

currently operating maps of the spatial distribution of the minimum water runoff module are analyzed in detail.

Previous and modern studies of the minimum runoff of plain and mountain rivers of the territory of Ukraine are considered separately. The study focuses on mountain rivers, in particular the Tisza basin. Given that the floodplain character of the rivers of the basin, this region has rarely received the attention of scientists engaged in minimal runoff studies, but in recent decades, given the climatic changes and the increase in the duration and intensity of droughts in general, different scientists and our studies have evaluated minimum drainage water of the Tisza River basins. The genetic homogeneity of the bounded periods was taken into account; considerable attention is paid to the use of modern methods of estimating the space-time dynamics of the minimum runoff, the creation of modern maps of the minimal runoff of different security.

**Keywords:** minimum runoff, low flow, genetic homogeneity, mountain rivers, minimum runoff map, minimum runoff probability

**Надійшла до редколегії 07.10.2019**

УДК 556.013

**Большот Г.В.<sup>1</sup>, Гребінь В.В.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Український гідрометеорологічний інститут ДСНС України та НАН України

<sup>2</sup> Київський національний університет імені Тараса Шевченка

## **АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ДОСЛІДЖЕНЬ ВПЛИВУ ЗМІН КЛІМАТУ НА СТІК ВОДИ РІЧОК**

**Ключові слова:** стік води, зміни клімату, гідрологічні моделі.

**Вступ.** На початку ХХІ сторіччя водні ресурси набувають вирішального значення в економічній безпеці країн. Вони забезпечують усі сфери функціонування суспільства, виступають як важливий природний ресурс, що визначає можливості подальшого економічного та соціально-екологічного розвитку країни.

Величезна кількість наукових публікацій в світі присвячена дослідженню глобальних та регіональних змін клімату та їх впливу на водні ресурси. На нашу думку, в Україні даному питанню приділяється недостатня увага. Переважна кількість наукових досліджень виконана для оцінки сучасних тенденцій змін водного стоку річок, проте перспективні оцінки величини водних ресурсів України надано лише у декількох працях.

**Мета роботи.** В умовах глобальних та регіональних змін клімату особливо важливо мати уявлення про їх безпосередній вплив на водний режим річок. Зміни складових водно-теплого балансу викликають, у підсумку, зміни стоку річок. Вивчення цих змін стає однією з головних задач сучасної гідрології. Також постає не менш важливе завдання щодо отримання саме достовірних оцінок таких змін.

**Результати досліджень та їх обговорення.** Оцінка та прогнозування впливу кліматичних змін на зміни водного стоку річок стає вкрай актуальним завданням, особливо на сучасному етапі розвитку, який характеризується стрімким зростанням кількості населення й відповідно збільшенням навантаження на природні ресурси. Для дослідження даної проблематики науковцями використовуються різні підходи та методи.

Методи для вирішення поставленої задачі можна об'єднати в чотири основні групи:

1. Дослідження багаторічних рядів спостережень та палеогеографічних даних на предмет можливого «подовження» тенденцій, які було виявлено;

2. Дослідження чутливості гідрологічних моделей;

3. Використання глобальних та регіональних проекцій загальних моделей

циркуляції атмосфери та океану (МЗЦАО) в якості вихідних даних в гідрологічну модель. Як правило, гідрологічні моделі потребують розширювальну здатність на рівні басейну, яку не можуть запропонувати існуючі МЗЦАО. Отже, зазвичай використовують різні методи зниження розмірності (downscaling) моделей. Останні дослідження з цього напрямку для моделювання стоку води річок використовують геоінформаційні технології, що надають задовільні результати.

4. Аналогові дослідження, що проводяться на основі існуючих гідрологічних даних і напрямків та пошуком подібних сценаріїв розвитку ситуацій.

Для оцінки впливу змін клімату на річковий стік у майбутньому використовують дві стратегії. Згідно із першою, розглядаються коливання кліматичних чинників формування стоку, за якими отримують висновки про коливання водності, тобто відбувається прогноз змін водних ресурсів за виявленою тенденцією змін кліматичних чинників. Згідно із другою стратегією дані кліматичних сценаріїв використовуються у математичних моделях формування стоку води.

Вченими Європейського Союзу до розрахунків стоку води річок в умовах глобального потепління переважно залучаються математичні моделі стоку, на вході яких використовується метеорологічна інформація. Саме такі моделі придатні для розрахунків і прогнозів змін водних ресурсів за даними сценаріїв глобального потепління. Певну проблему використання сучасних математичних моделей формування стоку становить недостатня роздільна здатність моделей.

Гідрологічні моделі із розподіленими параметрами, які залучають до розрахунків стоку води метеорологічні характеристики та характеристики водозбору, дозволяють отримувати ряди поверхневого та підземного стоку. Вони являють собою систему диференціальних рівнянь, представлених у частинних похідних, які описують процеси, що відбуваються у басейні річки.

Зокрема, напіврозподілена еко-гідрологічна модель SWIM (Soil and Water Integrated Model) описує взаємодію води і підстильної поверхні. Вона була розроблена на основі двох моделей: SWAT і MATSALU. Модель рекомендована для розрахунків гідрологічних процесів на річкових басейнах з площею від 100 км<sup>2</sup> до 200000 км<sup>2</sup>. SWIM має трьохрівневу схему поділу: басейн - суббасейн – гідротоп. Передбачається, що ці гідротопи характеризуються рівномірною поведінкою процесів, пов'язаних із гідрологією, рослинністю і поживними речовинами.

Для відновлення даних про природний (непорушений водогосподарською діяльністю) стік у Одеському державному екологічному університеті під керівництвом проф. Гопченка Є.Д. та проф. Лободи Н.С. було розроблено модель — «клімат-стік», яка дозволяє виконувати розрахунки природного стоку за метеорологічними даними та переходити до визначення побутового (перетвореного водогосподарською діяльністю) стоку на базі імітаційного стохастичного моделювання [12-14]. У другій половині минулого сторіччя розроблення такої моделі було актуальним через значну трансформацію стоку річок України водогосподарською діяльністю та нестачу даних спостережень за стоком як у природних, так і порушених водогосподарською діяльністю умовах на півдні України. Починаючи з 80-х років минулого сторіччя актуальність, теоретична і практична значущість моделі посилилася внаслідок додавання до проблеми оцінки наслідків діяльності людини такого чинника як зміни глобального клімату.

Для моделювання водного стоку з водозбору за даними глобальних та регіональних моделей також використовується модель SWAT (The Soil & Water Assessment Tool). Однак, модель має різну якість калібрування в залежності від заданого водозбору.

Моделювання водного стоку також відбувається на основі модуля NAM моделі Rainfall-Runoff моделюючого програмного комплексу Mike 11 (Данія), який було

адаптовано до репрезентативних водозборів.

Актуальною задачею залишається як розробка методичних підходів щодо оцінки можливих майбутніх змін водних ресурсів за даними МЗЦАО, так і удосконалення самих МЗЦАО.

Найбільш відомими підходами щодо оцінки можливого впродовж ХХІ століття впливу кліматичних змін на водні ресурси з використанням даних МЗЦАО є водно-балансові методи та використання гідрологічних моделей різного класу. Однак, в дослідженнях для річок України, використовується тільки один з цих підходів. В деяких дослідженнях при адаптації тих чи інших методів до річок України не акцентується увага на адекватності відтворення цими методами водного стоку базового (минулого або сучасного) періоду.

У багатьох роботах вказується на те, що зміни клімату безпосередньо впливають на водний режим річок. В Україні вплив сучасних кліматичних змін на водний режим річок досліджували такі вчені як Вишневський В.І., Балабух В.О., Гопченко Є.Д., Гребінь В.В., Кіндюк Б.В., Лобода Н.С., Лук'янець О.І., Ободовський О.Г., Сніжко С.І. та ін.

Так, Вишневський В.І. оцінював зміни кліматичних показників та їх вплив на водний стік, термічний і льодовий режим річок. Зміни водного стоку річок України у роботі [4] досліджено за оцінкою значимості лінійних трендів рядів спостережень, спостерігаються позитивні тренди природного стоку, за винятком р. Дністер, які обумовлені збільшенням кількості опадів та зменшенням випаровування.

У роботах Гопченко Є.Д., Лободи Н.С. та ін. [12] досліджено багаторічні коливання водного стоку річок, у яких відмічається, що у рядах спостережень існують направлені часові тренди, які необхідно враховувати при гідрологічних розрахунках та прогнозах.

У своїх дослідженнях Балабух В.О., Лук'янець О.І., Ободовський Ю.О. [3, 30] для басейну р. Тиси в межах України встановили кореляційні взаємозв'язки річкового стоку води з визначальними його кліматичними факторами для річного проміжку часу, теплого та холодного періоду року. Отримані рівняння взаємозв'язку створюють можливість прогнозних оцінок змін стоку води в умовах сучасних змін клімату.

У роботах Лук'янець О.І., Ободовського О.Г. та ін. [27, 31] на основі виявлених стохастичних закономірностей коливань середнього багаторічного стоку гірських та передгірських річок Українських Карпат виконано прогнозні оцінки його мінливості на найближче майбутнє.

Сніжко С.І., Купріков І.В., Шевченко О.Г., Павельчук Є.М., Дідовець Ю.С. виконали оцінку можливих змін водного стоку на території України в ХХІ столітті. В основу розрахунків за допомогою водно-балансової моделі покладено результати прогнозування змін клімату України з використанням регіональної моделі REMO. Встановлено дві основні тенденції щодо використання водних ресурсів, відносно яких потрібно розробляти заходи адаптації водогосподарського управління в Україні: тенденція до зменшення водного стоку з території рівнинної частини України і стабілізація водного стоку гірських річок Карпатського регіону [11, 18, 19].

У роботі Гребеня В.В. виконано узагальнюючий аналіз впливу кліматичних змін на сучасний водний режим річок України та його внутрішньорічний розподіл на основі ландшафтно-гідрологічного аналізу. Встановлено єдину точку відліку для всієї території України, яку можна вважати початком періоду сучасних кліматичних змін – 1989 рік [6].

Мудра К.В. виконала перевірку чисельної кліматичної моделі REMO для території басейну Дністра. Для зменшення відхилень прогнозованих значень

запропоновано використання перехідного коефіцієнту, застосування якого дозволяє зменшити відсоток відхилень майже вдвічі [24].

Дослідження російських вчених, що присвячені зміні водності річок в умовах потепління клімату, вказують на іншу дату початку кліматичних змін - 1978 рік. Таку ситуацію можна пояснити тим, що зміни клімату, як зазначає Мартазінова В.Ф. у своїх роботах [15,16], обумовлені змінами великомасштабної циркуляції атмосфери, які раніше та більш активно проявилися у високих широтах.

Кіндюк Б.В. дослідив вплив сучасних коливань клімату на характеристики максимального дощового стоку в Карпатах. Виявлено наявність позитивних тенденцій в коливаннях водності річок, що може надалі супроводжуватися збільшенням інтенсивності зливових паводків та затопленням територій [8].

Оцінка можливих змін водних ресурсів України в умовах глобального потепління виконана Гопченком Є.Д. та Лободою Н.С. (Одеський державний екологічний університет). За результатами дослідження очікується зниження стоку на 25% на території України; поряд із зниженням норми стоку буде спостерігатися посилення його багаторічної мінливості та асиметричності його розподілу [12].

Горбачова Л.О. виконала дослідження можливих майбутніх змін водного стоку річок України за даними чотирьох регіональних кліматичних моделей, а саме REMO/ESCHAM5, RCA3-E/ESCHAM5, RCA3-B/BCM, RRCM/HadCM3Q0 для сценарію A1B на основі базового (1991-2010 рр.) та прогнозного (2031-2050 рр.) періодів. Для дослідження було залучено 31 басейн, які добре характеризують умови формування водного стоку річок на всій території України. Очікувані зміни середньорічного стоку води річок України на середину XXI століття найвірогідніше будуть перебувати в межах природних коливань водності [5].

Роботи Авгайтиса С.В., Ткаченко Т.Г. та Овчарук В.А. присвячені розрахункам максимального стоку води весняного водопілля в басейні Сіверського Дінця та розробці нових методик його розрахунків [1, 17]

Степанян С.В. виконала комплексну оцінку дослідження реальних, об'єктивних гідрологічних і гідрохімічних характеристик басейну Сіверського Дінця за сучасними даними на основі системного підходу та створила системну модель оцінки і прогнозування екологічного стану за отриманими кількісними і якісними характеристиками [20].

На початку XXI століття більшої актуальності набули проблеми вивчення територіальних особливостей водно-ресурсного потенціалу регіону (Клименко В.Г., 2005 р.; Покоłodна Н.М., 1999 р.; Яковлев В. В., 2001 р.), впливу антропогенних чинників на екологічний стан річок урбанізованих регіонів (Дрозд Г.Я., Пашутіна Є.Н., 2006 р., Задніпровський В. В., 2003 р.).

Комплексну оцінку екологічного стану басейну Сіверського Дінця на основі узагальнення результатів багаторічних комплексних досліджень висвітлено Крайнюковим О. М. (Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна) [10].

Оцінка стану водних ресурсів р. Сіверський Донець, розрахована за сценаріями глобального потепління в роботі Бабаєвої О.В. Надається нове вирішення задачі розрахунків характеристик річного стоку р. Сіверський Донець (у межах України) в умовах недостатності даних спостережень, водогосподарських перетворень та змін глобального клімату для потреб водопостачання [2].

У дослідженні Лободи Н.С., Сербової З.Ф., Божок Ю.В. установлені основні тенденції зміни водних ресурсів України на основі моделі «клімат-стік» з використанням низки сценаріїв A1B (M10) та представлено карти ізоліній коефіцієнтів зволоження, середніх багаторічних величин річного стоку та їх змін [13]. Отримані оцінки змін водних ресурсів річок України мають істотні розбіжності між

собою за періодом настання змін, їх значеннями та тенденціями.

Питання впливу змін клімату на водні ресурси почало висвітлюватися у публікаціях російських вчених у 80-х роках минулого століття. Статті, стосовно даної теми у з'являються на початку 90-х років. Розрахунки вчених Державного гідрологічного інституту (ДГІ) виявили, що очікуються значні зміни сезонного стоку річок колишнього СРСР. За результатами подальших досліджень було встановлено, що на значній території європейської частини колишнього СРСР відбуваються ідентичні зміни внутрішньорічного розподілу стоку – зростання водності у літньо-осінні та зимові місяці, зниження стоку весняного водопілля та деяке зростання річного стоку.

У доповідях вчених ДГІ Шикломанова І.А. та Георгієвського В.Ю. (Всесвітня конференція по змінам клімату, Москва, 2003 р.) висвітлено суттєве зростання стоку меженних місяців протягом останніх 20-25 років. Проведені ними розрахунки відмічають невизначеність в оцінках майбутніх змін стоку води для басейнів річок Дніпра та Дону.

Значного поширення набули праці щодо оцінки водних ресурсів на найближчі роки під впливом кліматичних змін та антропогенного впливу. Робота Кіреєвої М.Б. полягає в комплексному регіональному просторово-часовому узагальненні характеристик водного режиму річок басейну Дону з урахуванням сучасної гідрометеорологічної інформації, оцінці впливу сучасних і очікуваних змін клімату на водний режим річок і водогосподарський комплекс території [7].

В результаті проведеного дослідження Корнілова А.Г., Лебедевої М.Г., Решетнікова В.С. виявлено тренди до зниження річного та сезонного стоку р. Сіверський Донець на тлі прогресуючого дефіциту поверхневого і підземного живлення вод в регіоні, обумовленого впливом кліматичних і антропогенних чинників [9].

Фролова Н.Л., Кіреєва М.Б., Агафонова С.А., Евстігнєєв В.М., Ефремова Н.А., Повалішнікова Е.С. [21] аналізували сучасні особливості внутрішньорічного розподілу стоку рівнинних річок Європейської території Росії. Виявлено його значні переформування в басейнах Волги і, головним чином, Дону, які супроводжуються зменшенням стоку водопілля до 50% і збільшенням меженного стоку до 40-60%.

Увага щодо дослідження впливу кліматичних змін на водні ресурси приділяється вченими різних країн світу. В роботах вчених розглядаються питання впливу змін клімату на водні ресурси, елементи водного балансу, реакції коливань стоку на сценарії кліматичних змін.

За останні роки в світі було опубліковано велику кількість наукових праць, що безпосередньо стосуються впливу кліматичних змін на водні ресурси.

Групою вчених з різних країн Bryson Bates (Австралія), Zbigniew W. Kundzewicz (Німеччина), Shaohong Wu (Китай), Jean Palutikof (Великобританія) виконано роботу, що спрямована на вирішення проблеми нестачі прісної води в умовах зміни клімату, представлено адаптаційні заходи [23].

Антропогенного і кліматичного впливу на розподіл сезонного стоку стосувалось дослідження Henian Wang, Lihua Chen, Xinxiao Yu (Китай). Аналіз щорічних і сезонних рядів показав, що стік мав тенденцію до зменшення, з різкою точкою зміни в 1979 році. Антропогенний вплив на зміни стоку більший, ніж вплив зміни клімату. Подібного висновку дійшли у своїй роботі «Impact of climate change and human activities on runoff in the Weihe River Basin, China» науковці з Китаю та США [25, 26].

У ряді зарубіжних робіт досліджується вплив кліматичних змін на компоненти водного балансу за допомогою моделі SWAT (Soil and Water Assessment Tool). Так у роботі T.V.Reshmidevi, D. Nagesh Kumar, R. Mehrotra, A. Sharma (Індія, Австралія) за результатами розрахунків виявлено граничне зниження річного стоку,

збільшення середньорічної кількості опадів та підвищення температури [34].

Oliver Moses, Wame L. Hambira встановили, що зміна клімату, ймовірно, призведе до подальшого збільшення сумарного випаровування. Основними кліматичними параметрами, необхідними в якості вхідних змінних в моделях були швидкість вітру, сонячна радіація та відносна вологість [32].

Зміни у компонентах водного балансу (та їх величина) є результатом взаємодії між зміною клімату та змінами у землекористуванні. Як наслідок, вплив зміни клімату в басейні залежить від господарської діяльності в конкретному басейні. Такий висновок був зроблений німецькими вченими Navneet Kumar, Bernhard Tischbein, Jürgen Kusche, Patrick Laux та ін. [28].

Дуже велика увага приділяється питанням адаптації до змін клімату та нестачі водних ресурсів. У дослідженні Aditya P. Nilawar, Milind L. Waikar (Індія) використано три регіональні моделі циркуляції RCP 4.5 і 8.5 для чотирьох майбутніх періодів P1 (2009–2031), P2 (2032–2053), P3 (2054–2075) та P4 (2076–2099). Відмінності в сценаріях порівнюються з базовим періодом 1980–2005 років. Прогнозовані опади та температура показують значну тенденцію до зростання, аналогічним чином прогнозується, що середньомісячний стік збільшиться [22].

Orlando B. у своїй роботі «Climate change and water adaptation issues» говорить про те, що зміни клімату будуть основною проблемою, з якою зіткнуться фахівці водогосподарської галузі протягом наступних 20-25 років. Також, автор детально розглядає адаптаційні заходи до змін клімату, що впливають на водні ресурси [33].

**Висновки.** В світі широко використовується ансамблевий підхід для підвищення достовірності оцінок можливих майбутніх змін клімату (водного стоку), тобто застосування даних декількох моделей ГKM (Глобальна кліматична модель) та РКМ (Регіональна кліматична модель) з подальшим осередненням їхніх результатів. Нажаль в Україні такий методологічний підхід не використовувався. За допомогою водно-балансового методу можна достатньо якісно оцінювати локальні прояви глобальних кліматичних змін в межах окремих водозборів. Для оцінки часової мінливості складових водного балансу використовується порівняння наявних гідрологічних та кліматичних характеристик сучасного періоду з періодом кліматичної норми, а також апарат різницевих інтегральних кривих, який відображає характерні тенденції в багаторічній динаміці окремих складових водного балансу.

Аналізуючи всі наявні підходи до дослідження впливу кліматичних змін на водні ресурси, можна зробити висновок, що найкращим є комплексний метод. Зважаючи на те, що в світі застосовується чимала кількість методів, достовірні оцінки можна отримати шляхом розробки саме уніфікованих та обґрунтованих методів і методик. Отже, першим кроком на такому шляху повинен бути порівняльний аналіз результатів, які отримані найбільш вживаними методами.

У сфері водних ресурсів зміни клімату можуть призвести до зміни кількості опадів, гідродинамічного режиму та водного балансу річок, збільшенню кількості катастрофічних паводків та надмірної посухи, дефіциту прісної води. Нажаль, в Україні дослідженню даного питання приділяється недостатня увага. Саме тому оцінка впливу кліматичних змін на водні ресурси та їх прогнозування є дуже актуальним завданням.

#### Список літератури

1. Авгайтис С.В. Використання формул об'ємного типу для нормування розрахункових характеристик весняного водопілля в басейні р.Сіверський Донець: автореф. дис ... канд. геогр. наук: 11.00.07 / Сергій Володимирович Авгайтис. Одеса, 2011. 21 с. 2. Бабаєва О.В. Річний стік в басейні Сіверського Дінця: автореф. дис. ... канд. геогр. наук: 11.00.07 / Олена Володимирівна Бабаєва. Одеса, 2009. 20 с. 3. Балабух В.О., Лук'янець О.І. Зміна клімату та його наслідки у Рахівському районі Закарпатської області. Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. Т. 2, 2015. С. 132-148. 4. Вишне夫斯基 В.И. Влияние изменений климата на ISSN:2306-5680 Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. 2019. № 4 (55)

гидрологический режим рек Украины. VI Всероссийский гидрологический съезд, 2004. С. 223-225. **5. Горбачева Л.О.** Оцінка можливих майбутніх змін водного стоку річок України (на середину XXI століття). *Культура народів Причорномор'я* № 267, 2014. С.89-94. **6. Гребін В.В.** Сучасний водний режим річок України (ландшафтно-гідрологічний аналіз). Київ, 2010. 316 с. **7. Киреева М.Б.** Водный режим рек бассейна Дона в условиях меняющегося климата: автореф. дис. ... канд. геогр. наук: 25.00.27 / Мария Борисовна Киреева. Москва, 2013. 30 с. **8. Кіндюк Б.В.** Гідрографічна мережа та зливовий стік річок Українських Карпат: автореф. дис. ... докт. геогр. наук: 11.00.07 / Борис Володимирович Кіндюк. Київ, 2004. 30 с. **9. Корнилов А.Г., Лебедева М.Г., Решетников В.С.** Тренды изменения годового и сезонного стока р. Северский Донец за период инструментальных гидрологических наблюдений (на территории Белгородской области). *Научные ведомости, серия Естественные науки*. Выпуск 38, 2017. С.133-140. **10. Крайнюков О.М.** Сучасний екологічний стан водних об'єктів басейну річки Сіверський Донець. Людина та довкілля. Проблеми неоекології, № 3, 2015. С. 71-77. **11. Купріков І.** Вплив клімату на внутрірічний хід річкового стоку та атмосферних опадів в Україні. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Географія*. Вип. 56, 2009. С. 25–28. **12. Лобода Н.С.** Закономірності коливань річного стоку річок України при змінах клімату на початку XXI сторіччя. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*, Т. 18, 2010. С. 62-70. **13. Лобода Н.С., Сербова З.Ф., Божок Ю.В.** Вплив змін клімату на водні ресурси України у сучасних та майбутніх умовах (за сценарієм глобального потепління А1В). *Український гідрометеорологічний журнал* №15, 2014. С.149-159. **14. Лобода Н.С., Пилип'юк В.В.** Визначення водних ресурсів річок Псел та Ворскла з урахуванням впливу підстильної поверхні на базі моделі «Клімат – Стік». *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія* Т.2, 2015. С. 48-55. **15. Мартазінова В.Ф., Остапчук В.В.** Особенности тропосферных и стратосферных атмосферных процессов при резких потеплениях и похолоданиях на территории Украины в теплый период года. *Наук. праці УкрНДГМІ*, Вип. 249, 2001. С. 24-34. **16. Мартазінова В.Ф., Сологуб Т.А.** Атмосферная циркуляция, формирующая засушливые условия на территории Украины в конце XX столетия. *Труды УкрНИГМИ*, Вип. 248, 2000. С. 36-47. **17. Овчарук В.А.** Розрахункові характеристики максимального стоку весняної повені у басейні р.Сіверський Донець: автореф. дис. ... канд. геогр. наук: 11.00.07 / Валерія Анатоліївна Овчарук. Одеса, 1998. 27 с. **18. Павельчук Є. М.** Особливості гідрологічного і гідрохімічного режиму річок Житомирського Полісся в умовах зміни клімату: автореф. дис. ... канд. геогр. наук: 11.00.07 / Є. М. Павельчук. Київ, 2016. 22 с. **19. Сніжко С.І.** Багаторічна мінливість стоку основних річок басейну Чорного моря. *Гідрологія, гідрохімія та гідроекологія.*, 2001. Т. 2. С. 373-378. **20. Степанян С.В.** Закономірності та екологічне значення гідрологічних та гідрохімічних характеристик басейну р.Сіверського Дінця: автореф. дис. ... канд. геогр. наук: 11.00.07 / С.В. Степанян. Київ, 1999. 16 с. **21. Фролова Н.Л., Киреева М.Б., Агафонова С.А., Евстигнеев В.М., Ефремова Н.А., Повалишнікова Е.С.** Внутригодовое распределение стока равнинных рек Европейской территории России и его изменение. *Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление*, № 4, 2015. С. 4–20. **22. Aditya P. Nilawar, Milind L. Waikar.** Impacts of climate change on streamflow and sediment concentration under RCP 4.5 and 8.5: A case study in Purna river basin, India. *Science of The Total Environment*, Volume 650, Part 2, 2019, Pages 2685-2696. **23. Bates, B.C., Z.W. Kundzewicz, S. Wu and J.P. Palutikof.** Climate Change and Water. Technical Paper of the Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC Secretariat, Geneva, 2008, pp. 210. **24. Greben V., Mudra K.** Use of a regional climate model (REMO) for water flow trends evaluation in the Dniester river basin. *Visnyk Kyivskogo nacionalnogo universytetu imeni Tarasa Shevchenka GEOGRAFIYA [Bulletin of Taras Shevchenko National University of Kyiv, Geography]*, 1 (70), 2018. Pp.22-28. **25. Henian Wang, Lihua Chen, Xinxiao Yu.** Distinguishing human and climate influences on streamflow changes in Luan River basin in China. *CATENA*, Volume 136, January 2016, Pages 182-188. **26. Jianxia Chang, Yimin Wang, Erkan Istanbuluoglu, Tao Bai, Qiang Huang, Dawen Yang, Shengzhi Huang.** Impact of climate change and human activities on runoff in the Weihe River Basin, China. *Quaternary International*, Volumes 380–381, September 2015, Pages 169-179. **27. Lukianets O., Obodovskyi O. Grebin V. Pochaievets O.** Time series analysis and forecast estimates of the mean annual water runoff of rivers in of the Prut and Siret basins (within Ukraine). *Electronic book with full papers from XXVIII Conference of the Danubian Countries on Hydrological Forecasting and*

Hydrological Bases of Water Management, Kyiv, 2019. P. 133-139. **28.** Navneet Kumar, Bernhard Tischbein, Jürgen Kusche, Patrick Laux. Impact of climate change on water resources of upper Kharun catchment in Chhattisgarh, India. Journal of Hydrology: Regional Studies, Volume 13, October 2017, Pages 189-207. **29.** Olga Lukianets. Stochastic regularities of long-term fluctuation of average annual runoff of rivers of Tisza river basin (within the Ukraine). Book with full papers from XXVII Conference of Danubian Countries on the hydrological forecasting and hydrological bases of water management. 2017. Golden Sands, Bulgaria. P.280-290. **30.** Olga Lukianets and Iurii Obodovskyi Spatial, Temporal and Forecast Evaluation of Rivers' Streamflow of the Drainage Basin of the Upper Tisa under the Conditions of Climate Change. Scientific Journal: ENVIRONMENTAL Research, Engineering and Management, Kaunas, KTU. 2015. No. 71(1). P. 36-46. **31.** Oleksandr Obodovskyi, Olga Lukianets Patterns and Forecast of Long-term Cyclical Fluctuations of the Water Runoff of Ukrainian Carpathians Rivers. Scientific Journal of Environmental Research, Engineering and Management, Vol. 73, No.1. Kaunas University of Technology, 2017. P. 33-47. **32.** Oliver Moses, Wame L. Hambira. Effects of climate change on evapotranspiration over the Okavango Delta water resources. Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C, Volume 105, June 2018, Pages 98-103. **33.** Orlando B. Climate change and water adaptation issues. The European Environment Agency, EEA Technical Report No 2/2007 **34.** Reshmidevi, T. V. Nagesh Kumar, D. Mehrotra, R. Sharma, A. Yongan. Estimation of the climate change impact on a catchment water balance using an ensemble of GCMs. Journal of Hydrology, Volume 556, p. 1192-1204.

### References

**1.** Avhaytis S.V. Vykorystannya formul ob'yemnoho typu dlya normuvannya rozrakhunkovykh kharakterystyk vesnyanoho vodopillya v baseyni r.Sivers'kyi Donets': avtoref. dys ... kand. heohr. nauk: 11.00.07 / Serhiy Volodymyrovych Avhaytis. Odesa, 2011. 21 s. **2.** Babayeva O.V. Richnyy stik v baseyni Sivers'koho Dintsya: avtoref. dys. ... kand. heohr. nauk: 11.00.07 / Olena Volodymyrivna Babayeva. Odesa, 2009. 20 c. **3.** Balabukh V.O., Luk'yanets' O.I. Zmina klimatu ta yoho naslidky u Rakhivs'komu rayoni Zakarpat-s'koyi oblasti. Hidrolohiya, hidrokhimiya i hidroekolohiya. T. 2, 2015. S. 132-148. **4.** Vyshnevskyy V.Y. Vlyyanye yzmenenyy klymata na hydrolohychesky rezhy m rek Ukrayny. VI Vserossyyskyy hydrolohycheskyy cezd, 2004. S. 223-225. **5.** Horbacheva L.O. Otsinka mozhlyvykh maybutnikh zmin vodnoho stoku richok Ukrayiny (na seredynu XXI stolittya). Kul'tura narodov Prychernomor'ya № 267, 2014. S.89-94. **6.** Hrebin' V.V. Suchasnyy vodnyy rezhy m richok Ukrayiny (landshaftno-hidrolohichnyy analiz). Kyiv, 2010. 316 s. **7.** Kyreeva M.B. Vodnyy rezhy m rek basseyna Dona v uslovyyakh menyayushchegosya klymata: avtoref. dys. ... kand. heohr. nauk: 25.00.27 / Maryya Borysovna Kyreeva. Moskva, 2013. 30 c. **8.** Kindyuk B.V. Hidrografichna merezha ta zlyvovyy stik richok Ukrayins'kykh Karpat: avtoref. dys ... dokt. heohr. nauk: 11.00.07 / Borys Volodymyrovych Kindyuk. Kyiv, 2004. 30 s. **9.** Korniylov A.H., Lebedeva M.H., Reshetnykov V.S. Trendy yzmenenyya hodovoho y sezonnoho stoka r. Severskyi Donets za peryod ynstrumental'nykh hydrolohycheskykh nablyudenyy (na terrytoryy Belhorodskoy oblasti). Nauchnye vedomosti, seryya Estestvennye nauky. Vypusk 38, 2017. S.133-140. **10.** Kraynyukov O.M. Suchasnyy ekolohichnyy stan vodnykh ob'yektiv baseynu richky Sivers'kyi Donets'. Lyudyna ta dovkilliya. Problemy neoekolohiyi, № 3, 2015. S. 71-77. **11.** Kuprikov I. Vplyv klimatu na vnutryrichnyy khid richkovoho stoku ta atmosferynykh opadiv v Ukrayini. Visnyk Kyyivs'koho natsional'noho universytetu imeni Tarasa Shevchenka. Heohrafiya. Vyp. 56, 2009. S. 25–28. **12.** Loboda N.S. Zakonomirnosti kolyvan' richnoho stoku richok Ukrayiny pry zminakh klimatu na pochatku XXI storichchya. Hidrolohiya, hidrokhimiya i hidroekolohiya, T. 18, 2010. S. 62-70. **13.** Loboda N.S., Serbova Z.F., Bozhok YU.V. Vplyv zmin klimatu na vodni resursy Ukrayiny u suchasnykh ta maybutnikh umovakh (za stsenariyem hlobal'noho poteplinnya A1V). Ukrayins'kyi hidrometeorolohichnyy zhurnal №15, 2014. S.149-159. **14.** Loboda N.S., Pylyp'yuk V.V. Vyznachennya vodnykh resursiv richok Psel ta Vorskla z urakhuvannyam vplyvu pidstyl'noyi poverkhni na bazi modeli «Klimat – Stik». Hidrolohiya, hidrokhimiya i hidroekolohiya T.2, 2015. S. 48-55. **15.** Martazynova V.F., Ostapchuk V.V. Osobennosti troposfernykh y stratosfernykh atmosferynykh protsessov pry rezkykh poteplenyyakh y pokholodanyyakh na terrytoryy Ukrayiny v tepley peryod hoda. Nauk. pratsi UkrNDHMI, Vyp. 249, 2001. S. 24-34. **16.** Martazynova V.F., Solohub T.A. Atmosfernaya tsyrkulyatsyya, formyruyushchaya zasushlyvye uslovyia na terytoryy



Ukrayny v kontse XX stolettya. Trudy UkrNYHMY, Vyp. 248, 2000. S. 36-47. **17. Ovcharuk V.A.** Rozrakhunkovi kharakterystyky maksimal'noho stoku vesnyanoi poveni u baseyni r.Sivers'kyy Donets': avtoref. dys. ... kand. heohr. nauk: 11.00.07 / Valeriya Anatoliyivna Ovcharuk. Odesa, 1998. 27 c. **18. Pavel'chuk YE. M.** Osoblyvosti hidrolohichnoho i hidrokhimichnoho rezhymu richok Zhytomyrs'koho Polissya v umovakh zminy klimatu: avtoref. dys. ... kand. heohr. nauk: 11.00.07 / YE. M. Pavel'chuk. Kyiv, 2016. 22 c. **19. Snizhko S.I.** Bahatorichna minlyvist' stoku osnovnykh richok baseynu Chornoho morya. Hidrolohiya, hidrokhimiya ta hidroekolohiya. T. 2, 2001. S. 373-378. **20. Stepanyan S.V.** Zakonomirnosti ta ekolohichne znachennya hidrolohichnykh ta hidrokhimichnykh kharakterystyk baseynu r.Sivers'koho Dintsya: avtoref. dys ... kand. heohr. nauk: 11.00.07 / S.V. Stepanyan. Kyiv, 1999. 16 s. **21. Frolova N.L., Kyreeva M.B., Ahafonova S.A., Evstyhneev V.M., Efremova N.A., Povalyshnykova E.S.** Vnutryhodove raspredelenye stoka ravnynnykh rek Evropeyskoy terrytoryi Rossyy y eho yzmenenye. Vodnoe khozyaystvo Rossyy: problemy, tekhnolohyy, upravlenye, № 4, 2015. S. 4–20. **22. Aditya P. Nilawar, Milind L. Waikar.** Impacts of climate change on streamflow and sediment concentration under RCP 4.5 and 8.5: A case study in Purna river basin, India. Science of The Total Environment, Volume 650, Part 2, 2019, Pages 2685-2696. **23. Bates, B.C., Z.W. Kundzewicz, S. Wu and J.P. Palutikof.** Climate Change and Water. Technical Paper of the Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC Secretariat, Geneva, 2008, pp. 210. **24. Greben V., Mudra K.** Use of a regional climate model (REMO) for water flow trends evaluation in the Dniester river basin. Visnyk Kyivskogo nacionalnogo universytetu imeni Tarasa Shevchenka GEOGRAFIYA [Bulletin of Taras Shevchenko National University of Kyiv, Geography], 1 (70), 2018. Pp.22-28. **25. Henian Wang, Lihua Chen, Xinxiao Yu.** Distinguishing human and climate influences on streamflow changes in Luan River basin in China. CATENA, Volume 136, January 2016, Pages 182-188. **26. Jianxia Chang, Yimin Wang, Erkan Istanbuluoglu, Tao Bai, Qiang Huang, Dawen Yang, Shengzhi Huang.** Impact of climate change and human activities on runoff in the Weihe River Basin, China. Quaternary International, Volumes 380–381, September 2015, Pages 169-179. **27. Lukianets O., Obodovskyi O. Grebin V. Pochaievets O.** Time series analysis and forecast estimates of the mean annual water runoff of rivers in of the Prut and Siret basins (within Ukraine). XXVIII Conference of the Danubian countries on hydrological forecasting and hydrological bases of water managemen, Book of abstract, Kyiv, 2019. P. 42. **28. Navneet Kumar, Bernhard Tischbein, Jürgen Kusche, Patrick Laux.** Impact of climate change on water resources of upper Kharun catchment in Chhattisgarh, India. Journal of Hydrology: Regional Studies, Volume 13, October 2017, Pages 189-207. **29. Olga Lukianets.** Stochastic regularities of long-term fluctuation of average annual runoff of rivers of Tisza river basin (within the Ukraine). Book with full papers from XXVII Conference of Danubian Countries on the hydrological forecasting and hydrological bases of water management. 2017. Golden Sands, Bulgaria. pp.280-290. **30. Olga Lukianets and Iurii Obodovskyi** Spatial, Temporal and Forecast Evaluation of Rivers' Streamflow of the Drainage Basin of the Upper Tisa under the Conditions of Climate Change. Scientific Journal: ENVIRONMENTAL Research, Engineering and Management, Kaunas, KTU. 2015. No. 71(1). P. 36-46. **31. Oleksandr Obodovskyi, Olga Lukianets** Patterns and Forecast of Long-term Cyclical Fluctuations of the Water Runoff of Ukrainian Carpathians Rivers. Scientific Journal of Environmental Research, Engineering and Management, Vol. 73, No.1. Kaunas University of Technology, 2017. P. 33-47. **32. Oliver Moses, Wame L. Hambira.** Effects of climate change on evapotranspiration over the Okavango Delta water resources. Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C, Volume 105, June 2018, Pages 98-103. **33. Orlando B.** Climate change and water adaptation issues. The European Environment Agency, EEA Technical Report No 2/2007 **34. Reshmidevi, T. V. Nagesh Kumar, D. Mehrotra, R. Sharma, A. Yongan.** Estimation of the climate change impact on a catchment water balance using an ensemble of GCMs. Journal of Hydrology, Volume 556, p. 1192-1204.

#### **Аналітичний огляд досліджень впливу змін клімату на стік води річок**

**Большот Г.В., Гребін В.В.**

*Розглянуто результати досліджень українських та закордонних вчених щодо дослідження впливу змін клімату на стік води річок. Дане питання в більшості досліджень висвітлюється за допомогою гідрологічного моделювання. Оцінці тенденцій майбутніх змін річкового стоку води, що відбуваються під впливом кліматичних змін в Україні, приділено недостатньо уваги. Для*

отримання достовірних оцінок впливу кліматичних змін на водні ресурси рекомендується використовувати комплексний метод дослідження.

**Ключові слова:** стік води, дослідження, зміни клімату, гідрологічні моделі.

**Аналитический обзор исследований влияния изменений климата на сток воды рек  
Большот А.В., Гребень В.В.**

Рассмотрены результаты исследований влияния изменений климата на сток рек украинских и зарубежных ученых. Данный вопрос в большинстве исследований освещается с помощью гидрологического моделирования. Оценке тенденций будущих изменений речного стока воды под влиянием климатических изменений в Украине уделено недостаточно внимания. Для получения достоверных оценок влияния климатических изменений на водные ресурсы рекомендуется использовать комплексный метод исследования.

**Ключевые слова:** сток воды, исследования, изменения климата, гидрологические модели.

**Analytical review of investigations of the climate change impact on river water flow  
Bolbot Hanna, Grebin Vasyi**

A huge number of scientific researches in the world are devoted to the research of global and regional climate change and their impact on water resources. In Ukraine, this issue is receiving insufficient attention. Researches have been done to assess current trends in river runoff, but future estimates of changes in Ukraine's water flow have been presented in only a few papers. Present studies of this issue are conducted using hydrological modeling. The ensemble approach is widely used to increase the reliability of estimates of possible future changes in water runoff, that is, the use of data from several GCM and RCM models, with subsequent averaging of their results. Unfortunately, this methodological approach was not used in Ukraine. Using the water-balance method, local manifestations of global climate change within individual catchments can be estimated with sufficient quality. To estimate the temporal variability of the components of the water balance, a comparison of the available hydrological and climatic characteristics of the current period with the period of the climatic norm is used, as well as the method of differential integral curves, which reflects characteristic tendencies in the long-term dynamics of individual components of the water balance.

Analyzing all available approaches to research on the impact of climate change on water flow, we can conclude that a complex method is the best for this investigation. Given that a large number of methods are used in the world, reliable estimates can be obtained by developing unified and validated methods and techniques. Therefore, the first step in this way should be a comparative analysis of the results obtained by the most commonly used methods.

In the field of water, climate change can lead to changes in rainfall, hydrodynamic regime and water balance of rivers, increase of catastrophic floods and excessive drought, shortage of fresh water. Unfortunately, there is insufficient attention paid to the study of this issue in Ukraine. That is why assessing the impact of climate change on water flow and forecasting them is a very necessary task.

**Key worlds:** river runoff, researches, climate change, hydrological models.

**Надійшла до редколегії 14.10.2019**