширені сірі лісові ґрунти та опідзолені чорноземи. Далі зону суббасейна Нижнього Дніпра покривають звичайні та південні чорноземи, а також каштанові ґрунти.

Рослинність рівнинної частини України в значній мірі змінена внаслідок господарської діяльності людини. В суббасейні Прип'яті залісеність змінюється від 4% до 67%. Найбільші площі лісів збереглися в північній частині: в басейнах річок Стир (24%), Стохід (35%), Уборть (67%). Найбільш залісеними є території верхньої та середньої частини суббасейну Десни. В басейнах річок Ветьма та Болва залісеність становить 30-61%, безпосередньо у верхів'ях Десни - 27-40%, а в басейні р. Соля - 96% поверхні водозбору вкрито лісами. У суббасейні Десни лісові масиви представлені переважно дубами та соснами і зосереджені окремими масивами. Середні ж показники заболоченості на території змінюються від 1% до 6%. Заболоченість суббасейна Середнього Дніпра коливається від 2% до 11%, відповідно, болотна рослинність в зоні займає незначну площу і зосереджена головним чином у Придніпровській низовині і в басейнах приток Дніпра – Супія, Сули (заболоченість складає 5-12%) і Псла, де також переважають низинні заплавні болота, а залісеність змінюється від 10% (р.Рось) до 27% (р. Ірпінь). В суббасейні Нижнього Дніпра природних лісів практично немає (за винятком заплавлених і плавневих), залісеність складає 1-7% (р. Інгулець). В умовах недостатнього і посушливого клімату дана зона, не сприятлива для утворення боліт – її заболоченість менш 1% [24,25,29].

Через значну протяжність басейну різні його частини мають кліматичні відмінності. Основні риси клімату описуваної території формуються під впливом загальних і місцевих кліматичних

факторів. Головним з них є приплив тепла від сонця, який в основному залежить від географічної широти місцевості, збільшуючись з півночі на південь. В цілому клімат помірно континентальний з прохолодною зимою (з короткочасними відлигами) і теплим (інколи спекотним) літом. Зміна хвиль теплої і холодної повітря створює нестійку погоду, викликає грозові дощі влітку [24,30,31]. Кількість та інтенсивність відлиг збільшуються у південно-західному напрямку і призводять до нестійкості погоди в зимовий період.

Показниками термічного режиму є середні річні температури повітря, які змінюються з півночі на південь від 6°C - 7°C до 10°C - 11°C. Найхолодніший зимовий місяць – січень, його середня місячна температура складає (-6°C) - (-7°C) на півночі, до 2,2°C на півдні. Найвищі середні температури спостерігаються в липні і складають 19°C-23°C.

У розподілі кількості опадів на території спостерігається така закономірність: вони поступово зменшуються з півночі і північного заходу (600 мм – 630 мм) на південь і південний схід (400 мм). Найбільша кількість опадів випадає в липні і в середньому за багаторіччя становить 80-90 мм, досягаючи в багатоводні роки 180-250 мм [31]. Найменша їх сума спостерігається у лютому і дорівнює в середньому 25-35 мм.

Сніговий покрив та інтенсивність сніготанення є визначальними у формуванні весняного водопілля річок. В середньому величини максимальних снігозапасів змінюються від 80-90 мм на північному сході, до 50 мм - в середній частині та до 40-20 мм – в південній частині басейну Дніпра.

Максимальні глибини промерзання ґрунтів, що визначають їх інфільтраційну спроможність під час формування і розвитку весняного водопілля змінюються в середньому від 70-80 см на півночі і північному сході до 40-20 см – на півдні басейну [32].

Хронологічні графіки багаторічного ходу (1960-2015 рр.) максимальних запасів води в сніговому покриві та глибин промерзання ґрунтів показують тенденцію до їх зменшення у зв'язку з сучасним підвищенням температур повітря зимових місяців у регіоні [31,33,34].

Дніпро є головним стрижнем водних шляхів країни. Стік Дніпра формується переважно у верхній його частині (до м. Київ), де кліматичні умови найбільш сприятливі. Дніпро протікає в різних природних умовах, де на величину весняного стоку впливає значна кількість факторів.

Домінуючими факторами є осінньо-зимово зволоженість ґрунту, величина снігозапасів в басейні, характер сніготанення. Крім того, величина максимуму залежить від співпадіння або зміщення у часі піків на основних притоках (рр. Сожі, Прип'яті, Десни та Верхньому Дніпрі) [24]. Кліматичні фактори обумовлюють розподіл стоку на великих і середніх річках, а фактори підстильної поверхні й антропогенний вплив – формують гідрологічний режим малих річок. Елементи водного балансу відповідно до загальної закономірності розподілу зменшуються з півночі на південь.

За характером водного режиму річки басейну Дніпра відносяться до рівнинного типу, переважно снігового живлення. Найбільші середньомісячні витрати води спостерігаються у березні-квітні, найменші – наприкінці літа або на початку осені.

Для режиму внутрішньорічного розподілу стоку суббасейна Прип'яті характерно ярко виражене весняне водопілля і низька межень, яка порушується короткочасними літніми та зимовими паводками від опадів та відлиг. Початок водопілля на малих і середніх річках відноситься до першої декади березня, іноді до другої і третьої декад лютого; закінчується – у другій половині квітня, іноді у першій декаді травня. Тривалість водопілля 1,5-2 місяці. У цей сезон по річках проходить 45-60% їх річного стоку. Пік зазвичай спостерігається наприкінці травня – початку квітня [24,35]. У зимовий період (20-25% річного стоку) спостерігається підвищення стоку за рахунок талих вод під час відлиг.

Такий внутрішньорічний розподіл стоку спостерігається й для деяких річок суббасейну Середнього Дніпра (праві притоки Дніпра нижче Прип'яті) – річок Тетерева і Росі.

Режим річок басейнів лівих приток Дніпра від Десни до Орелі (суббасейн Середнього Дніпра) і самого суббасейну Десни характеризується високим весняним водопіллям, яке має два-три піки, що обумовлені нерівномірним таненням снігу або дощами. Найвищий рівень під час водопілля спостерігається на початку квітня (на малих річках) та середині квітня (на річках суббасейну Десни). Весняне водопілля починається на початку-середині березня, а закінчується на малих і середніх річках в середині-кінці квітня, на великих – у середині-кінці травня. Тривалість водопілля в роки з інтенсивним сніготаненням становить у середньому 40-45 днів, а при слабкому розвитку весняних процесів – до 80-100 днів. Весняне водопілля на річках формує 65-70% річного стоку. Зимові

паводки тут рідше спостерігаються, ніж на Правобережжі Дніпра [35].

Внутрішньорічний розподіл стоку в суббасейні Нижнього Дніпра та р. Тясмин (суббасейн Середнього Дніпра) характеризується досить високим весняним водопіллям, яке настає зазвичай у лютому-квітні (майже 70 % річного стоку), і низькою літньою меженню (травень-серпень), що порушується незначними дощовими паводками. Для малих річок стік характерний лише під час весняної та дощових повеней. Весняне водопілля спостерігається не щорічно і зазвичай проходить у лютому-березні. Сезоном, на який припадає найменша частка річного стоку є осінь (5-10 %) [35]. На більшості річок території рівневий режим втрачає достовірність за рахунок наявності ГЕС, насосних споруд та млинів, забору води на зрошення й інші господарські потреби.

У зв'язку з особливостями кліматичних умов останніх десятиріч в цілому на рівнинних річках України строки проходження водопілля у різних

частинах території можуть значно коливатись від дуже ранніх до більш пізніх [36]. Тому за багаторічний період (з початку стокових спостережень на річках по 2015 р.) отримані хронологічні графіки (при трирічному згладжуванні) дат початку весняного водопілля для деяких річок басейну Дніпра, які вказують на тенденцію до зміщення цих дат до більш ранніх строків (рис. 1).

Виконаний також аналіз багаторічних змін у рядах гідрологічних спостережень періоду весняного водопілля.

Для п'яти річок, розташованих в різних частинах досліджуваної території і з найбільш тривалими гідрологічними рядами, були побудовані хронологічні графіки (при трирічному ковзному осередненні) та різниці інтегральні криві – як для шарів весняного стоку (рис. 2, 3 відповідно), так і для максимальних витрат води весняного водопілля (рис. 4, 5), виражені у відносних величинах.

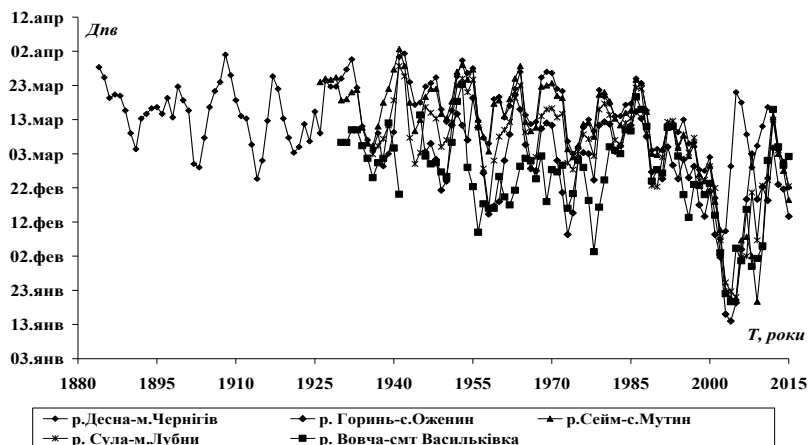


Рис. 1 – Хронологічний хід (трирічні ковзні) дат початку весняного водопілля деяких річок басейна Дніпра.

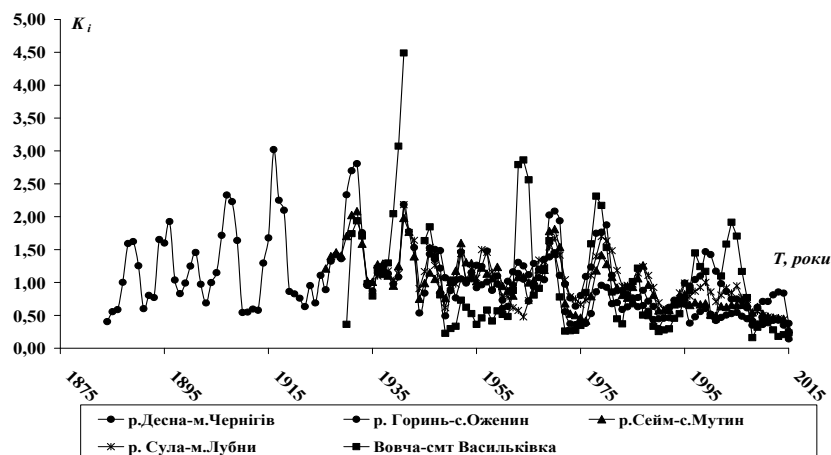


Рис. 2 – Хронологічний хід (трирічні ковзні) модульних коефіцієнтів шарів стоку весняного водопілля деяких річок басейна Дніпра

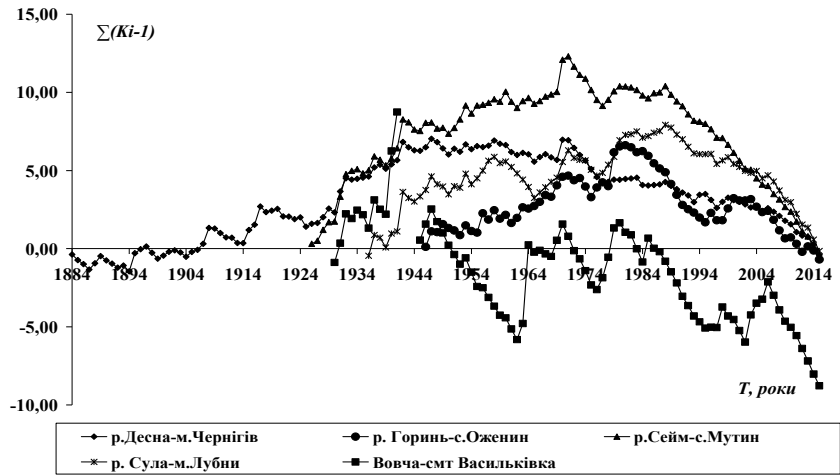


Рис. 3 – Різницеві інтегральні криві шарів стоку весняного водопілля деяких річок басейна Дніпра.

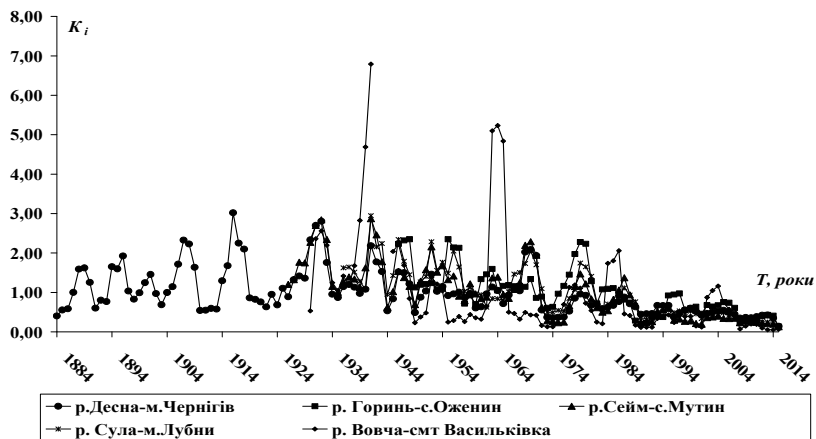


Рис. 4 – Хронологічний хід (трирічні ковзні) модульних коефіцієнтів максимальних витрат води весняного водопілля деяких річок басейна Дніпра.

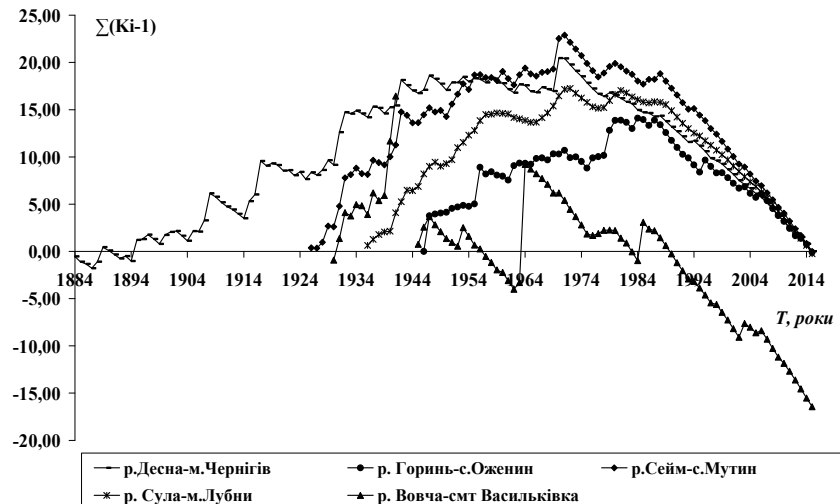


Рис. 5 – Різницеві інтегральні криві максимальних витрат води весняного водопілля деяких річок басейна Дніпра.

Графіки свідчать про наявність сталої, майже у сторічний період, тенденції до зменшення стокових характеристик весняного водопілля річок, а різниці інтегральні криві дозволяють виділити періодичну убутну складову стоку з початку вісімдесятих років минулого сторіччя.

4. МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Методичною базою комплексного підходу до територіальних довгострокових прогнозів характеристик весняного водопілля (шарів стоку та максимальних витрат води) рівнинних річок є встановлення регіональних залежностей стокових величин від сумарної кількості води, що формує стік водопілля - максимальних запасів води в сніговому покриві, дощових опадів періоду танення снігу і на спаді водопільної хвилі. Враховуючи обмеженість вихідної інформації по стоку річок, особливо по невеликих водотоках, де матеріали спостережень майже завжди відсутні, прогностичні залежності будуються для обраних опорних гідрологічних водозборів, що забезпечені багаторічними сумісними рядами гідрологічних, метеорологічних та агрометеорологічних спостережень (для басейну Дніпра прийнято 50 опорних річкових водозборів в межах його суббасейнів та дані 193 метеорологічних станцій і постів).

Для подальшого географічного узагальнення кількісних параметрів прогнозує схеми регіональні залежності представлені у вигляді модульних коефіцієнтів, тобто нормовані по їх середньобаторічних величинах [17,18]

- для шарів стоку

$$\frac{Y_m}{Y_0} = f\left(\frac{S_m + X_1 + X_2}{S_0 + X_{1_0} + X_{2_0}}\right)$$

або $k_Y = f(k_X);$ (3)

- для максимальних витрат води

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

або $k_q = f(k_X),$ (4)

де Y_m і Y_0 – шар весняного стоку і його середньобаторічна величина, мм; q_m і q_0 – максимальний модуль весняного водопілля і його

середньобаторічна величина, $\text{м}^3/(\text{с}\cdot\text{км}^2)$; S_m і S_0 – максимальний запас води в сніговому покриві і його середньобаторічна величина, мм; X_1 і X_{1_0} – опади періоду танення снігу і їх середньобаторічна величина, мм; X_2 і X_{2_0} – опади періоду спаду весняного водопілля і їх середньобаторічна величина, мм; k_Y та k_q – модульний коефіцієнт шарів стоку та максимальних витрат води весняного водопілля; k_X – модульний коефіцієнт сумарного надходження води на водозбір у період формування загального шару стоку чи максимальної витрати води весняного водопілля.

Регіональні залежності для прогнозу шарів стоку чи максимальних витрат води весняного водопілля річок басейну Дніпра виду (3) та (4) відповідно, побудовані авторами за даними багаторічних часових спостережень для опорних водозборів річок в басейні Дніпра – в суббасейнах Прип'яті, Десни, Середнього та Нижнього Дніпра.

Враховуючи багатофакторність процесу формування максимального стоку весняного водопілля річок, який пов'язаний с процесами зимового накопичення та весняного танення снігу на водозборах, випадіння дощових опадів, формування поверхневого схилового стоку за різних умов підстильної поверхні, утворення руслового стоку річок, в основу побудови прогнозних залежностей для визначення шарів весняного стоку (3) чи максимальних витрат води (4) від цих чинників покладено типізацію водопіль за їх водністю. Ймовірне сполучення гідрометеорологічних чинників весняного водопілля у кожному році призводить до формування багато-, середньо- чи маловодних за об'ємом чи максимальною ординатою водопіль. Для виявлення угруповань використано апарат дискримінантної функції – багатовимірної статистичної моделі, яка дозволяє за комплексом гідрометеорологічних чинників (вектор-предиктором), що впливають на формування процесу, поділити вихідну вибірку на групи або класи [37]. При цьому дискримінантне рівняння є рівнянням площини, що розділяє всі випадки за умов $DF(x_1, x_2, \dots, x_m) = 0$, а вектор лінійних коефіцієнтів $A(a_0, a_1, a_2, \dots, a_m)$ повинен вибиратися так, щоб, при найкращому поділенні, два одновимірні розподіли «перекривалися» в найменшій мірі [38]. Коефіцієнт a_0 обчислюється за умови, що рівність $DF = 0$ визначає точку розділу між

двома групами подій. При цьому, якщо $DF > 0$, подія відноситься до першої групи, якщо $DF < 0$ – до другої.

Стокоформуєчими чинниками весняного водопілля в річковому басейні р. Дніпро є максимальні запаси води в сніговому покриві, рідкі опади періоду весняного водопілля, а також зволоження та глибина промерзання ґрунтів, які визначають втрати тало-дощових вод на басейнах. Враховуючи різноманітність умов формування стоку весняного водопілля в суббасейнах Дніпра – Прип'яті, Десни з Сеймом, Середнього та Нижнього Дніпра, що розташовані в різних природних умовах в роботі виконаний ретельний аналіз гідрометеорологічних чинників весняного водопілля в різних районах розглядуваної території. Такий аналіз покладено в основу складання вектор-предиктора дискримінантної функції при діагнозі весен за типом їх водності.

Для басейну Дніпра в межах всієї рівнинної території України одержані районні рівняння дискримінантних функцій DF у вигляді:

- для лівобережної частини басейну

$$DF = a_0 + a_1 k_X + a_2 k_{q_{09-01}} + a_3 k_L + a_4 \Theta_{02}; \quad (5)$$

- для правобережної частини басейну

$$DF = a_0 + a_1 k_X + a_2 k_{Q_{mn}} + a_3 k_L + a_4 \Theta_{02}. \quad (6)$$

Вектор лінійних коефіцієнтів A (a_0, a_1, a_2, a_3, a_4) дискримінантних рівнянь (5) і (6) розрізняється для різних річок території, але є сталим для суббасейнів річок басейну Дніпра з близькими умовами формування водопілля, в межах виділених під час розробки прогностичної методики однорідних природних районів і підрайонів [18].

Модульний коефіцієнт сумарного надходження води на водозбір у період формування весняного водопілля k_X включає запаси води в сніговому покриві на дати складання прогнозу (з урахуванням середньобаторічної добавки снігу до максимальних снігозапасів води $\Delta \bar{S}$) та дощові опади періоду формування весняного стоку X_1 та X_2 . Не відомі на дату випуску прогнозу добавки снігу і кількість рідких опадів приймалися як осереднені в ранжованому за багаторіччя ряді величини з урахуванням прогнозу погоди (температури повітря у лютому та березні, кількості опадів за весняні місяці).

Важливими гідрометеорологічними чинниками втрат тало-дощових вод в період форму-

вання весняного водопілля є характеристики передвесняного стану басейнів – головним чином попереднє зволоження та ступінь промерзання ґрунтів.

Індексом зволоження ґрунтів перед весняним таненням снігу в методі територіальних довгострокових прогнозів весняного стоку прийнята непряма його характеристика – середній річковий модуль стоку.

У складному у географічному і природному відношенні басейні р. Дніпро, де типові риси формування стоку весняного водопілля річок визначаються зональними особливостями геолого-геоморфологічної будови, характером рельєфу, ґрунтів, рослинності і клімату, індекс передвесняного зволоження ґрунтів прийнятий різним для лівобережної і правобережної частин басейну.

Так, для лівобережного Дніпра (суббасейн Десни, приток Сейму, Сули, Псла, Ворскли, Орелі і Самари), де стан підстильної поверхні формується протягом всього осінньо-зимового періоду, використаний середній річковий модуль стоку з вересня попереднього по січень поточного (q_{09-01} , л/с км²) років, виражений у вигляді відносної величини – модульного коефіцієнта $k_{q_{09-01}}$.

Для правобережжя Дніпра (української частини суббасейну Прип'яті, невеликих приток Уж, Тетерів, Рось, Інгулець та ін.), де часто спостерігається додаткове зволоження ґрунтів у періоди зимових відлиг, в якості індексу передвесняного стану басейнів у вектор-предиктор дискримінантної моделі введений середньомісячний річковий стік в попередній від початку водопілля місяць або ж навіть передпаводкова витрата води (Q_{nb} , м³/с), віднесені до середньобаторічного значення витрати води розрахункового місяця – у вигляді модульного коефіцієнта $k_{q_{nb}}$.

За відсутності спостережень прийняті характеристики зволоження ґрунтів (як для багаторічного періоду, так і у поточному році) визначаються за встановленими регіональними залежностями середнього модуля стоку від географічної широти геометричних центрів водозборів або їх площ.

Величини максимальних глибин промерзання ґрунтів наприкінці зими (під озимими), прийняті до вектор-предиктора дискримінантних рівнянь, осереднені по водозборах з урахуванням даних усіх пунктів спостережень, розташованих у їх межах – у вигляді їх модульних коефіцієнтів k_L .

Показником температурних умов зимово-весняного сезону в дискримінантній функції прийнята середньомісячна температура повітря у лютому, $\Theta_{02}^{\circ}\text{C}$.

Встановлення прогностичних зв'язків у вигляді відносних величин (модульних коефіцієнтів) шарів стоку k_Y виду (3) та максимальних витрат води весняного водопілля річок k_q виду (4) здійснюється в прогностичній методиці при врахуванні груп водності водопіль, що одержані за знаком дискримінантних рівнянь (більше або менше нуля) за районними рівняннями типу

$$k_Y(k_q) = b_0 + b_1 k_X + b_2 k_X^2 + b_3 k_X^3, \quad (7)$$

де b_0, b_1, b_2, b_3 – коефіцієнти при модульних коефіцієнтах сумарних запасів води на водозборі k_X , що формують весняний стік річок.

Такі залежності побудовані для опорних, забезпечених тривалими даними сумісних гідрологічних і метеорологічних спостережень річкових водозборів басейну Дніпра (в межах суббасейнів), а коефіцієнти встановлені для кривих відповідно до знаку дискримінантних рівнянь і узагальнені для річок з однотипними умовами формування водопіль, що розташовані в межах однорідних районів і підрайонів [18].

В комплексному методі територіальних довгострокових прогнозів характеристик весняного водопілля річок перехід від прогнозованих за методикою модульних коефіцієнтів до величин шарів стоку чи максимальних витрат води здійснюється відповідно за рівняннями:

$$Y_m = k_Y \cdot Y_0 \quad (8)$$

чи

$$Q_m = k_q \cdot Q_0 = k_q \cdot q_0 \cdot F, \quad (9)$$

де Y_0 або $Q_0(q_0)$ – середньобагаторічні величини шарів весняного стоку або максимальних витрат (модулів) води; F – площі річкових водозборів, км^2 .

За наявності тривалих стокових спостережень на річках визначення середньобагаторічних величин шарів стоку або максимальних витрат (модулів) води водопіль здійснюється для кожної річки за часовим рядом спостережень на ній. Для здійснення територіального прогнозу стокових величин весняного водопілля, тобто включаючи річки, не вивчені у гідрологічному відношенні, задача

визначення цих величин ускладнюється.

В роботі обґрунтований метод територіального узагальнення шарів стоку та максимальних витрат води весняного водопілля річок для встановлення цих характеристик й для річок, по яких відсутні дані регулярних стокових спостережень. Саме в цьому полягає територіальний прогноз гідрологічних характеристик весняного водопілля в запропонованому комплексному методі.

Просторове узагальнення шарів стоку весняного водопілля в басейні р.Дніпро виконано при побудові картосхеми розподілу їх величин по території. Зазначена карто-схема побудована авторами роботи на основі існуючих регіональних залежностей середньобагаторічних величин шарів стоку від географічного положення центрів водозборів, їх залісеності і заболоченості шляхом поступового виключення впливу на стік цих чинників.

Так, встановлено, що для річок басейну Дніпра, як і інших рівнинних річок України, в цілому прослідковується направлена помірною редукація шарів стоку зі збільшенням заболоченості водозборів (f_6) і незначна тенденція до збільшення весняного стоку – при збільшенні залісеності водозборів (f_n) [18]. При цьому в [18] встановлені регіональні рівняння для визначення коефіцієнтів впливу залісеності k_n і заболоченості k_6 на середньобагаторічні величини шарів стоку Y_0 .

В основу методики визначення середньобагаторічного максимального модуля стоку весняного водопілля за відсутності спостережень на річках басейну Дніпра покладено модель типового редукаційного гідрографа водопілля у вигляді рівняння [39]

$$q_0 = q'_0 \psi(t_p / T_0) \varepsilon_F \cdot r, \quad (10)$$

де q_0 – середньобагаторічний модуль максимального стоку, $\text{м}^3/(\text{с} \cdot \text{км}^2)$; 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 руслозаплавного регулювання; r – коефіцієнт трансформації водопіль під впливом озер і водосховищ руслового типу.

Середньобагаторічний модуль максимальної

витрати води схилового припливу q'_0 в (10) визначається в рамках редуційних гідрографів [39,40]

$$q'_0 = 0,28 \frac{n+1}{n} \frac{1}{T_0} Y_0, \quad (11)$$

де $(n+1)/n$ – коефіцієнт нерівномірності схилового припливу тало-дощових вод у часі, що встановлений для басейнів рівнинних річок України, і зокрема басейну р. Дніпро, на рівні 8,1 [18]; T_0 – тривалість схилового припливу тало-дощових вод, год; Y_0 – середньобагаторічний шар стоку весняного водопілля, мм.

Після виконаних розрахунків величин тривалості схилового припливу T_0 для просторового їх узагальнення досліджувався вплив на T_0 місцевих чинників – залісеності і заболоченості. Встановлено, що для річок басейну Дніпра, як і інших рівнинних річок України, в цілому прослідковується збільшення тривалості припливу тало-дощової води зі схилів при збільшенні частки лісів на водозборі та його зростання зі збільшенням заболоченості [18].

Після послідовного виключення впливу географічної складової, а потім і місцевих чинників – залісеності і заболоченості на T_0 в роботі побудовано картосхему розподілу по території величин тривалості схилового припливу на водозборах. Зняті з картосхеми величини тривалості схилового припливу коректуються регіональними коефіцієнтами впливу на T_0 залісеності k'_d і заболоченості k'_b [18].

Комплексний метод територіальних довгострокових прогнозів шарів стоку чи максимальних витрат води весняного водопілля річок дає змогу визначення не тільки кількісних характеристик стоку, а й встановлення ймовірнісних величин їх настання чи повторюваності у багаторічному періоді, що стає найбільш актуальною задачею при прогнозуванні водопіль рідкісної ймовірності перевищення та виникнення небезпеки підтоплення територій, особливо коли стокові спостереження на річках відсутні.

Здійснений статистичний аналіз часових рядів шарів стоку та максимальних витрат води водопіль (встановлення коефіцієнтів асиметрії C_s , варіації C_v , співвідношення C_s/C_v) дозволив для оцінки забезпеченостей настання прогнозних величин $P_{Y(Q)}$ прийняти криву

трипараметричного гама-розподілу С.Н.Крицького і М.Ф. Менкеля (для встановленого середнього за територією значення $C_s/C_v=2,5$) [41]. При цьому прийнятий інтервал забезпеченостей (верхня P_1 і нижня P_2 межі, %), які встановлюються за таблицями [42] у вигляді

$$P_1 < P_{Y(Q)} < P_2. \quad (12)$$

У сучасних моделях, які використовуються для прогнозу елементів водного режиму річок, зокрема територіальному методі довгострокових прогнозів шарів стоку та максимальних витрат води весняного водопілля, дат початку водопілля та проходження його максимальних витрат (рівнів) води формою представлення прогнозів є найбільш наглядний метод – картографічне представлення прогнозних величин (у вигляді ізолій цих величин) [18]. Це відноситься й до гідрометеорологічних чинників, що формують весняне водопілля (максимальні запаси вологи в сніговому покриві, глибини промерзання ґрунтів та дати їх настання, температура повітря та ін.). Картографічна форма представлення запасів води в сніговому покриві та прогнозованих величин шарів весняного стоку передбачена й в моделі «Слой-2», автором якої є М.М.Соседко [13].

Картосхеми дозволяють одержувати прогнозні значення для будь-яких водозборів в межах розглядуваної території, включаючи річки і невеликі водотоки, по яких відсутні дані гідрологічних спостережень, і надавати завчасну оцінку можливих гідрологічних небезпек, пов'язаних з затопленням територій при проходженні високих весняних водопіль, відповідно вимог Паводкової Директиви 2007/60/ЄС [1]. При цьому корисним є представлення прогнозних стоківих характеристик на основі картосхем в відносних величинах – модульних коефіцієнтах [18]. Крім того, прогнозні забезпеченості ($P\%$) прогнозних величин шарів стоку та максимальних витрат води весняного водопілля у багаторічному розрізі також представляються у картографічному вигляді, що дає змогу їх визначення для будь-якого водозбору території незалежно від стану гідрологічної вивченості річок і оцінки ймовірності, у тому числі й рідкісної, повторюваності гідрологічного явища за період, згідно вимог ВПД 2007/06/ЄС.

5. ОПИС І АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ

Оцінка ефективності методики територіальних довгострокових прогнозів шарів стоку та максимальних витрат води весняного водопілля, яка запропонована в роботі, була здійснена за перевірними прогнозами 50 опорних річкових постів басейну Дніпра (в межах його суббасейнів). В цілому запропоновану методику територіальних довгострокових прогнозів весняного водопілля для басейнів Дніпра, враховуючи отримані критерії її точності (відсоток справдженості перевірних прогнозів за методикою сягає 89-96) і згідно положенням [43,44] можна вжити ефективною і рекомендувати для випуску щорічних довгострокових прогнозів характеристик весняного водопілля на річках в оперативних гідрометеорологічних центрах України.

В умовах багаторічних виражених тенденцій до зменшення шарів стоку (рис. 3) та максимальних витрат води (рис. 5) у період весняного водопілля в басейні р. Дніпро [17-19, 35], спостерігається і зменшення середньо-багаторічних значень цих величин, які є базовими в методиці територіальних довгострокових прогнозів максимального весняного стоку. Тому пропонується здійснювати уточнення цих характеристик шляхом, наприклад, введення до Y_0 і Q_0 (q_0) відповідних поправочних коефіцієнтів у вигляді співвідношень середньо-багаторічних величин стоку за різні періоди (наприклад, станом на 2000 і 2010 роки). Такі коефіцієнти узагальнені в межах рівнинної території України, включаючи басейн р. Дніпро, в залежності від географічної широти центрів водозборів річок (φ в частках $^\circ$) у вигляді регіональних рівнянь:

- для шарів весняного стоку (при $r = 0,27$)

$$K_{Y_{2010}} = 0,91 - 0,01(\varphi^\circ - 50); \quad (13)$$

- для максимальних витрат води водопілля (при $r = 0,23$)

$$K_{Q_{2010}} = 0,86 - 0,08(\varphi^\circ - 50). \quad (14)$$

В такому разі одержання спрогнозованих за методикою територіальних довгострокових прогнозів величин шарів стоку та максимальних витрат води весняного водопілля в басейні р. Дніпро здійснюється відповідно (8) і (9) у вигляді:

- при прогнозі шарів весняного стоку

$$Y'_m = k_Y \cdot Y_0 \cdot K_{Y_{2010}}; \quad (15)$$

- при прогнозі максимальних витрат води весняного водопілля

$$Q'_m = k_q \cdot q_0 \cdot K_{Q_{2010}} \cdot F. \quad (16)$$

Результати прогнозування шарів стоку весняного водопілля річок басейну Дніпра за (15) (за період 2001-2010 рр.) показали, що тіснота зв'язків спостережених і спрогнозованих величин шарів стоку $Y_m = f(Y'_m)$ оцінюється коефіцієнтами кореляції на рівні 0,59-0,63 на різні дати складання прогнозів. Забезпеченість $P\%$ допустимої похибки ($\delta_{\text{дон}}$, мм) складених прогнозів (за відношенням $\delta/\delta_{\text{дон}}$, де δ – абсолютна похибка прогнозів шарів стоку, мм) змінюється в межах 68-86%.

Аналогічно були виконані перевірені прогнози максимальних витрат води весняного водопілля у басейні Дніпра з урахуванням коефіцієнту $K_{Q_{2010}}$ за (16), які показали задовільні результати збіжності спостережених і спрогнозованих величин максимальних витрат води водопілля.

Завчасність довгострокових прогнозів шарів весняного стоку та максимальних витрат води обумовлена у кожному році швидкістю розвитку весняних процесів, тривалістю весняного водопілля річок, різних за географічним положенням і розмірами водозборів.

Так, при даті випуску основного прогнозу 20 лютого (встановленої Українським гідрометцентром ДСНС України) завчасність прогнозів шарів стоку змінюється від 75-90 діб на північному сході басейну (річки суббасейну Десни) до 50-65 діб – на півдні території (річки суббасейну Нижнього Дніпра), а максимальних витрат води – дещо нижча і в середньому становить 30-40 діб.

Практична реалізація методу територіальних довгострокових прогнозів гідрологічних характеристик весняного водопілля річок басейну Дніпра здійснена на прикладі аналізу умов формування та довгострокового прогнозування шарів стоку та максимальних витрат води водопілля 2017-2018 року за даними УкрГМЦ ДСНС України (<http://meteo.gov.ua>). При цьому гідрометеорологічна ситуація за осінньо-зимовий та весняний періоди у басейнах річок Дніпра характеризувалася наступним чином.

Перша половина зими 2017 р. була аномально-теплою. Середня за грудень температура повітря була позитивною (1-3 $^\circ\text{C}$ тепла) і на 3-7 $^\circ\text{C}$ вищою за норму. 17-23 грудня спостерігалася короткочасне похолодання до 2-6 $^\circ\text{C}$ морозу, встановився невисокий сніговий покрив (переважно до 20 см), який, внаслідок наступного

потепління, швидко розтанув.

Стійкий перехід температури повітря через 0°C в сторону від'ємних значень відбувся 8 січня (на 1,5 місяця пізніше середніх строків) одночасно по усій території басейну, а в середині другої декади встановився стійкий сніговий покрив. Зимовий режим погоди перервався 28 січня – 4 лютого короткою інтенсивною відлигою (температура повітря підвищувалася до 2-8°C, на півдні території – до 10°C тепла).

Кількість опадів за вересень-грудень перевищувала середні показники: в північній і західній частинах басейну – на 60-90 %, в східній частині – на 15-50 %. На крайньому півдні території кількість опадів була нижчою за норму. Такі опади і танення снігового покриву у грудні обумовили загальне підвищення водності більшості річок в осінньо-зимовий період. Водність річок басейну Десни (за виключенням Сейму), більшої частини басейну Прип'яті і правобережних приток Середнього Дніпра перевищувала норму на 10-100 %. На лівих притоках Середнього Дніпра і р. Сейм витрати води були нижчими за норму на 10-35 %, а на річках півдня території – на 40 % -70 %.

Підстильна поверхня впродовж зими характеризувалася достатнім зволоженням метрового шару ґрунту (близько та більше за норму) та неглибоким його промерзанням – від 14 см до 46 см. В басейнах Прип'яті і правих приток Середнього Дніпра промерзання ґрунту на кінець лютого складало 28 % – 86 % від середніх багаторічних значень, в басейнах лівих приток Середнього Дніпра і Сейму – від 44 % до 57 %, а в басейнах Десни і Нижнього Дніпра промерзання ґрунту становило 27 % – 53 % від норми.

На кінець лютого в басейні Дніпра утримувався зимовий режим погоди, продовжувалося інтенсивне накопичення запасів води в сніговому покриві і на більшій частині території 5 березня спостерігалися найбільші з початку зими значення снігозапасів. За даними снігозйомок в середньому по водозбору Дніпра висота снігового покриву змінювалася від 10 до 50 см. Запаси води у ньому зменшувалися у напрямку з північного сходу на південь і південний захід. Найбільша величина снігозапасів спостерігалася в басейнах річок суббасейну Десни і лівобережної частини суббасейну Середнього Дніпра (рр. Сула, Псел, Ворскла). Тут середні запаси по басейнах становили 70 мм – 120 мм, що на 20 % – 65 % вище норми максимальних за зиму снігозапасів, а в басейні р. Псел перевищення складало від 50 % до 89 %. Середні значення снігозапасів в басейнах річок суббасейну Прип'яті й

правобережної частини Середнього Дніпра (рр. Уж, Тетерів, Ірпінь, Рось) на 5 березня змінювались від 46 до 70 мм, що є біля норми або на 5 % -20 % вище норми, і лише на північному заході суббасейна Прип'яті величини снігозапасів (17 мм - 36 мм) складали 55-80 % від норми. В суббасейні Нижнього Дніпра запаси води в сніговому покриві (2 мм-48 мм) були також нижче норми (на 10 % - 90 %), за виключенням басейну р. Базавлук, де їх величина на 79 % перевищувала норму максимальних снігозапасів.

Зміна гідрометеорологічних умов протягом березня місяця призвела до додаткового снігонакопичення майже на всій території басейну Дніпра (з формуванням максимальних снігозапасів 20-25 березня) за винятком північно-західних і південно-західних областей (в межах суббасейна Прип'яті та правих приток Середнього і Нижнього Дніпра), де річний максимум снігозапасів не був перевищений.

Враховуючи наявні гідрометеорологічні умови поточного року, складання прогнозу здійснювалося в дату 5 березня (коли на річках зберігався режим стійкої підвищеної зимової межени з незначними добовими коливаннями рівнів води і на водних об'єктах відмічався льодостав, льодостав з ополонками) за умови подальшого випадіння опадів у вигляді снігу чи дощу на рівні та вищих за норму. По запропонованій методиці довгострокових прогнозів характеристик весняного водопілля для річок басейну Дніпра були складені довгострокові прогнози шарів стоку та максимальних витрат води весняного водопілля 2017-2018 р. по даних 50 опорних створів річок басейну. Прогнозні величини шарів стоку весняного водопілля представлені у вигляді картосхеми розподілу по території очікуваних модульних коефіцієнтів k_{γ} , що відносяться до геометричних центрів водозборів (рис. 6) та їх забезпеченостей у багаторічному розрізі $P\%$ (рис. 7). Аналіз картосхем розподілу модульних коефіцієнтів шарів стоку весняного водопілля річок та ймовірності їх настання у багаторічному періоді показує значну нерівномірність їх розподілу по території, враховуючи різноманітність фізико-географічних умов формування стоку в басейні р. Дніпро.

Прогнозні значення шарів весняного стоку і їх забезпеченості змінюються в широкому діапазоні. Так, в суббасейні Прип'яті модульні коефіцієнти k_{γ} становлять від 0,50 – на півдні суббасейну до 1,50 – на півночі при їх повторю-

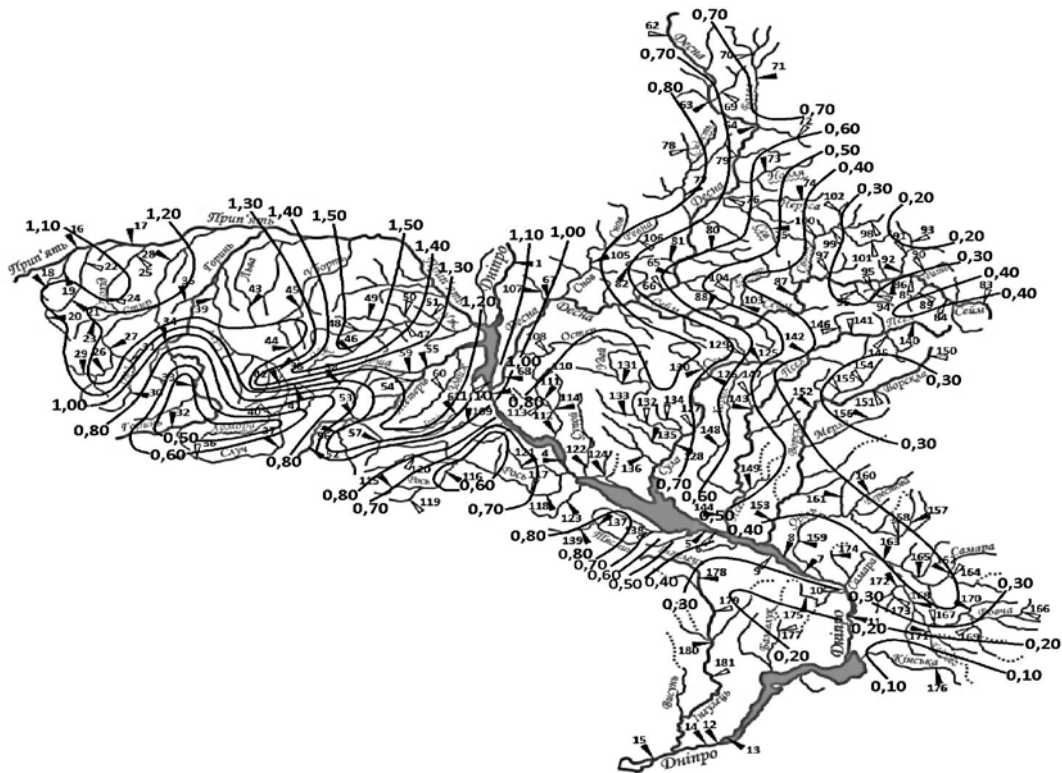


Рис. 6 – Розподіл прогностичних величин модульних коефіцієнтів шарів стоку (k_{γ}) весняного водопілля 2017-2018 року в басейні Дніпра.

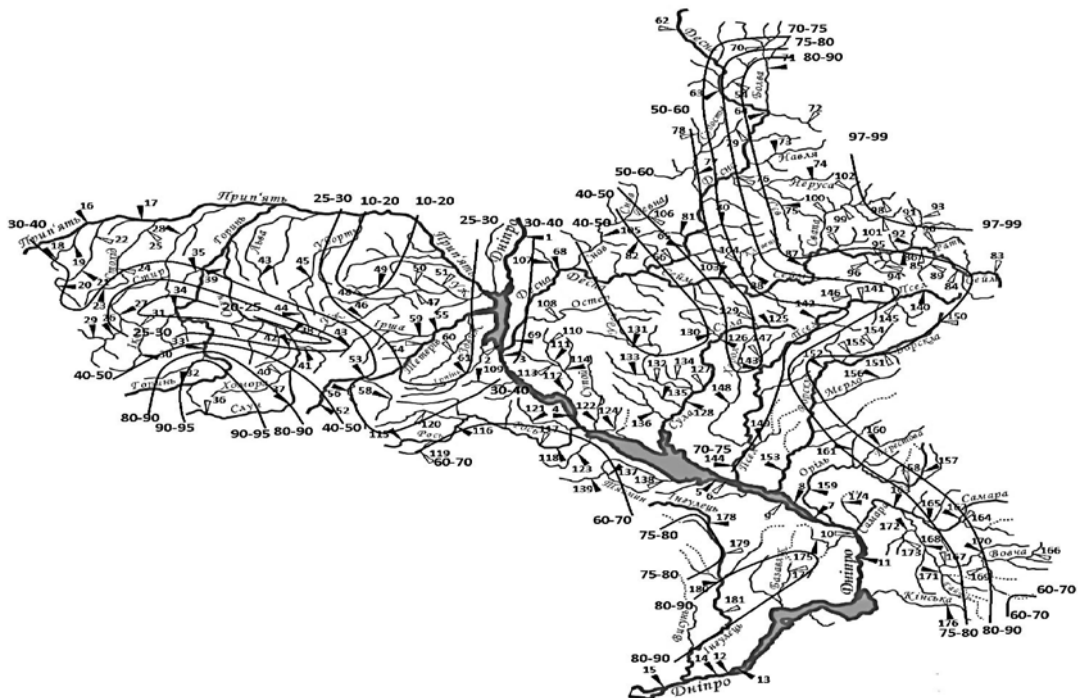


Рис. 7 – Розподіл забезпеченостей прогностичних величин шарів стоку весняного водопілля 2017-2018 року (P_{γ} %) в басейні Дніпра.

ваності у багаторічному розрізі від $P_{\gamma} = 90-95\%$ до $10-20\%$, відповідно. На річках суббасейнів Десни і Середнього Дніпра значення модульних коефіцієнтів k_{γ} в основному складають

$0,40-1,20$ (P_{γ} - від $75-80\%$ до $25-30\%$), зменшуючись із заходу на схід території, де вони становлять $0,20-0,40$ (при забезпеченості від $97-99\%$ до $80-90\%$). Найменші значення величин

k_{γ} прогноуються в суббасейні Нижнього Дніпра: 0,10–0,40 з ймовірністю їх настання у багаторічному періоді від 89-90 % до 60-70 %. Таким чином, на більшій частині розглядуваної території прогноуються водопілля нижче і біля норми. Найбільші значення модульних коефіцієнтів шарів стоку (1,30–1,50) очікуються в басейнах річок Случ і Уж, а найменші (0,10–0,40) – в суббасейні Нижнього Дніпра.

Аналогічні прогностичні картосхеми та просторовий аналіз формування стоку був здійснений й для максимальних витрат води поточного року. Прогноування максимальних рівнів води відбувалося за кривими витрат води для окремих гідрологічних постів.

В роботі здійснено оцінку довгострокових прогнозів стокових величин весняного водопілля 2017-2018 р. для 30 гідрологічних постів за критерієм оцінки гідрологічних прогнозів – абсолютної похибки прогнозів δ і її відносної величини $\delta/\delta_{\text{дон}}$ (де $\delta_{\text{дон}}$ - допустима похибка прогнозів) [43,44]. З числа складених прогнозів, що є справджуваними (за умови, що $\delta \leq \delta_{\text{дон}}$) для шарів стоку весняного водопілля 2017-2018 рр. критерій $\delta/\delta_{\text{дон}}$ змінюється в межах 0,03-1,0 (при забезпеченості допустимої похибки прогнозів 80%), а для максимальних витрат води – від 0,03 до 0,77 (при забезпеченості 68%). При цьому більші похибки одержані при прогнозуванні максимальних витрат води. Так, на річках суббасейну Десни прогнозні максимуми були нижчі за спостережені, які сформувалися від максимальних снігозапасів, що накопичилися аж 20-25 березня. На річках суббасейну Прип'яті і правих приток Середнього Дніпра навпаки – спрогнозовані максимальні витрати води були вищі за спостережені, у зв'язку з тим, що водопілля формувалося декількома хвилями, що призвело до зниження максимальних витрат води весняного водопілля 2017-2018 р. В цілому якість складених прогнозів, враховуючи вимоги керівних документів [43,44], можна вважати задовільною. Завчасність прогнозів становить в середньому 68 діб (для шарів стоку) та 32 доби (для максимальних витрат води).

6. ВИСНОВКИ

В роботі запропонований комплексний прогностичний метод для просторової завчасної оцінки характеристик весняного водопілля в басейні р. Дніпро. Особливістю комплексного прогностичного методу є можливість складання

прогнозів характеристик весняного стоку для будь-яких річок території не тільки з наявністю часових рядів стокових спостережень, а й тих, що взагалі не мають даних гідрологічних вимірів.

В комплексному методі територіальних довгострокових прогнозів характеристик весняного водопілля річок виконано типізацію водопіль за їх водністю при використанні апарату дискримінантної функції, що враховує ймовірне сполучення гідрометеорологічних чинників весняного водопілля у кожному році. В процесі ретельного дослідження умов формування весняного водопілля в басейні р. Дніпро (в межах України) до складу вектор-предиктора дискримінантної функції включені такі його чинники, як сумарні запаси вологи на водозборі, що беруть участь у формуванні весняного водопілля – максимальні перед весною снігозапаси та дощові опади періоду танення снігу та спаду водопілля, індекс зволоження ґрунтів і максимальна глибина їх промерзання, виражені в модульних коефіцієнтах, а також температура повітря зимово-весняного сезону (зокрема, лютого та березня). Коефіцієнти дискримінантних рівнянь узагальнюються для річок з близькими умовами формування водопіль в межах виділених під час розробки прогностичної методики однорідних районів на території басейну Дніпра (в межах його суббасейнів). Кількісні величини прогнозних характеристик встановлюються за районними залежностями, при обґрунтуванні методик визначення середньобагаторічних величин шарів стоку та максимальних витрат води для не вивчених у гідрологічному відношенні річок і з урахуванням існуючих часових тенденцій до змін водного режиму весняного водопілля річок басейну Дніпра. На основі статистичної обробки часових стокових рядів спостережень обґрунтовано використання кривої трипараметричного гамма-розподілу С.Н.Крицького і М.Ф.Менкеля (для встановленого середнього за територією значення $C_s/C_v = 2,5$) при визначенні прогнозної забезпеченості повторюваності водності весняних водопіль у багаторічному розрізі.

Обґрунтовані в комплексному методі територіальних довгострокових прогнозів стокових характеристик весняного водопілля річок прогностичні картосхеми дають можливість одночасно характеризувати розміри водопіль великої території басейну Дніпра, і, що особливо важливо для невивчених річок, визначати частоту повторюваності очікуваних шарів весняного стоку та максимальних витрат води у багаторі-

чному періоді. У той же час, по картосхемах очікуваних величин можна здійснювати прогноз характеристик стоку водопілля та ймовірність його виникнення у часовому періоді у будь-якому пункті розглядуваної території, включаючи й річки, де не здійснюються регулярні спостереження за річковим стоком.

Оцінка ефективності методики територіальних довгострокових прогнозів шарів стоку та максимальних витрат води весняного водопілля здійснена за гідрометеорологічними даними 50 опорних постів в межах суббасейнів річок басейну Дніпра. В цілому, враховуючи отримані критерії точності, методику можна вжити ефективною і рекомендувати для випуску щорічних довгострокових прогнозів характеристик весняного водопілля річок в оперативних підрозділах, що здійснюють прогностичне гідрологічне обслуговування споживачів.

На прикладі весняного водопілля 2017-2018 р. показана можливість прогностичної оцінки характеристик гідрологічного режиму річок басейну Дніпра, що дозволяє визначати зони підвищеного стоку річок весняного періоду і підвищеної загрози можливих затоплень прилеглих територій, особливо при проходженні водопіль рідкісної ймовірності перевищення.

Оцінка якості довгострокових прогнозів стоків величин весняного водопілля 2017-2018 рр., виконана для 30 гідрологічних постів басейну Дніпра (за критерієм оцінки $\delta / \delta_{дон}$) показала задовільні результати, при забезпеченості допустимої похибки перевірних прогнозів шарів стоку 80% і їх середній завчасності 68 діб та забезпеченості 68% і завчасності 32 доби – для максимальних витрат води.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Директива 2007/60/ЕС Европейского Парламента и Совета от 23 октября 2007 г. по оценке и управлению рисками наводнений (Директива по наводнениям). URL: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32007L0060> (дата звернення 15.02.2018)
2. Комаров В. Д. Весенний сток равнинных рек Европейской части СССР, условия его формирования и методы прогнозов. Москва: Гидрометеиздат, 1959. 295 с.
3. Паршин В. Н., Салов М. С. Весенний сток в бассейне р. Дона и его предвычисление. Ленинград: Гидрометеиздат, 1955. 102 с.
4. Харченко С. И. Формирование весенних половодий в условиях степей Нижнего Дона. Труды ГГИ. 1959. Вып. 71. С. 5-35.
5. Попов Е. Г. Вопросы теории и практики прогнозов речного стока. Ленинград: Гидрометеиздат, 1963. 395 с.
6. Романенко В. А. Расчет и прогноз объема весеннего половодья малых рек Украины по территориально

- общим зависимостям. Труды УкрНИГМИ. 1963. Вып. 39. С. 14-29.
7. Салазанов В. В. Весенний сток рек бассейна Верхнего Днепра. Ленинград: Гидрометеиздат, 1964. 141 с.
8. Змиева Е. С. Предвычисление весеннего притока воды в Куйбышевское водохранилище на основе территориальных прогнозов стока. Труды Гидрометцентра СССР. 1977. Вып. 186. С. 15-40.
9. Субботин А. И. Структура половодья и территориальные прогнозы весеннего стока рек в Нечерноземной зоне Европейской территории СССР. Ленинград: Гидрометеиздат, 1978. 97 с.
10. Змиева Е. С., Климова В. В. Долгосрочный прогноз максимального весеннего стока. Труды Гидрометцентра СССР. 1983. Вып. 265. С. 3-16.
11. Змиева Е. С. Весенний сток и метод его прогноза в бассейне Горьковского водохранилища. Труды Гидрометцентра СССР. 1980. Вып. 223. С. 18-43.
12. Руководство по гидрологическим прогнозам. Вып. 1: Долгосрочные прогнозы элементов водного режима рек и водохранилищ. Ленинград: Гидрометеиздат, 1989. 358 с.
13. 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.
14. Кочелаба С. И., Окорский В. П., Соседко М. Н. Оценка динамики промерзания и оттаивания почвы в полесских районах по метеорологическим данным. Труды УкрНИГМИ. 1990. Вып. 235. С. 18-26.
15. Рубцов И. Г. Условия формирования и метод расчета стока половодья в открытом бассейне. Труды УкрНИГМИ. 1970. Вып. 88. С. 25-41.
16. Рубцов И. Г. Особенности формирования, расчеты и прогнозы объема половодья притоков Среднего Днепра. Труды УкрНИГМИ. 1969. Вып. 97. С. 38-54.
17. Гопченко С. 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.
18. Шакирзанова Ж. Р. Довгострокове прогнозування характеристик максимального стоку весняного водопілля рівнинних річок та естуаріїв території України. Одеса: ФОП Бондаренко М.О., 2015. 252 с.
19. Шакирзанова Ж. Р. Визначення основних факторів весняного водопілля в басейнах лівобережжя Дніпра при довгострокових прогнозах його характеристик. Український гідрометеорологічний журнал. 2013. №13. С. 99-109.
20. Шакирзанова Ж. Р., Казакова (Докус) А. О. Територіальне довгострокове прогнозування характеристик максимального стоку весняного водопілля в басейні р. Південний Буг. Гідрологія, гідрохімія, гідроекологія. 2015. Т. 3(38). С. 25-33.
21. Shakirzanova, Zh., Kazakova, (Dokus) A., Volkov, A. (2017). Territorial long-term forecasting of spring flood characteristics in the modern climatic condition utilizing geographical information systems. *International Journal of Research In Earth & Environmental Sciences*, April, 7(1), 13-16. URL: <http://www.ijsk.org/ijrees.html>
22. Гопченко С. 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. Вып. 49. С. 406-413.
23. 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. Вып. 263. С. 89-95.
24. Ресурсы поверхностных вод СССР. Т. 6: Украина и

- Молдавия. Вып. 2. Среднее и Нижнее Поднепровье / под ред. М.С.Каганера. Ленинград : Гидрометеоиздат, 1971. 656 с.
25. Географічна енциклопедія України : у 3 т. / за ред. О.М. Маринича. Київ : «Українська Радянська енциклопедія» ім. М.П. Бажана, 1989. Т. 1: А – Ж. 416 с.
 26. Методики гідрографічного та водогосподарського районування території України відповідно до вимог Водної Рамкової Директиви Європейського Союзу / В.В.Гребінь, В.Б.Мокін, В.А.Шашук та ін. Київ : Інтерпрес ЛТД, 2013. 55 с.
 27. Водна Рамкова Директива ЄС 2000/60/ЄС. Основні терміни та їх визначення. Київ, 2006. 240 с.
 28. Наказ від 03.03.2017 №103 «Про затвердження меж районів річкових басейнів, суббасейнів та водогосподарських ділянок» / Міністерство екології та природних ресурсів України. URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/z0421-17> (дата звернення 12.04.2018)
 29. Швєбс Г.І., Ігошин М.І. Каталог річок і водойм України : навчально-довідковий посібник. Одеса : Астропринт, 2003. 392 с.
 30. Клімат: Україна. URL: <https://ru.climate-data.org/country/231/> (дата звернення 20.03.2018)
 31. Клімат України / за ред. В.М. Ліпінського, В.А. Дячука, В.М. Бабіченко. Київ : Видавництво Раєвського, 2003. 343 с.
 32. Агрокліматичний довідник по території України / за ред. Т. І. Адаменко, М. І. Кульбіді, А. Л. Прокопенка. Кам'янець-Подільський : ПП Галагодза Р.С., 2011. 108 с.
 33. Оцінка впливу кліматичних змін на галузі економіки України : монографія / Степаненко С.М., Польовий А.М., Школьнік Є.П. та ін. ; за ред. С.М. Степаненка, А.М. Польового. Одеса : Екологія, 2011. 696 с.
 34. Степаненко С. М. Динаміка та моделювання клімату : підручник для студентів вищих навчальних закладів. Одеса : Екологія. 2013. 204 с.
 35. Гребінь В. В. Сучасний водний режим річок України (ландшафтно-гідрологічний аналіз) : монографія. Київ : Ніка-Центр, 2010. 316 с.
 36. Шакирзанова Ж. Р. Аналіз та просторове узагальнення строків проходження весняних водопіль на рівнинних річках України. *Вісник Одеського державного екологічного університету*. 2008. Вип. 6. С 157-164.
 37. Пановский Г. А., Брайер Г. В. Статистические методы в метеорологии. Ленинград : Гидрометеоиздат, 1967. 242 с.
 38. Лобода Н. С. Методи статистичного аналізу у гідрологічних розрахунках і прогнозах : навч. посіб. Одеса : Екологія, 2010. 184 с.
 39. Гопченко Е. Д., Овчарук В. А. Формирование максимального стока весеннего половодья в условиях юга Украины : монография. Одесса : ТЭС, 2002. 110 с.
 40. Гопченко Е. Д., Романчук М. Е. Нормирование характеристик максимального стока весеннего половодья на реках Причерноморской низменности. Київ : КНТ, 2005. 148 с.
 41. Гопченко Е. Д., Лобода Н. С., Овчарук В. А. Гідрологічні розрахунки : підручник. Одеса : ТЕС, 2014. 484 с.
 42. Пособие по определению расчётных гидрологических характеристик. Ленинград : Гидрометеоиздат, 1984. 450 с.
 43. КД 52.5.3.02-12. Настанова з оперативної гідрології. Прогнози режиму вод суші. Гідрологічне забезпечення і обслуговування. Керівний документ / Український гідрометеорологічний центр. Київ, 2012. 120 с.
 44. КД 74.90.14-02572508-002:2015. Оцінка якості методики та точності (справджуваності) прогнозів режиму поверхневих вод суші. Керівний документ / Український гідрометеорологічний центр. Київ, 2015. 70 с.
- ## REFERENCES
1. *Direktiva 2007/60/EC Evropeyskogo Parlamenta i Soveta ot 23 oktyabrya 2007 g. po otsenke i upravleniyu riskami navodneniy (Direktiva po navodneniyam)* [Directive 2007/60 / EU of the European Parliament and Council from 23 October 2007 on flood risk assessment and management (Flood Directive)]. Available at: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32007L0060> (Accessed: 15.02.2018) (In Russ.)
 2. Komarov, V.D. (1959). *Vesenniy stok ravninnykh rek Evropeyskoy chasti SSSR, usloviya ego formirovaniya i metody prognozov* [Spring runoff of lowland rivers of the European part of the USSR, the conditions of its formation and methods of forecasting]. Moscow : Gidrometeoizdat. (In Russ.)
 3. Parshin, V.N., Salov, M.S. (1955). *Vesenniy stok v bassejne r. Dona i ego predvychnislenie* [Spring runoff in the basin of river Don and its prediction]. Leningrad : Gidrometeoizdat. (In Russ.)
 4. Kharchenko, S.I. (1959). *Formirovanie vesennikh polovodiy v usloviyakh stepey Nizhnego Dona* [Formation of spring floods in the conditions of the Lower Don steppes]. *Trudy GGI [Proceedings of State Hydrology Institute]*, 71, 5-35. (In Russ.)
 5. Popov, E.G. (1963). *Voprosy teorii i praktiki prognozov rechnogo stoka* [Questions of theory and practice of river runoff forecasts]. Leningrad : Gidrometeoizdat. (In Russ.)
 6. Romanenko, V.A. (1963). *Raschet i prognoz ob'yoma vesennego polovod'ya malykh rek Ukrainy po territorial'no obshchim zavisimostyam* [Calculation and forecast of the volume of spring flood of small rivers of Ukraine by territorially general dependencies]. *Trudy UkrNIGMI [Proceedings of the Ukrainian Scientific Research Hydrometeorological Institute]*, 39, 14-29. (In Russ.)
 7. Salazanov, V.V. (1964). *Vesenniy stok rek bassejna Verkhnego Dnepra* [Spring runoff of the Upper Dnieper basin rivers]. Leningrad : Gidrometeoizdat. (In Russ.)
 8. Zmieva, E.S. (1977). *Predvychnislenie vesennego pritoka vody v Kuybyshevskoe vodokhranilishche na osnove territorial'nykh prognozov stoka [Precomputation of spring water inflow in the Kuibyshev reservoir based on territorial forecasts of runoff]. Trudy Gidromettsentra SSSR [Proceedings of the USSR Hydrometeorological Center]*, 186, 15-40. (In Russ.)
 9. Subbotin, A.I. (1978). *Struktura polovod'ya i territorial'nye prognozy vesennego stoka rek v Nechernozemnoy zone Evropeyskoy territorii SSSR* [Flood structure and territorial forecasts of spring runoff of rivers in the Nonchernozem zone of the European territory of the USSR]. Leningrad : Gidrometeoizdat. (In Russ.)
 10. Zmieva, E.S., Klimova, V.V. (1983). *Dolgosrochnny prognoz maksimal'nogo vesennego stoka [Long-term forecast of maximum spring runoff]. Trudy Gidrometcentra SSSR [Proceedings of the USSR Hydrometeorological Center]*, 265, 3-16. (In Russ.)
 11. Zmieva, E.S. (1980). *Vesenniy stok i metod ego prognoza v bassejne Gor'kovskogo vodokhranilishcha [Spring runoff and the method of its forecast in the Gorky reservoir basin]. Trudy Gidrometcentra SSSR [Proceedings of the USSR Hydrometeorological Center]*, 223, 18-43. (In Russ.)
 12. *Rukovodstvo po gidrologicheskim prognozam. [Guidance on Hydrological forecasts]. Issue 1: Dolgosrochnnye prognozy elementov vodnogo rezhima rek i vodokhranilishch [Long-term forecasts of water regime elements of rivers and reservoirs].* (1989). Leningrad : Gidrometeoizdat. (In Russ.)
 13. Kochelaba, E.I., Okorskiy, V.P., Sosedko, M.N. (1990). *Matematicheskoe modelirovanie protsessov formirovaniya polovodnogo stoka na territorii Poles'ya s uchetom otpepel'nykh yavleniy* [Mathematical modeling of the formation processes of flood runoff in the territory of Polesie with allowance for thawing phenomena]. *Trudy*

- UkrNIGMI [Proceedings of the Ukrainian Scientific Research Hydrometeorological Institute]*, 235, 3-18. (In Russ.)
14. Kochelaba, E.I., Okorskiy, V.P., Sosedko, M.N. (1990). Otsenka dinamiki promerzaniya i ottaivaniya pochvy v poleskikh rayonakh po meteorologicheskim dannym [Assessment of the dynamics of freezing and thawing of the soil in the Polesie regions using meteorological data]. *Trudy UkrNIGMI [Proceedings of the Ukrainian Scientific Research Hydrometeorological Institute]*, 235, 18-26. (In Russ.)
 15. Rubtsov, I.G. (1970). Usloviya formirovaniya i metod rascheta stoka polovod'ya v otkrytom bassejne [Formation conditions and the method of calculating flood runoff in the open basin]. *Trudy UkrNIGMI. [Proceedings of the Ukrainian Scientific Research Hydrometeorological Institute]*, 88, 25-41. (In Russ.)
 16. Rubtsov, I.G. (1969). Osobennosti formirovaniya, raschety i prognozy ob"ema polovod'ya pritokov Srednego Dnepra [Features of the formation, calculations and forecasts of the volume of floods the Middle Dnieper tributaries]. *Trudy UkrNIGMI [Proceedings of the Ukrainian Scientific Research Hydrometeorological Institute]*, 97, 38-54. (In Russ.)
 17. Gopchenko, Ye.D., Ovcharuk, V.A., Shakirzanova, Zh.R. (2011). *Rozrakhunky ta dovhostrokovi prohnozy kharakterystyk maksimal'nogo stoku vesnianoho vodopillia v baseini r. Prypiat* [Calculations and long-term forecasts of characteristics maximum runoff of spring flood in the Pripjat river basin]. Odesa : Ekolohiia. (In Ukr.)
 18. Shakirzanova, Zh.R. (2015). *Dovhostrokovye prohnozuvannya kharakterystyk maksimal'nogo stoku vesnianoho vodopillia rivnynykh richok ta estuariiv terytorii Ukrainy* [Long-term forecasting of characteristics maximum runoff of spring flood lowland rivers and estuaries in Ukraine]. Odesa : FOP Bondarenko M.O. (In Ukr.)
 19. Shakirzanova, Zh.R. (2013). Vyznachennia osnovnykh faktoriv vesnianoho vodopillia v baseinakh livoberezhzhia Dnipra pry dovhostrokovykh prohnozakh yoho kharakterystyk [Determination of the main spring flood factors in the basins of the left bank Dnieper river at the long-term forecasts of its characteristics]. *Ukrains'kij gidrometeorologichnij zhurnal* [Ukrainian hydrometeorological journal], 13, 99-109. (In Ukr.)
 20. Shakirzanova, Zh.R., Kazakova (Dokus), A.O. (2015). Terytorialne dovhostrokovye prohnozuvannya kharakterystyk maksimal'nogo stoku vesnianoho vodopillia v baseini r. Pivdennyi Buh [Territorial long-term forecasting of characteristics the maximum runoff spring flood in the basin of the Southern Bug River]. *Hidrolohiia, hidrohimiia, hidroekolohiia [Hydrology, hydrochemistry, hydroecology]*, 3(38), 25-33. (In Ukr.)
 21. Shakirzanova, Zh., Kazakova, (Dokus) 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), 13-16. Available at: <http://www.ijsk.org/ijrees.html>
 22. Gopchenko, Ye.D., Shakirzanova, Zh.R., Andreievska, G.M. (2005). Kompiuterni zasoby prostorovoho uzahalnennia ochikuvanykh kharakterystyk maksimal'nogo stoku vesnianoho vodopillia rivnynykh richok (na prykladi basynu Desny) [Computer means of spatial generalization of the expected maximum runoff characteristics of spring flood of plain rivers (based on example of Desna basin)]. *Meteorologiya, klimatologiya ta gidrologiya [Meteorology, climatology & Hydrology]*, 49, 406-413. (In Ukr.)
 23. Shakirzanova, Zh.R., Andreievska, G.M., Boiko, V.M. (2012). Dovhostrokovye prohnozuvannya maksimalnykh vytrat vody vesnianykh vodopil richok livoberezhzhia Dnipra (z vykorystanniam prohramnogo kompleksu) [Long-term forecasting of maximum water discharges of spring floods of the Dnipro River's left bank rivers (using the software complex)]. *Naukovi pratsi Ukrainskoho naukovo-doslidnoho hidrometeorolohichnoho instytutu [Scientific works of the Ukrainian Research Hydrometeorological Institute]*, 263, 89-95. (In Ukr.)
 24. Kaganer, M.S. (Ed). (1971). *Resursy poverhnostnykh 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.)
 25. Marynych, O.M. (Ed.). (1989). *Heohrafichna entsyklopediia Ukrainy: u 3 t. [Geographic Encyclopedia of Ukraine in 3 vol.]. Vol. 1: A – Zh*. Kyiv : «Ukrainska Radianska entsyklopediia» im. M.P. Bazhana. (In Ukr.)
 26. Hrebin, V.V., Mokin, V.B., Stashuk, V.A. et al. (2013). *Metodyky hidrohrafichnoho ta vodohospodarskoho raionuvannya terytorii Ukrainy vidpovidno do ymoho Vodnoi Ramkovo Dyrektyvy Yevropeiskoho Soiuzu* [Methods of hydrographic and water management zoning of the territory of Ukraine in accordance with the requirements of the Water Framework Directive of the European Union]. Kyiv : Interpres LTD. (In Ukr.)
 27. *Vodna Ramkova Dyrektyva YeS 2000/60/YeS. Osnovni termyny ta yikh vyznachennia* [EU Water Framework Directive 2000/60/EU. Key terms and definitions]. (2006). Kyiv. (In Ukr.)
 28. *Nakaz vid 03.03.2017 №103 «Pro zatverdzhennia mezh raioniv richkovykh baseyniv, subbaseyniv ta vodohospodarskykh dilianok»* [Order from 03.03.2017 № 103 "On approval of the boundaries of areas of river basins, subbasins and water areas"]. (2017). Ministry of Ecology and Natural Resources of Ukraine. Available at: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/z0421-17> (Accessed: 12.04.2018). (In Ukr.)
 29. Shvebs, H.I., Ihoshyn, M.I. (2003). *Kataloh richok i vodoim Ukrainy* [Catalog of rivers and reservoirs of Ukraine]. Odesa: Astroprint. (In Ukr.)
 30. *Klimat: Ukraina* [Climate: Ukraine]. Available at: <https://ru.climate-data.org/country/231/> (Accessed: 20.03.2018). (In Ukr.)
 31. Lipinskiy, V.M., Diachuk, V.A., Babichenko, V.M. (Eds). (2003). *Klimat Ukrainy* [Climate of Ukraine] Kyiv : Raievskoho Publ. (In Ukr.)
 32. Adamenko, T.I., Kulbida, M.I., Prokopenko, A.L. (Eds). (2011). *Ahroklimatychni dovidnyk po terytorii Ukrainy* [Agroclimatic directory by the territory of Ukraine]. Kamianets-Podilskyi : PP Halahodza R.S. (In Ukr.)
 33. Stepanenko, S.M., Polovyi, A.M., Shkolnyi, Ye.P. et al. (2011). *Otsinka vplyvu klimatychnykh zmin na haluzi ekonomiky Ukrainy* [Assessment of the impact of climate change on the economic sectors of Ukraine]. Edited by S.M. Stepanenko, A.M. Polovyi. Odesa : Ekolohiia. (In Ukr.)
 34. Stepanenko, S.M. (2013). *Dynamika ta modeliuvannya klimatu* [Dynamics and modeling of the climate]. Odesa: Ekolohiia. (In Ukr.)
 35. Hrebin, V.V. (2010). *Suchasnyi vodnyi rezhyim richok Ukrainy (landshaftno-hidrolohiichnyi analiz)* [The modern water regime of Ukrainian rivers (landscape-hydrological analysis)]. Kyiv : Nika-Tsentr. (In Ukr.)
 36. Shakirzanova, Zh.R. (2008). Analiz ta prostorove uzahalnennia strokiv prokhodzhennia vesnianykh vodopil na rivnynykh richkakh Ukrainy [Analysis and spatial generalization of the timing passage of spring floods on the plain rivers of Ukraine]. *Visnik Odes'kogo derzhavnogo ekolohichnogo universitetu [Bulletin of Odesa state environmental university]*, 6, 157-164. (In Ukr.)
 37. Panovskiy, G.A., Brayer, G.V. (1967). *Statisticheskie metody v meteorologii* [Statistical methods in meteorology]. Leningrad : Gidrometeoizdat. (In Russ.)
 38. Loboda, N.S. (2010). *Metody statystychnoho analizu u hidrolohiichnykh rozrakhunkakh i prohnozakh* [Methods of statistical analysis in hydrological calculations and forecasts]. Odesa : Ekolohiia. (In Ukr.)
 39. Gopchenko, E.D., Ovcharuk, V.A. (2012). *Formirovanie maksimal'nogo stoka vesennego polovod'ya v usloviyakh*

- yuga Ukrainy* [Formation of the maximum spring runoff in the conditions of the south of Ukraine]. Odessa State Environmental University. Odessa : TES. (In Russ.)
40. Gopchenko, E.D., Romanchuk, M.E. (2005). *Normirovanie kharakteristik maksimal'nogo stoka vesennego polovod'ya na rekakh Prichernomorskoj nizmennosti* [Normalization of the characteristics maximum runoff of spring flood on the rivers of the Black Sea lowland]. Kiev : KNT. (In Russ.)
41. Gopchenko, Ye.D., Loboda, N.S., Ovcharuk, V.A. (2014). *Hidrolohichni rozrakhunky* [Hydrological calculations]. Odesa : TES. (In Ukr.)
42. *Posobie po opredeleniyu raschetnykh gidrologicheskikh kharakteristik* [Manual to determining the calculated hydrological characteristics]. (1984). Leningrad : Gidrometeoizdat. (In Russ.)
43. Ukrainian Hydrometeorological Center. (2012). *KD 52.5.3.02-12. Nastanova z operatyvnoi hidrohologii. Prohnozy rezhymu vod sushi. Hidrohologichne zabezpechennia i obsluhovuvannia* [Guidance Document 52.5.3.02-12 : Instruction on operative hydrology. Forecasts of land waters regime. Hydrological Providing and Maintenance]. Kyiv. (In Ukr.)
44. Ukrainian Hydrometeorological Center. (2015). *KD 74.90.14-02572508-002:2015. Otsinka yakosti metodyky ta tochnosti (spravdzhuvanosti) prohoziv rezhymu poverkhnevnykh vod sushi.* [Guidance Document 74.90.14-02572508-002:2015 : Assessment of method quality and accuracy (validity) of forecasts of surface land waters regime]. Kyiv. (In Ukr.)

METHOD OF FORECASTING ASSESSMENT OF THE MAXIMUM RUNOFF CHARACTERISTICS OF THE DNIPRO BASIN'S RIVERS IN SPRING SEASON

Zh. R. Shakirzanova¹, V. M. Boyko², M. V. Goptsiy¹, E. I. Todorova¹
A. A. Dokus¹, Z. F. Serbova¹, N. N. Shvets¹

¹Odessa State Environmental University,

15, Lvivska St., 65016 Odessa, Ukraine, natzin@ukr.net

² Ukrainian hydrometeorological center of the state emergency service of Ukraine
6-B, Zolotovoritska St., 01030 Kyiv, Ukraine, vicbojko@meteo.gov.ua

Introduction. In Ukraine, under the conditions of current climate variability, the water content of the rivers, including the period of spring flood, changes. Against the background of the general tendency of reduction of the runoff characteristics of the spring flood of the rivers in Ukraine, formation of catastrophic floods on rivers leading to flooding of territories and destruction of economic objects should not be ruled out. The research is aimed at solving an important scientific-applied and socio-economic problem of improving the water management in the basin of the country's large waterway, the Dnipro River, through probabilistic assessments of hydrological threats which include spring flood and its consequences – floods of various magnitudes. Therefore it is necessary to create a unified universal mathematical model for formation, calculation and long-term forecasting of water flood characteristics, and to implement it for the Dnipro Basin's rivers (including small ones which usually are not recorded in the data of runoff observations), taking into account the climate changes of the winter-spring period.

The purpose consists in prognostic assessment of the hydrological regime characteristics of the Dnipro Basin's rivers during the most full-flowing phase of their water regime, the spring flood, for the purpose of spatial monitoring of the state of water objects during this period. The research offers the method of territorial long-term forecasts of the spring floods characteristics which is based on the theory of channel isochrones and consideration of the complex of runoff formation hydrometeorological factors with preliminary determination of the type of water content of spring flood. The spatial representation of forecast variables in cartographic form will allow estimation of the size of the water flood and its long-term repeatability throughout the entire basin and preparation of forecasts for separate rivers, regardless of the degree of their hydrological exploration.

Results. As a result of application of the complex forecasting method of territorial long-term forecasts of the spring flood characteristics of the rivers (through the example of the Dnipro Basin within Ukrainian borders), typification of floods based on their water content was performed using a discriminant function apparatus which takes into account the probable combination of hydrometeorological factors of spring floods. In terms of regional dependencies forecast of runoff depths and maximum water flow of floods was conducted and probability of their occurrence in the long-term period was determined. Assessment of the forecast methodology provided satisfactory results, and, under the conditions of long-term tendency to decrease runoff depths and maximum water flow during the spring flood of the Dnipro Basin's rivers, it is proposed to specify the average long-term values of these variables which are basic ones when applying the method of territorial long-term forecasts of the maximum spring runoff of rivers. A spatial preliminary estimation of the size of spring floods within the Dnipro River Basin was also fulfilled. The authors completed implementation of the method of territorial long-term forecasts of spring flood

characteristics using the data of the water flood of 2017-2018.

Conclusion. In general, taking into account the obtained criteria of accuracy, the method can be considered effective and recommended for release of annual long-term forecasts of the rivers' spring flood characteristics at in operational units delivering forecasting hydrological services to respective consumers. Through the example of the spring flood of 2017-2018 the possibility of forecasting assessment of the hydrological regime characteristics of the Dnipro Basin's rivers was shown which allows determining the zones of increased river runoff over the spring period and increased threat of possible flooding of surrounding areas, especially when the floods with a rare probability of excess occur.

Key words: complex of hydrometeorological factors, type of flood's water content, long-term tendencies, forecast characteristics.

МЕТОД ПРОГНОСТИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ ХАРАКТЕРИСТИК МАКСИМАЛЬНОГО СТОКА РЕК БАСЕЙНА ДНЕПРА В ВЕСЕННИЙ ПЕРИОД ГОДА

Ж. Р. Шакирзанова¹, В. М. Бойко², М. В. Гопций¹, Е. И. Тодорова¹,
А. А. Докус¹, З. Ф. Сербова¹, Н. Н. Швец¹

¹ Одесский государственный экологический университет,
ул. Львовская, 15, 65016, Одесса, Украина, natzin@ukr.net

² Украинский гидрометеорологический центр ГСЧС Украины,
ул. Золотоворотская, 6-В, 01030, Киев, Украина, vicbojko@meteo.gov.ua

В работе предложен комплексный метод территориальных долгосрочных прогнозов характеристик весенних половодий рек (на примере бассейна р. Днепр в пределах территории Украины), что позволяет при использовании комплекса гидрометеорологических факторов и установлении типа водности половодья за районными зависимостями вести ежегодное прогнозирование слоев стока и максимальных расходов воды половодий, определять вероятность их наступления в многолетнем периоде. Прогностическая оценка характеристик гидрологического режима рек бассейна Днестра при картографическом представлении прогнозных величин (в виде модульных коэффициентов) и их вероятностных показателей выполнена для весеннего половодья 2017-2018 г. Оценка методики прогнозов показала удовлетворительные результаты, а в условиях многолетней тенденции к уменьшению слоев стока и максимальных расходов воды в период весеннего половодья рек бассейна р. Днепр предлагается осуществлять уточнение среднескользящих значений этих величин, которые являются базовыми в методике территориальных долгосрочных прогнозов максимального весеннего стока рек.

Ключевые слова: комплекс гидрометеорологических факторов, тип водности половодья, многолетние тенденции, прогнозные характеристики.

Подання до редакції : 22. 10. 2018
Надходження остаточної версії : 07. 11. 2018
Публікація статті : 29. 11. 2018