УДК 556.161."45".18

ВОДНІ РЕСУРСИ УКРАЇНИ XXI СТОРІЧЧЯ ЗА СЦЕНАРІЯМИ ЗМІН КЛІМАТУ (RCP8.5 ТА RCP4.5)

Н.С. Лобода, проф., д.геогр.н., зав. кафедри гідроекології та водних досліджень
Ю.В. Божок, к.геогр.н., асистент кафедри гідроекології та водних досліджень

Одеський державний екологічний університет,
вул. Львівска,15 , 65016, Одеса, Україна, julia_bojok@mail.ru

Установлено основні тенденції зміни водних ресурсів України на основі моделі «клімат-стік» в XXI столітті з використанням сценаріїв зміни клімату RCP8.5 та RCP4.5. Показано, що до середини поточного сторіччя передбачається зменшення водних ресурсів рівнинної території України (до 70% на південному сході) та їх стабільність або зростання в географічній зоні Українських Карпат, особливо в басейні р.Тиса. Аналіз змін співвідношення ресурсів вологи та тепла показав посилення посушливості клімату і розширення зони недостатнього зволоження та напіварідної зони.

Ключові слова: водні ресурси, сценарії зміни клімату, модель «клімат-стік», кліматичний стік, прогнози змін водних ресурсів.

1. ВСТУП

Актуальність роботи обумовлена необхідністю прогнозування змін водних ресурсів планети, країн та окремих регіонів з метою вживання своєчасних заходів, які мають запобігати негативним наслідкам змін клімату Землі. Однією із найважливіших задач є передбачення перспектив створення дефіциту прісної води. Україна має нерівномірно розподілені за її територією запаси поверхневих та підземних вод. Нестача водних ресурсів є характерною для степової зони, де для забезпечення потреб людини і господарської діяльності здавна покривалась за рахунок стоку великих річок та експлуатації підземних вод [1]. Розширення зони недостатнього зволоження означає збільшення площі, на якій буде формуватися дефіцит водоспоживання та водовикористання.

Суттєві наслідки кліматичних змін проявляються на протязі останніх десятиріч, починаючи з 1989 р. [9] у вигляді тенденцій до зростання температур повітря, збільшення частоти та інтенсивності небезпечних погодних та гідрологічних явищ, внутрішньорічного перерозподілі стоку, зростанню посушливості клімату та розвитку процесів спустелювання [19]. Указані явища завдають значних економічних збитків, загрожують стабільному існуванню екосистем, а також здоров'ю та життю людей [24].

Вивчення проблеми охорони та раціонального використання водних ресурсів України в умовах змін клімату належить до пріоритетних напрямків державної політики у проведенні соціально-економічних реформ (Постанова Кабінету Міністрів України №468 від 10 квітня 2006 р. «Про необхідність проведення заходів з метою пом'якшення наслідків зміни клімату»). Прогнозування стану водних ресурсів майбутнього можливе на основі математичного моделювання, у якому використовуються метеорологічні дані сценаріїв змін клімату. Оскільки із кожним роком відбувається деталізація цих сценаріїв, то наукові праці, присвячені питанням виявлення тенденцій змін природних (у тому числі і водних) ресурсів не втрачають своєї актуальності.

Метою даної роботи є надання кількісних оцінок можливих змін водних ресурсів України за сценарієм глобального потепління RCP8.5 на базі моделі «клімат-стік», розробленої в ОДЕКУ [7].

Об'єктом дослідження є водні ресурси України, предметом – кількісні характеристики річного стоку, отримані за моделлю «клімат-стік» з використанням метеорологічних даних кліматичного сценарію RCP8.5.

Робота виконана в рамках науково-дослідної роботи «Оцінка кліматичних ризиків для галузей економіки України в умовах глобальних змін клімату» (№ держреєстрації 0113U000629).

2. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

Визначення тенденцій змін водних ресурсів в результаті глобального потепління відбувається двома шляхами: на основі вивчення тенденцій змін характеристик клімату та стоку за даними спостережень, а також на основі математичного моделювання з використанням даних про зміни основних кліматичних чинників формування стоку, які беруться із кліматичних сценаріїв. Перший напрям для території України представ-

лений роботами Вишневського В.І. [2], Гребіня В.В. [9], Хільчевського В.К. [27], Струтинської В.М. [25], Шакірзанової Ж.Р. [30], Овчарук В.А. [8] .

Перші результати оцінок змін водних ресурсів України, виконувалися за прогнозними даними, отриманими за моделями ВМО, для Південної та Східної Європи [36]. В кінці минулого сторіччя використовувалися кліматичні сценарії, в яких містилися матеріали про можливі зміни атмосферних опадів та температур повітря: GISS - модель Інституту Годдарда з космічних досліджень, чутливість до подвоєння двоокису вуглецю CO_2 - 4,2 °С, рік розрахунків – 1982; GFDL - модель Лабораторії геофізичної гідродинаміки США, чутливість до подвоєння CO_2 - 4 °С, рік розрахунків – 1989; СССМ - модель Канадського кліматичного центру, чутливість до подвоєння CO_2 - 3,5 °С, рік розрахунків – 1989; UKMO - модель Метеорологічного бюро Об'єднаного Королівства, чутливість до подвоєння CO_2 - 3,5 °С, рік розрахунків – 1989. Ці сценарії були адаптовані до різних географічних зон України [26]. На їх основі виконувалися оцінки змін стоку з великих водозбірних басейнів (Дніпра, Південного Бугу, Дністра та Дунаю) з метою передбачення екологічного стану Північно-Західної частини Чорного моря [18].

В 2000 р. Міжурядовою групою експертів зі змін клімату було опублікувано «Спеціальну доповідь по сценаріях викидів» (СДСВ) [32], в якій сценарії представлені як результат різних варіантів розвитку та взаємодії демографічних, економічних та науково-технічних факторів, що зумовлюють різні об'єми викидів парникових газів. В цих сценаріях розглядались чотири сюжетні лінії (А1, А2, В1 і В2) [33]. Дослідження виконані в ОДЕКУ, дозволили установити, що найбільша відповідність фактичних та сценарних метеорологічних даних за ретроспективний період (1953-1989 рр.) на території Північно-Західного Причорномор'я має місце для сценарію М10 з гілки сценаріїв А1В [3]. Саме за цим сценарієм надавалась оцінка водних ресурсів та гідроекологічного стану Куяльницького [4] й Тилігульського [3] лиманів на XXI сторіччя. Дослідження останнього увійшло до міжнародного дослідницького проекту 7-ої Рамкової Програми Європейського Співтовариства «Комплексне управління водними ресурсами і прибережною зоною в Європейських лагунах в умовах змін клімату» (LAGOONS), FP7-ENV-2011 № 283157 (2011-2014 рр.) [31]. Для визначення водних ресурсів Тилігульського лиману у майбутньому при виконанні цієї роботи використовувалася екогідрологічна модель SWIM [35], розроблена у Потсдамському інституті досліджень впливу клімату (PIK). Недоліком моделі SWIM є вимога до значної щільності розташування кліматичних станцій: не менше однієї станції на 100 км^2. Невиконання цієї вимоги призводить до значних похибок у розрахунках. За умови використання відкритих електронних ресурсів зарубіжжя у теперішній час розробляються методичні підходи до її застосування [11] Оцінки змін водних ресурсів України за даними сценаріїв А1В та А2 виконувалися за моделлю «клімат-стік», розробленою в ОДЕКУ [16, 17]. На базі рівняння водного балансу у модифікації, запропонованій польським гідрологом Kaszmarek (1993), проф. Сніжко С.І (Київський Національний Університет імені Тараса Шевченка) за сценарієм А1В (модель REMO) були наведені оцінки змін водних ресурсів України [22], які узгоджуються із даними, отриманими за моделлю «клімат-стік».

У 2013 р. Міжнародна група експертів зі змін клімату опублікувала П'яту «Спеціальну доповідь по сценаріях викидів» (СДСВ) [34], в якій були представлені нові кліматичні сценарії – так звані «характерні траєкторії змін концентрації» (Representative Concentration Pathways – RCP) парникових газів в атмосфері. Вони задають зміни середнього вмісту парникових газів в атмосфері Землі в часі в залежності від передбачуваної динаміки викидів парникових газів та інших факторів. Чотири описані в доповіді траєкторії RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0 та RCP8.5 базуються на розгляді різниці додатного та від`ємного випромінювання в системі Земля-атмосфера до кінця XXI сторіччя у порівнянні із допромисловим періодом, які становлять відповідно, 2.6, 4.5, 6.0, 8,5 Вт/м^2 для кожного сценарію [23]. Перші результати розрахунків за вказаними траєкторіями опубліковані авторами у роботі [15].

3. ОПИС ОБ'ЄКТА І МЕТОДІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

У широкому значенні під водними ресурсами розуміють усі води планети Земля, тобто води поверхневого і підземного стоку, грунтові і підземні води, води озер, боліт, льодовиків і постійно залягаючих снігів, океанічні, морські і атмосферні води, води штучних об'єктів (каналів, водосховищ) [20]. У вузькому значенні водними ресурсами є запаси поверхневих і підземних вод, придатні для використання. У зв'язку із тим, що всі ці води в процесі кругообігу зв'язані із водами річок при розгляді водних ресурсів під ними

розуміють лише величину середнього багаторічного річного стоку річок досліджуваних територій [28, 29].

Основним методом дослідження є модель «клімат-стік», розроблена в ОДЕКУ. Перша частина моделі включає до себе розрахунки характеристик річного природного стоку за метеорологічними даними. Ця складова моделі базується на рівнянні водно-теплового балансу у модифікації В.С. Мезенцева (1969) реалізація якого для території України виконана проф. Є.Д. Гопченком та проф. Н.С. Лободою [5, 6]. На вході в модель використовуються дані про місячні та річні опади, температури та дефіцит вологості повітря. У моделі використовується поняття максимально можливого випаровування E_m, яке розглядається через граничні ресурси енергії («теплоенергетичні ресурси клімату»), що забезпечують процес випаровування у заданих кліматичних умовах. «Теплоенергетичний еквівалент» або «максимально можливе випаровування» являє собою шар води, який міг би випаритися з поверхні суші, якби на процес випаровування були витрачені усі теплоенергетичні ресурси клімату LE_m і розраховується через прибуткові складові рівняння теплового балансу водної поверхні

$$E_m = \frac{R^+ + P^+ + (B_1 - B_2)}{L}, \qquad (1)$$

де R^+ - позитивна (прибуткова) частина радіаційного балансу; P^+ - позитивна складова турбулентного теплообміну або тепло, що приходить на ділянку суші в зв'язку з рухом повітря, тобто адвективне тепло; $B_1 - B_2$ - зміна запасів тепла в діяльному шарі грунту (теплообмін у ґрунті ΔB); L - приховане тепло пароутворення.

Така інтерпретація поняття "максимального можливого випаровування" надає йому однозначності на відміну від інших методів, в яких максимально можливе випаровування розглядалося як «випаровування зі зволоженої поверхні» (М.І. Будико); «випаровування з водної поверхні при тому ж комплексі метеорологічних умов, що й над сушею» (М.А. Багров); «випаровування для полів, вкритих рослинністю, коли вологість ґрунту близька до найменшої польової вологоємності» (А.Р. Константинов); «максимально можливе випаровування з оголеного ґрунту» (Л. Тюрк).

Річний стік визначений за метеорологічними даними дістав назву «кліматичного». За даними минулих років (до 1989 р.) були побудовані карти ізоліній норм річних опадів, максимально можливого випаровування та кліматичного стоку для рівнинних територій на топографічній основі 1:500000, а також регіональні залежності для визначення цих характеристик в залежності від висоти місцевості (Українські Карпати та Гірський Крим).

Модель була калібрована та апробована на матеріалах про стік річок різних географічних зон України, є чутливою до сучасних змін кліматичних чинників і дозволяє із задовільною точністю оцінювати зональний стік та вплив підстильної поверхні, включаючи водогосподарські перетворення [13]. Установлено, що точність визначення статистичних параметрів річного стоку за описаною моделлю знаходиться у межах точності розрахунків цих параметрів за даними гідрометричних спостережень і для норм річного стоку знаходиться у межах ±10%.

Структура моделі дозволяє виконувати розрахунки кліматичного (зонального природного) стоку на основі даних кліматичних сценаріїв [14], що дозволило надавати прогнози змін водних ресурсів України по мірі розвитку кліматичних моделей [21].

У роботі використані дані сценаріїв концентрацій парникових газів сімейства RCP (Representative Concentration Pathways – «характерні траєкторії змін концентрації»), а саме RCP4.5 та RCP8.5. Ці сценарії безпосередньо задають середній вміст парникових газів в атмосфері Землі в часі та в залежності від передбачуваної динаміки викидів парникових газів та інших чинників, на відміну від раніше досліджуваних сценаріїв, заснованих на вмісті емісій парникових газів та соціально-економічних показників (сценарні родини A1, A2, B1, B2). Найбільш екстремальним визнаний сценарій RCP8.5, який характеризується безперервним зростанням радіаційного форсингу протягом XXI століття зі значеннями майже 8,5 Вт·м$^{-2}$ у 2100 р. Для реалізації сценарію RCP4.5, який вважається помірним, глобальні викиди парникових газів повинні почати зменшуватись після 2040 р., зі значеннями радіаційного форсингу у 2100 р. близько 4,5 Вт·м$^{-2}$ [23].

4. ОПИС І АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ

Для реалізації RCP4.5, який вважається помірним, глобальні викиди парникових газів повинні почати зменшуватись після 2040 р. Для реалізації агресивного сценарію RCP8.5 викиди повинні зростати протягом усього сторіччя.

Розрахунки проводилися з використанням даних про опади та температуру повітря сценаріїв

зміни глобального клімату RCP8.5 та RCP4.5 по 84 вузлам координатної сітки, які відповідають розташуванню станцій метеорологічних спостережень і є рівномірно розподілені по території України за розрахунковий період 2011-2050 рр.

Суттєве значення при розрахунках норм річного кліматичного (зонального) стоку відіграє співвідношення ресурсів тепла та вологи, яке також розглядається як характеристика зволоженості (посушливості) клімату

$$\beta_X = \frac{\overline{X}}{\overline{E_m}}, \qquad (2)$$

де $\overline{X}$ - середнє багаторічне значення річних опадів, мм; $\overline{Em}$ - середнє багаторічне значення максимально можливого випаровування, мм.

За величиною β_x виділяються області зволоженості (посушливості) [10]:

$\beta x \geq 1{,}0$ - зона надмірного зволоження;

$0{,}8 < \beta x < 1{,}0$ - зона достатнього зволоження;

$0{,}5 \leq \beta x < 0{,}8$ - зона недостатнього зволоження;

$0{,}20 < \beta x < 0{,}50$ - напіваридна зона;

$0{,}03 < \beta x < 0{,}20$ - аридна зона;

$\beta x < 0{,}03$ - гіпераридная зона.

Значення βx=0,5 розглядається як межа між зоною недостатнього зволоження та напіваридною зоною.

Для аналізу змін характеристик клімату та стоку виконувалося порівняння даних у вихідних умовах (до 1989 р.) та у сценарний період 2011-2050 рр.

Аналіз змін кліматичних чинників формування стоку за сценарієм RCP8.5 показав, що по території України ресурси зволоження мають зменшуватися у середньому на 15%. Найбільше зниження очікує південно-східну частину країни і становитиме -22%. На відміну від попередніх сценаріїв (А1, А2, В1, В2) теплоенергетичні ресурси не будуть суттєво зростати.

На рис. 1-3 показаний просторовий розподіл показника зволоженості βx у минулий та майбутній періоди. Аналізуючи зміни у просторовому розподілі ізоліній βx у часі, можна зробити висновок, що межа аридності (ізолінія βx=0,5) буде «підніматися» до півночі, що вказує на розширення напіваридної зони. Область надмірного зволоження ($\beta x \geq 1{,}0$) на півночі вже не існуватиме, а на заході (Карпати) дещо «стиснеться». Зменшення водних ресурсів буде спостерігається на півночі та північному заході країни у середині XXI сторіччя, про що свідчить положення ізоліній 0,8 та 0,9. І лише зона надлишкового зволоження, розташована в Українських Карпатах, практично не зазнає змін, місцями показник βx навіть зросте, що означатиме збільшення водності річок.

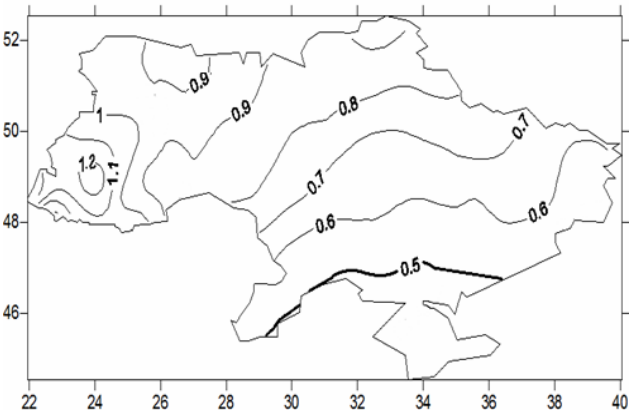

Рис. 1 - Просторовий розподіл показника зволоженості β_x, визначеного за даними до 1989 року (до початку значущого впливу глобального потепління)

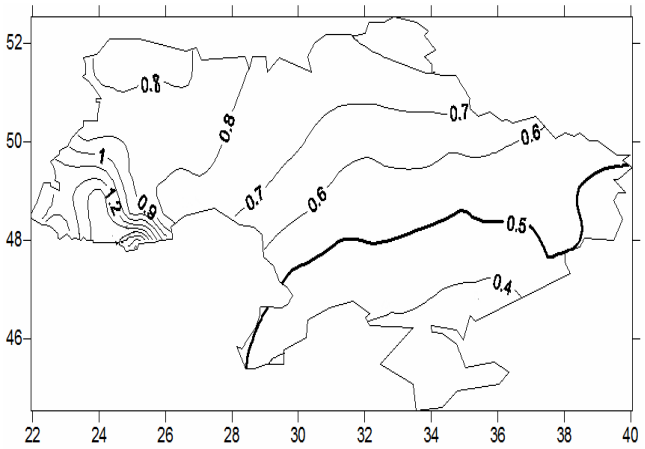

Рис. 2 - Просторовий розподіл показника зволоженості β_x, визначеного за даними 2011-2050 рр., сценарій RCP8.5

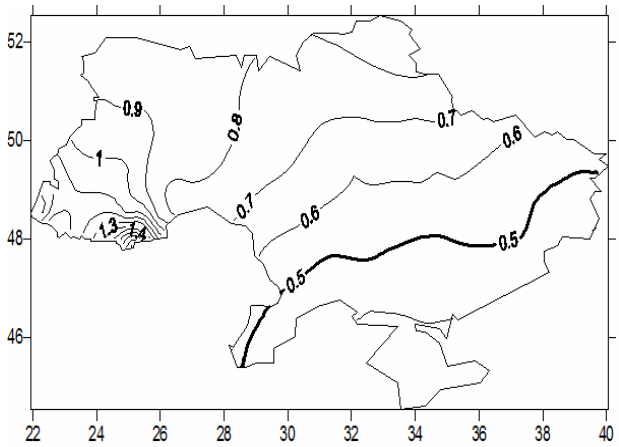

Рис. 3 - Просторовий розподіл показника зволоженості β_x, визначеного за даними 2011-2050 рр., сценарій RCP4.5

У минулому сторіччі (до початку глобального потепління) на рівнинній частині України норми кліматичного річного стоку змінювалися від 140 мм на північному заході до 20 мм на півдні (рис. 4). У період 2011-2050 рр. за сценарієм RCP8.5 очікується розширення до півночі зони степу, яка обмежена ізолінією норми річного зонального стоку рівній 30 мм. Отже зона степу буде охоплювати близько 40% території України. Схожа ситуація очікується і за сценарієм RCP4.5.

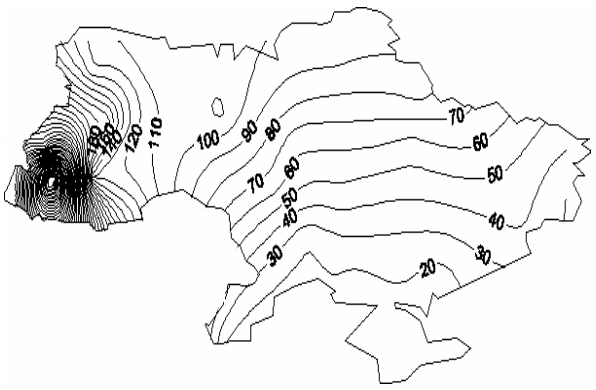

Рис. 4 - Просторовий розподіл норм річного кліматичного стоку (мм), визначених за даними до 1989 р.

Більш повну уяву про зміни водних ресурсів України у просторі надають ізолінії відносних відхилень δ середніх багаторічних величин річного стоку минулого сторіччя та у період прогнозу (2011-2050 рр.)

$$\delta = \frac{\overline{Y_K}' - \overline{Y_K}}{\overline{Y_K}}, \qquad (3)$$

де $\overline{Y_K}$ - середня багаторічна величина річного кліматичного стоку, розрахована за даними сценарію, мм; $\overline{Y_K}$ - середня багаторічна величина річного кліматичного стоку, розрахована за даними до 1989 р. (початку значущого впливу глобального потепління).

У період 2011-2050 рр. за сценарієм RCP8.5 очікується зменшення водних ресурсів майже на всій території країни (рис. 5). У Північно-Західному Причорномор'ї воно досягне 50%, а на південному сході – 70%. В центральній, північній та північно-західній частинах України відмічається зниження річного зонального стоку становитиме 30-40%.

Зростання водних ресурсів буде спостерігатися лише у географічній зоні Український Карпат.

Згідно із сценарієм RCP4.5 зростання опадів за розрахунковий період відбуватиметься менш інтенсивно при практично незмінному максимально можливому випаровуванні, тому і зменшення водних ресурсів буде уповільненим у просторі.

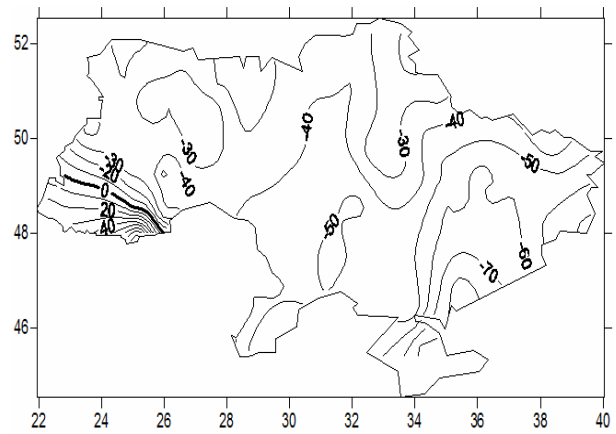

Рис. 5 - Просторовий розподіл відносних відхилень (%) норм річного кліматичного стоку за період 2011-205 рр. (сценарій RCP8.5) у порівнянні із базовими даними (до 1989 р.)

Відносне відхилення базових та сценарних значень середнього багаторічного річного стоку змінюватиметься від 20-30% на півночі до 40% на півдні (рис.6).

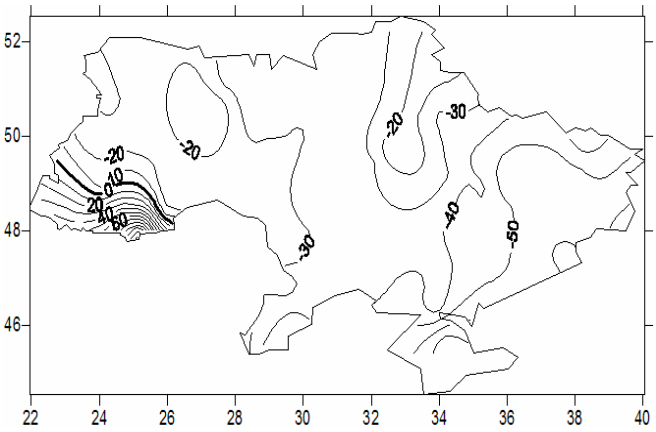

Рис. 6 - Просторовий розподіл відносних відхилень (%) норм річного кліматичного стоку за період 2011-2050 рр. (сценарій RCP4.5) у порівнянні із базовими даними (до 1989 р.)

5. ВИСНОВКИ

Оцінки середніх багаторічних кліматичних чинників та стоку за сценаріями RCP4.5 та RCP8.5 у період 2011-2050 рр. показали, що на відміну від сценаріїв A1B та A2 [24] зменшення водних ресурсів України буде відбуватися у межах усієї рівнинної України. Тільки у географічній зоні Українських Карпат можливе їх зростання (пов'язане із зменшенням ресурсів тепла та практично стабільністю ресурсів вологи), яке буде більш відчутним у басейні р. Тиси. Отри-

мані результати підтверджуються дослідженнями Купрікова І., Сніжка С.І., які базуються на водно-балансовій моделі L. Turc у модифікації польського гідролога Z. Kaczmarek [12]. Особливістю розглянутих сценаріїв є виражене зменшення опадів на фоні незначного збільшення максимально можливого випаровування для більшої частини території країни. Майбутнє південних областей країни за всіма розглянутими сценаріями (A1B, A2, RCP4.5 та RCP8.5) прогнозується до 2050 р. майже однаково: їх очікує зменшення водних ресурсів у межах 50-70%.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Актуальные проблемы лиманов северо-западного Причерноморья / Под ред. Ю.С. Тучковенко, Е.Д. Гопченко. – Одесса:ТЕС, 2012 – 224 с.
2. Вишневський В.І. Вплив кліматичних змін і господарської діяльності на термічний та льодовий режим річок / В.І. Вишневський // Наук. Праці УкрНДГМІ. – 2002. – Вип. 250. – С. 190-202.
3. Водні ресурси та гідроекологічний стан Тилігульського лиману / Під ред. Ю.С. Тучковенка, Н.С. Лободи. – Одеса: ТЕС, 2014. – 276 с.
4. Водний режим та гідроекологічні характеристики басейну Куяльницького лиману / Під ред. Н.С. Лободи, Е.Д. Гопченка. – Одеса: ТЕС, 2016. – 332 с.
5. Гопченко Є.Д. Оцінювання природних водних ресурсів України за методом водно-теплового балансу / Є.Д. Гопченко, Н.С. Лобода // Наук. Праці УкрНДГМІ. – 2001. – Вип. 249. – С. 106-120.
6. Гопченко Е.Д. Оценка возможных изменений водных ресурсов Украины в условиях глобального потепления / Є.Д. Гопченко, Н.С. Лобода // Гидробиологический журнал. - 2000. - Т. 36(3). - С. 67-78.
7. Гопченко Є.Д. Гідрологічні розрахунки:підручник / Є.Д. Гопченко, Н.С. Лобода, В.А. Овчарук. – Одеса: ТЕС, 2014. – 484 с.
8. Гопченко Є.Д. Дослідження впливу сучасних змін клімату на характеристики максимального стоку весняного водопілля на річках Полісся / Є.Д. Гопченко, В.А. Овчарук, Ж.Р. Шакірзанова // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. – 2010. – Т. 3 (20). – С. 50-59.
9. Гребінь В.В. Сучасний водний режим річок України (ландшафтно-гідрологічний аналіз) / В.В. Гребінь. –К.: Ніка-центр, 2010. – 316 с.
10. Дж.К. Родда Грани гидрологии: монография / Родда Дж.К.. – Л.:Гидрометеоиздат,1987. – Т. 2. – 534 с.
11. Дідовець Ю. Технологія підготовки даних та калібрування чисельної моделі SWIM для довгострокового прогнозування водного стоку річок / Ю. Дідовець, С. Сніжко // Українська географія: сучасні виклики. Зб.наук. праць. – К.: Прінт-Сервіс, 2016. – Т. ІІІ. – С. 50-52.
12. Купріков І. Прогноз водності басейну р. Тиси на найближчу і середню перспективу в умовах кліматичних змін / І. Купріков, С. Сніжко // Українська географія: сучасні виклики. Зб.наук. праць. – К.: Прінт-Сервіс, 2016. – Т. ІІІ. – С. 86-88.
13. Лобода Н.С. Расчеты и обобщения характеристик годового стока рек Украины в условиях антропогенного влияния: монографія / Н.С. Лобода. – Одесса: Экология, 2005. – 208 с.
14. Лобода Н.С. Влияние изменений климата на водные ресурсы Украины (моделирование и прогнозы по данным климатических сценариев) / Н.С. Лобода // Глобальные и региональные изменения климата: под ред. В.М. Шестопалова, В.Ф. Логинова, В.И. Осадчего и др. – К.: Ніка-Центр, 2011. – С. 340-352.
15. Лобода Н. Зміни клімату та водних ресурсів України за сценаріями глобального потепління RCP4.5 та RCP8.5 / Н. Лобода, Ю. Божок // Українська географія: сучасні виклики. Зб.наук. праць. – К.: Прінт-Сервіс, 2016. – Т. ІІІ. – С. 89-91
16. Лобода Н.С. Вплив змін клімату на водні ресурси України у сучасних та майбутніх умовах (за сценарієм глобального потепління A1B) / Н.С. Лобода, З.Ф. Сербова, Ю.В. Божок // Український гідрометеорологічний журнал. – 2014. – Вип. 15. - С. 149-159
17. Лобода Н.С. Оцінка впливу змін клімату на водні ресурси України на основі моделі «клімат-стік» за сценарієм глобального потепління A2 / Н.С. Лобода, З.Ф. Сербова, Ю.В. Божок // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. – 2015. – Т. 1 (36). – С. 8-17.
18. Лобода Н.С. Дослідження впливу змін річкового стоку за кліматичними сценаріями на гідроекологічний стан північно-західної частини Чорного моря / Н.С Лобода, Ю.С. Тучковенко // Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка. Серія:біологія. -2010. - № 3 (44) – С. 143-145
19. Лялько В. Оцінка впливу регіональних змін клімату на екосистеми та визначення ризиків їх негативних наслідків з використанням даних дистанційного зондування та наземних гідрометеорологічних вимірів / В. Лялько, О. Сахацький, Г. Жоболак // Українська географія: сучасні виклики. Зб.наук. праць. – К.: Прінт-Сервіс, 2016. – Т. ІІІ. – С. 93-95.
20. Мусієнко М.М. Екологія. Охорона природи. Словник-довідник/ М.М. Мусієнко, В.В. Серебряков, О.В. Брайон. – К.: Товариство Знання. КОО, 2002. – 550 с.
21. Оцінка впливу кліматичних змін на галузі економіки України / Під ред. С.М. Степаненка, А.М. Польового. – Одеса: Екологія, 2011. – 605 с.
22. Снижко С. Оценка изменения водного стока рек Украины на основе водно-балансовых моделей / С. Снижко, И. Куприков, О. Шевченко // Фізична географія та геоморфологія. – 2012. – Вип. 2 (66). – С. 157-161.
23. Степаненко С.М. Динаміка моделювання клітату: піручник / С.М. Степаненко. – Одеса: Екологія, 2013. – 204 с.
24. Степаненко С.М., Польовий А.М., Лобода Н.С. та ін. Кліматичні зміни та їх вплив на сфери економіки України / За ред. С.М. Степаненка, А.М. Польового. –Одеса: ТЕС, 2015. – 520 с.
25. Струтинська В.М. Термічний та льодовий режими річок басейну Дніпра з другої половини XX століття / В.М. Струтинська, В.В. Гребінь. – К.:Ніка-Центр, 2010. – 196 с.
26. Україна та глобальний парниковий ефект. Книга 2. Вразливість і адаптація екологічних та економічних систем до зміни клімату / Під ред. В.В. Васильченко, М.В. Рапцуна, І.В. Трофімова. – Київ, 1998. – 208 с.
27. Хільчевський В.К. Гідролого-гідрохімічна характеристика мінімального стоку річок басейну Дніпра / В.К. Хільчевський, І.М. Ромась, І.М. Гребінь, І.О. Шевчук, О.В. Чунарьов. – К.:Ніка-Центр, 2007.- 184 с.
28. Хільчевський В.К. Загальна гідрологія: підручник / В.К. Хільчевський, О.Г. Ободовський, В.В. Гребінь та

ін. .- Київ: ВПЦ “Київський університет”, 2008. – 399 с.
29. Чеботарев А.И. Гидрологический словарь / А.И. Чеботарев. – Л.: Гидрометеоиздат, 1978. – 308 с.
30. Шакірзанова Ж.Р. Визначення основних факторів весняного водопілля річок лівобережжя Дніпра при довгострокових прогнозах його характеристик / Ж.Р. Шакірзанова // Український гідрометеорологічний журнал. – 2013. – № 16. - С. 99-109.
31. Ana I. Lillebø, Per Stalnacke, Geoffrey D. Gooch (Eds). *Coastal Lagoons in Europe: Integrated Water Resource Strategies*. London: IWA Publishing, 2015. 256 p.
32. Nebojsa Nakicenovic, Rob Swart (Eds). Special Report In Emissions Scenarios (SRES). *IPCC (2000)*. University Press, UK, 2000. – 570 p.
33. The Physical Science Basis - Summary for Policymakers. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. *IPCC (2007): Climate Change 2007.* Cambridge University Press, 2007. 996 p.
34. Stocker T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex, P.M. Midgley (Eds). The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. *IPCC, 2013: Climate Change 2013.* Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. 1535 pp.
35. Krysanova V., Wechsung F. *SWIM (Soil and Water Integrated model): User Manual*. 2000. 239 p.
36. Loboda N.S. The assessment of present and future Ukrainian water resources on meteorological evidence. *Climate and Water*, 1998, vol. 1, pp. 1486-1494.

REFERENCES

1. Tuchkovenko Yu.S., Gopchenko E.D. (Eds). A*ktual'nye problemy limanov severo-zapadnogo Prichernomor'ya* [Actual problems of estuaries of North-Western Black Sea Region]. Odessa, 2012. 224 p.
2. Vyshnevs'kyy V.I. Vplyv klimatychnykh zmin i hospodars'koyi diyal'nosti na termichnyy ta l'odovyy rezhym richok [The impact of climate change and economic activities on thermal and ice regime of rivers]. *Naukovi Pratsi UkrNDHMI – Scien. Works of UcrSRHMI*, 2002, issue 250, pp. 190-202.
3. Tuchkovenko Yu.S., Loboda N.S. (Eds). *Vodni resursy ta hidroekolohichnyy stan Tylihul's'koho lymanu* [Water resources and hydroecological conditions of Tyligulskyi Liman]. Odesa, 2014. 276 p.
4. N.S. Loboda, E.D. Gopchenko (Eds). *Vodnyy rezhym ta hidroekolohichni kharakterystyky baseynu Kuyal'nyts'koho lymanu* [Water regime and hydroecological characteristics of Kuyalnitskyi Liman]. Odesa, 2016. 332 p.
5. Gopchenko Ye.D., Loboda N.S. Otsinyuvannya pryrodnykh vodnykh resursiv Ukrayiny za metodom vodno-teplovoho balansu [Evaluation of natural water resources of Ukraine by water and heat balance]. *Naukovi Pratsi UkrNDHMI – Scien. Works of UkrSRHMI*, 2001, issue 249, pp. 106-120.
6. Gopchenko E.D., Loboda N.S. Otsenka vozmozhnykh izmenenii vodnykh resursov Ukrainy v usloviyakh global'nogo potepleniya [Evaluation of possible changes in water resources of Ukraine in conditions of global warming]. *Gidrobiologicheskii zhurnal – Hydrobiological journal,* 2000, vol. 36 (3), pp. 67-78.
7. Hopchenko Ye.D., Loboda N.S., Ovcharuk V.A. *Hidrolohichni rozrakhunky* [Hydrological calculations]. Odesa, 2014. 484 p.
8. Gopchenko Ye.D., Ovcharuk V.A., Shakirzanova Zh.R. Doslidzhennya vplyvu suchasnykh zmin klimatu na kharakterystyky maksymal'noho stoku vesnyanoho vodopillya na richkakh Polissya [The influence of modern climate changes on the characteristics of maximum runoff of spring flood on the rivers of Polissia]. *Hidrolohiya, hidrokhimiya i hidroekolohiya - Hydrology, hydrochemistry and hydroecology,* 2010, vol. 3 (20), pp. 50-59.
9. Grebin V.V. *Suchasnyy vodnyy rezhym richok Ukrayiny (landshaftno-hidrolohichnyy analiz)* [Modern water regime of the rivers of Ukraine (landscape and hydrological analysis)]. Kyiv, 2010. 316 p.
10. Dzh. K. Rodda *Grani gidrologii* [Sides of hydrology]. Leningrad, 1987, vol. 2. – 534 p.
11. Didovets' Yu., Snizhko S. Tekhnolohiya pidhotovky danykh ta kalibruvannya chysel'noyi modeli SWIM dlya dovhostrokovoho prohnozuvannya vodnoho stoku richok [Technology of data preparation and calibration of numerical model SWIM for long-term f water runoff orecasting]. *Ukrayins'ka heohrafiya: suchasni vyklyky. Zb.nauk. prats' – Ukrainian geography: modern challenges. Scientific Papers.* Kyiv, 2016, vol. III, pp. 50-52.
12. Kuprikov I., Snizhko S. Prohnoz vodnosti baseynu r.Tysy na nayblyzhchu i serednyu perspektyvu v umovakh klimatychnykh zmin [Prediction of water content of Tisa River basin for the nearest and medium term under conditions of climate change]. *Ukrayins'ka heohrafiya: suchasni vyklyky. Zb.nauk. prats' – Ukrainian geography: modern challenges. Scientific Papers.* Kyiv, 2016, vol. III, pp. 86-88.
13. Loboda N.S. *Raschety i obobshhenija harakteristik godovogo stoka rek Ukrainy v uslovijah antropogennogo vlijanija* [Calculations and summarizing of the annual flow characteristics of the Ukrainian rivers in the conditions of anthropogenic influence]. Odessa, 2005. 208 p.
14. Loboda N.S. *Vliyaniye izmeneniy klimata na vodnyye resursy Ukrainy (modelirovaniye i prognozy po dannym klimaticheskikh stsenariyev)* [The impact of climate change on water resources of Ukraine (modeling and forecasts according to climate scenarios)]. Kyiv, 2011, pp. 340-352.
15. Loboda N., Bozhok Yu. Zminy klimatu ta vodnykh resursiv Ukrayiny za stsenariyamy hlobal'noho poteplinnya RCP4.5 ta RCP8.5 [Changes of climate and water resources in Ukraine according to scenarios of global warming RCP4.5 and RCP8.5] *Ukrayins'ka heohrafiya: suchasni vyklyky. Zb.nauk. prats' – Ukrainian geography: modern challenges. Scientific Papers.* Kyiv, 2016, vol. III. pp. 89-91.
16. Loboda N.S., Serbova Z.F., Bozhok Ju.V. Vpliv zmin klimatu na vodni resursi Ukraïni u suchasnih ta majbutnih umovah (za scenarieм global'nogo poteplinnja A1B) [Impact of climate change on water resources of Ukraine in present and future conditions (under scenarios of global warming A1B)]. *Ukraïns'kij gidrometeorologichnij zhurnal – Ukrainian Hydrometeorological Journal,* 2014, vol. 15, pp. 149-159.
17. Loboda N.S., Serbova Z.F., Bozhok Ju.V. Ocinka vplivu zmin klimatu na vodni resursi Ukraïni na osnovi modeli «klimat-stik» za scenarieм global'nogo poteplinnja A2 [The assessment of the impact of climate change on water resources of Ukraine based on the model "climate-runoff" under global warming scenario A2*] Gidrologija, gidrohimija i gidroekologija – Hydrology, hydrochemistry and hydroecology,* 2015., vol. 1 (36), pp. 8-17.
18. Loboda N.S., Tuchkovenko Yu.S. Doslidzhennya vplyvu zmin richkovoho stoku za klimatychnymy stsenariyamy na hidroekolohichnyy stan pivnichno-zakhidnoyi chastyny Chornoho morya [The influence of river flow changes by climatic scenarios on hydroecological conditions of North-Western Black Sea Region]. *Naukovi zapysky Terno-*

pil's'koho natsional'noho pedahohichnoho universytetu imeni Volodymyra Hnatyuka. Seriya:biolohiya [Scientific notes The Vladimir Hnatyuk Ternopil National Pedagogical University. Series: biology], 2010, vol. 3 (44), pp. 143-145.
19. Lyal'ko V., Sakhats'kyy O., Zhobolak H.. Otsinka vplyvu rehional'nykh zmin klimatu na ekosystemy ta vyznachennya ryzykiv yikh nehatyvnykh naslidkiv z vykorystannyam danykh dystantsiynoho zonduvannya ta nazemnykh hidrometeorolohichnykh vymiriv [Assessing of the impact of regional climate change on ecosystems and identification the risks of negative effects using a remote sensing and ground-based meteorological measurements]. *Ukrayins'ka heohrafiya: suchasni vyklyky. Zb.nauk. prats' – Ukrainian geography: modern challenges. Scientific Papers.* Kyiv, 2016, vol. III, pp. 93-95.
20. Musiyenko M.M., Serebryakov V.V., Brayon O.V. *Ekolohiya. Okhorona pryrody. Slovnyk-dovidnyk* [Ecology. Nature protection. Dictionary- handbook]. Kyiv, 2002. 550 p.
21. Stepanenko S.M., Pol'oviy A.M. (Eds.). *Otsinka vplyvu klimatychnyh zmin na galuzi ekonomiky Ukraïny* [Assessing the impact of climate change on economics of Ukraine]. Odessa, 2011. 605 p.
22. Snizhko S., Kuprikov I., Shevchenko O. Otsenka izmeneniya vodnogo stoka rek Ukrainy na osnove vodno-balansovykh modelei [Assessment of changes in the water flow of the Ukrainian rivers on the basis of the water-balance models]. *Fizichna geografiya ta geomorfologiya - Physical geography and geomorphology,* 2012, vol. 2 (66), pp. 157-161.
23. Stepanenko S.M. Dynamika modelyuvannya klitatu [The dynamics of climate modeling]. Odessa, 2013. 204 p.
24. Stepanenko S.M., Pol'ovyy A.M., Loboda N.S. *Klimatychni zminy ta yikh vplyv na sfery ekonomiky Ukrayiny* [Climate changes and its impact on sectors of the economy of Ukraine]. Odessa, 2015. 520 p.
25. Strutyns'ka V.M., Hrebin' V.V. *Termichnyy ta l'odovyy rezhymy richok baseynu Dnipra z druhoyi polovyny XX stolittya* [The thermal and ice regimes of the rivers the Dnipro Basin in the second half of the XX century.]. Kyiv, 2010. 196 p.
26. .Vasyl'chenko V.V., Raptsun M.V., Trofimova I.V. (Eds.). *Ukrayina ta hlobal'nyy parnykovyy efekt. Knyha 2. Vrazlyvist' i adaptatsiya ekolohichnykh ta ekonomichnykh system do zminy klimatu* [Ukraine and global warming. Book 2. Vulnerability and adaptation of environmental and economic systems to climate changes]. Kyiv, 1998. 208 p.
27. Khil'chevs'kyy V.K., Romas' I.M., Hrebin' V.V., Shevchuk I.O., Chunar'ov O.V. *Hidroloho-hidrokhimichna kharakterystyka minimal'noho stoku richok baseynu Dnipra* [Hydrological and hydrochemical characteristics of minimum river of flow Dnieper River Basin]. Kyiv, 2007. 184 p.
28. Khil'chevs'kyy V.K., Obodovs'kyy O.H., Hrebin' V.V. *Zahal'na hidrolohiya:* [General hydrology]. Kyiv, 2008. 399 p.
29. Chebotarev A.I. *Gidrologicheskiy slovar'* [Dictionary of hydrology]. Leningrad, 1978. 308 p.
30. Shakirzanova Zh.R. Vyznachennya osnovnykh faktoriv vesnyanoho vodopillya richok livoberezhzhya Dnipra pry dovhostrokovykh prohnozakh yoho kharakterystyk [Determination of the main factors of spring flood of the rivers of Dnipro left bank in the long-term forecasts of its characteristics]. *Ukraïns'kij gidrometeorologichnij zhurnal – Ukrainian Hydrometeorological Journal,* 2013, issue 16. pp. 99-109.
31. Ana I. Lillebø, Per Stalnacke, Geoffrey D. Gooch (Eds). *Coastal Lagoons in Europe: Integrated Water Resource Strategies*. London: IWA Publishing, 2015. 256 p.
32. Nebojsa Nakicenovic, Rob Swart (Eds). Special Report In Emissions Scenarios (SRES). *IPCC (2000)*. University Press, UK, 2000. – 570 p.
33. The Physical Science Basis - Summary for Policymakers. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. *IPCC (2007): Climate Change 2007.* Cambridge University Press, 2007. 996 p.
34. Stocker T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex, P.M. Midgley (Eds). The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. *IPCC, 2013: Climate Change 2013.* Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. 1535 pp.
35. Krysanova V., Wechsung F. *SWIM (Soil and Water Integrated model): User Manual*. 2000. 239 p.
36. Loboda N.S. The assessment of present and future Ukrainian water resources on meteorological evidence. *Climate and Water*, 1998, vol. 1, pp. 1486-1494.

WATER RESOURCES OF UKRAINE IN THE XXI CENTURY UNDER CLIMATE CHANGE SCENARIOS (RCP4.5 AND RCP8.5)

N.S. Loboda, Prof., Dr Geogr. Sci., Head of Chair of Hydroecology and water researches
Y.V. Bozhok, Cand. Geogr. Sci., assistant of Chair of Hydroecology and water researches

Odessa State Environmental University,
15 Lvivska str., 65016, Odessa, Ukraine, julia_bojok@mail.ru

Data of climate change scenarios RCP8.5 and RCP4.5 (Representative Concentration Pathways) were used. They were proposed for consideration in the Fifth Report of Intergovernmental Panel on Climate Change. Average long-term annual flow values using meteorological data (air temperature and precipitation) from the scenarios for the period 2011-2050 were calculated. 84 points (grid nodes) uniformly distributed on the territory of Ukraine were studied. The calculations

were made based on the model "climate-runoff", developed in Odessa State Environmental University. Projection of changes in water resources was given by comparing the calculation results in the past (before 1989) and in the future (2011-2050).

The major trends in water resources of Ukraine were established.

It is shown that by the middle of the XXI century reducing of water resources is expected on the plain territory of Ukraine (70% in the southeast). In the geographical zone of the Ukrainian Carpathians, especially in the Tisa river basin, its stability or growth is possible.

Analysis of changes in the ratio of moisture and heat resources showed that climate aridity will be intensify and the insufficient moisture zone and the semiarid zone will be widen.

Keywords: water resources, climate change scenarios, the model "climate-runoff", climatic runoff, prediction of water resources changes.

ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ УКРАИНЫ В XXI СТОЛЕТИИ ПО СЦЕНАРИЯМ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА (RCP 8.5 И RCP4.5)

Н.С. Лобода, проф., д.геогр.н., зав. кафедры гидроекологии и водных исследований
Ю.В. Божок, к.геогрн.н., асистент кафедры гидроекологии и водных исследований

Одесский государственный экологический университет,
ул. Львовская,15, 65016, Одесса, Украина, julia_bojok@mail.ru

Установлены основные тенденции изменения водных ресурсов Украины на основе модели «климат-сток» в XXI веке с использованием сценариев изменения климата RCP8.5 и RCP4.5. Показано, что к середине текущего столетия предусматривается уменьшение водных ресурсов равнинной территории Украины (до 70% на юго-востоке) и их стабильность или рост в географической зоне Украинских Карпат, особенно в бассейне р.Тиса. Анализ изменений соотношения ресурсов влаги и тепла показал усиление засушливости климата и расширение зоны недостаточного увлажнения и напивариднои зоны.

Ключевые слова: водные ресурсы, сценарии изменения климата, модель «климат-сток», климатический сток, прогнозы изменений водных ресурсов.

Дата першого подання.: **09.06.2016**
Дата надходження остаточної версії : **15.06.2016**
Дата публікації статті : **04.07.2016**