

УДК 556.161."45".18

ОЦІНКА ЗМІН ВОДНИХ РЕСУРСІВ РІЧКИ ДУНАЙ У ХХІ СТОРІЧЧІ ЗА СЦЕНАРІЄМ А1В З ВИКОРИСТАННЯМ МОДЕЛІ "КЛІМАТ-СТІК"**Н. С. Лобода**, проф., д-р геогр. наук, зав. каф. гідроекології та водних досліджень**Ю. В. Божок**, канд. геогр. наук, асист. каф. гідроекології та водних досліджень*Одеський державний екологічний університет,
вул. Львівська, 15, 65016, Одеса, Україна, julia.bojok89@gmail.com*

У статті наведені результати розрахунків можливого стану водних ресурсів р. Дунай у ХХІ сторіччі на основі моделі "клімат-стік", розробленої в ОДЕКУ. На вході в модель використані дані кліматичного сценарію А1В (модель REMO). Побудовані карти ізоліній норм річного кліматичного стоку у межах усього басейну. Установлено, що до 2030 р. суттєвого зменшення водних ресурсів не відбуватиметься; у період 2031-2070 рр. воно становитиме 17,9%, у період 2071-2100 рр. – 22,0 %.

Ключові слова: водні ресурси, сценарії зміни клімату, модель "клімат-стік", прогноз зміни водних ресурсів

1. ВСТУП

Водні ресурси є найбільш цінним для людини природним ресурсом, який визначає успішність економічного та соціального розвитку країн світу. В умовах змін клімату, як глобального, так і регіонального, особливо постає задача оцінки їх наслідків особливо з точки зору перерозподілу водних ресурсів як у часі, так і просторі [1]. Стік річок формується, насамперед, кліматичними чинниками, які визначають його зональність. Останнім часом в світі відмічається збільшення кількості небезпечних гідрологічних явищ, які включають до себе як формування катастрофічних паводків та водопіль, так і зменшення водних ресурсів значних територій [2]. Зміни клімату впливають не тільки на кількісні, а й на якісні характеристики річкового стоку [3], що, в свою чергу, потребує адаптаційних заходів для всіх галузей економіки, населення та екосистем [4]. Україна відноситься до країн Дунайського басейну [5]. Вона розташована у гирловій частині річки і використовує значні об'єми води для господарських та питних потреб [6]. Перспективи змін стану водних ресурсів Дунаю мають визначити водну стратегію нашої країни у Північно-Західній частині Чорного моря у ХХІ сторіччі [7].

Метою роботи є прогноз змін водних ресурсів у нижній частині басейну р. Дунай у майбутньому на основі даних сценарію глобального потепління. Об'єктом дослідження є водні ресурси р. Дунай, предметом – кількісні характеристики річного стоку цієї річки, отримані за моделлю «клімат-стік» [8] з використанням метеорологічних даних кліматичного сценарію

А1В.

Особливістю дослідження є те, що стік річки Дунай у її гирлі визначається гідрометеорологічними процесами зони його формування, яка розташована у гірських частинах басейну. Таким чином, визначення стану водних ресурсів р. Дунай за метеорологічними даними вимагає, насамперед, дослідження кліматичних чинників на території усього водозбору цієї найвеличнійшої річки Європи.

Зміст роботи відповідає Стратегії Європейського Союзу для Дунайського регіону, затвердженою Радою ЄС 24 червня 2011 р., роботі Координаційного центру з провадження діяльності, пов'язаної з участю України в реалізації Стратегії Європейського Союзу для Дунайського регіону (від 21 вересня 2011 р.), Дунайській транснаціональній програмі 2014-2020 рр.

2. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

Більшість сумісних міжнародних наукових розробок по дослідженню водних ресурсів р. Дунай стосується їх кількісних оцінок, виконаних на базі даних спостережень [5,9,10] з оцінюванням природних умов формування стоку та рівнів водогосподарського навантаження у часі та просторі (головним чином по довжині річки). Розрахунки стану водних за сценаріями змін клімату виконувалися українськими вченими для тієї частини басейну Дунаю, яка розташована в Українських Карпатах [11, 12]. Для розрахунків змін водних ресурсів трансграничних приток Дунаю використовувалися розробки вчених країн-сусідів [13]. У 1994-1997 рр. Словацька республіка брала участь у другому турі Американ-

ської програми досліджень, який був проведений за участю американського Управління по охороні навколишнього середовища. Від CSMT (Американське керівництво досліджень країни) Словаччина одержала п'ять моделей загальної циркуляції, три з яких були відібрані для регіоналізації (CCCM, GISS, GFDL). Результати розрахунків, отримані в ОДЕКУ для території Закарпаття по адаптованих для Словаччини і України прогнозних сценарних даних, показали, в основному, їх задовільну відповідність. Виняток становив сценарій GISS, згідно якого в роботах українських вчених збільшення опадів при подвоєнні концентрації CO₂ відбудеться в 1,06 рази, а за даними словацьких вчених – в 1,14 рази. В результаті розрахунків за сценарієм GISS отримано, що водні ресурси за даними українських вчених зменшаться на 25-31 %, а за даними словацьких вчених – на 1-6 % [14]. Ця розбіжність була пов'язана із недостатньою роздільною здатністю сценаріїв CCCM, GISS, GFDL, які розроблялися наприкінці минулого століття.

Дослідження впливу змін водних ресурсів річки Дунай в результаті глобального потепління на гідрологічний, гідрохімічний та гідроекологічний стан Північно-Західної частини Чорного моря проводилися у рамках НДР “Дослідження впливу кліматичних коливань на гідрологічний та гідрохімічний режими вод Північно-Західної частини Чорного моря”, яка виконувалася у 2010-2011 рр. на замовлення МОН України. За результатами розрахунків річного стоку із використанням даних сценаріїв глобального потепління було встановлено, що водні ресурси р. Дунай зменшаться на 30-42 % при одночасному подвоєнні концентрації CO₂ в атмосфері за сценаріями CCCM та GISS, та на 30-37 % за сценаріями GFDL та UKMO. Було визначено, що при поступовому зростанні концентрацій вуглекислого газу за нестационарним сценарієм GFDL у 2000-2010 рр. зменшення водних ресурсів р. Дунай становитиме 8 %, а згідно з даними спостережень за період 2000-2004 рр. - 1%. Було отримано, що розглянутим сценарієм до 2080 року зменшення водних ресурсів р. Дунай переїде критичну межу, яка становить 50 % [7, 15]. В цих розрахунках використовувались дані прогнозу змін кліматичних чинників по різних кліматичних зонах України [16]. Для переходу від умов степової зони (гірлова частина України) до інших кліматичних зон Дунаю були встановлені градієнти змін опадів та температур повітря з висотою. Сучасні сценарії кліматичних змін, у тому числі й А1В, більш детально описують досліджувану територію і є доступними у елект-

ронному ресурсі [17], що дозволило оцінити зміни водних ресурсів р. Дунай з більшою точністю.

3. ОПИС ОБ'ЄКТА І МЕТОДІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

Річка Дунай належить до річок басейну Чорного моря та є найбільшою річкою Центральної та Південно-Східної Європи. Загальна площа водозбору становить 817000 км², довжина – 2857 км. Річка Дунай перетинає різні ландшафтні зони з яскраво вираженою різноманітністю природних умов. Більша частина басейну р. Дунай знаходиться в зоні мішаних лісів, в нижній течії припадає на лісостепову та степову зони.

Орографічно вододіл р. Дунай дуже неоднорідний і включає до себе як гірські, так і рівнинні області (табл. 1). Згідно із даними [18] різниця між вищою на нижчою точками рельєфу становить 3651 м. Гірські зони із висотою більше 500 м включають до себе 31 % від усієї площі водозбору.

Таблиця 1 – Розподіл площі водозбору р. Дунай за висотними зонами

Висотна зона, м	Середня висота висотної зони, м	Площа висотної зони, %
< 100	50	18
100 - 500	150	51
501 - 1000	750	23
1001 - 2000	1500	6,5
> 2000	2500	1,5

За комплексом фізико-географічних і геологічних ознак річку Дунай прийнято розділяти на три частини: Верхній, Середній та Нижній Дунай [5, 9] (рис. 1). Такий розподіл підтверджується результатами факторного аналізу [19, 20], застосованого нами для оцінки синхронності коливань річних сум опадів (рис. 2).

Найчастіше при оцінці впливу змін клімату на водні ресурси територій із нещільною мережею гідрометеорологічних спостережень використовуються балансові моделі, а саме моделі водного та водно-теплого балансу водозборів, у яких сумісно розглядаються складові як водного балансу водозбору, так і теплового балансу підстильної поверхні.

Справа у тому, що рівняння водного та теплового балансів містять у собі спільну складову – випаровування з поверхні суші. Це дозволяє

застосовувати складові теплового балансу до розрахунків випаровування.

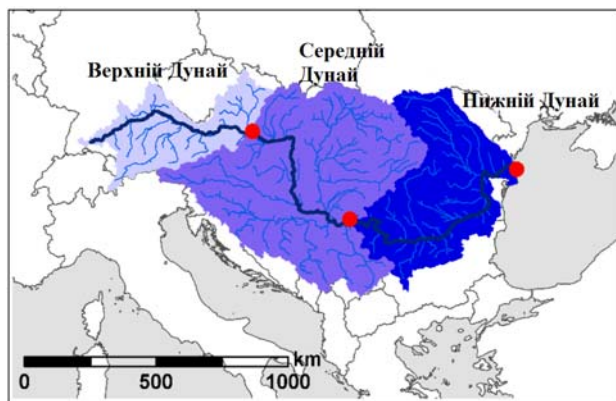


Рис. 1 – Основні частини басейну р. Дунай [4]

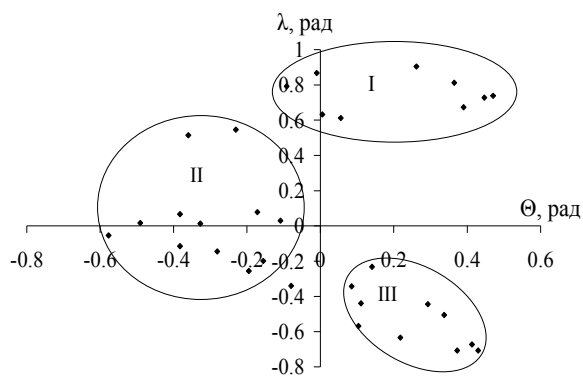


Рис. 2 – Виділення угруповань з синхронними коливаннями річних сум опадів на основі трьох факторів (I – район Верхнього Дунаю, II – район Середнього Дунаю, III – район Нижнього Дунаю)

Найчастіше при оцінці впливу змін клімату на водні ресурси територій із нещільною мережею гідрометеорологічних спостережень використовуються балансові моделі, а саме моделі водного та водно-теплового балансу водозборів, у яких сумісно розглядаються складові як водного балансу водозбору, так і теплового балансу підстильної поверхні. Справа у тому, що рівняння водного та теплового балансів містять у собі спільну складову – випаровування з поверхні суші. Це дозволяє застосовувати складові теплового балансу до розрахунків випаровування.

У Одеському державному екологічному університеті на протязі трьох минулих десятиріч для оцінки водних ресурсів України за метеорологічними даними використовувалася модель “клімат-стік”, розроблена під керівництвом проф. Є. Д. Гопченка та проф. Н. С. Лободи [21]. Розроблення такої моделі було актуальним у другій половині ХХ сторіччя через нестачу даних спостережень за стоком як у природних, так

і порушених водогосподарською діяльністю умовах. Починаючи з 80-х років минулого сторіччя актуальність, теоретична і практична значущість моделі посилилися внаслідок додавання до чинників формування стоку впливу змін клімату [22]. Модель була калібрована та верифікована 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 [23]. Розроблена методика розрахунків характеристик річного стоку увійшла складовою ДБН (Державних будівельних норм) республіки Молдова [24] та включена до нової редакції Державних будівельних норм України [25].

Модель “клімат-стік” складається з двох частин. Перша частина дозволяє виконувати оцінку природного річного стоку на основі метеорологічних даних, друга – оцінку побутового (перетвореного водогосподарською діяльністю) стоку. На вході у першу частину моделі використовуються метеорологічні дані, у другу – природний (непорушений водогосподарською діяльністю) річний стік та кількісні показники водогосподарських перетворень.

Для оцінки змін водних ресурсів на водозборі р. Дунай була використана перша частина моделі, теоретичною основою якої є рівняння водно-теплового балансу водозбору, яке для багаторічного періоду записується таким чином

$$\bar{Y}'_K = \bar{X}' - \bar{E}'_m \left[1 + \left(\frac{\bar{X}'}{\bar{E}'_m} \right)^{-n} \right]^{\frac{1}{n}}, \quad (1)$$

де \bar{Y}'_K - середня багаторічна величина річного кліматичного стоку в умовах змін клімату, мм; \bar{E}'_m - середня багаторічна величина максимально можливого випаровування в умовах змін клімату, мм; \bar{X}' - середня багаторічна величина сум річних опадів в умовах змін клімату, мм.

Встановлено, що норми річного кліматичного стоку відповідають нормам зонального стоку річок у природних умовах його формування [26]. Точність визначення статистичних параметрів річного стоку за моделлю “клімат-стік” знаходиться у межах точності розрахунків цих параметрів за даними гідрометричних спостережень і для середньої багаторічної величини річного стоку складає $\pm 10\%$. Структура рівняння водно-теплового балансу (1) дозволяє використовувати

його для розрахунків стоку за метеорологічними даними кліматичних сценаріїв.

У наведеному дослідженні використовувалась база даних міжнародного проекту ENSEMBLES, доступ до якої можна отримати в мережі Інтернет за посиланням <http://ensemblesrt3.dmi.dk>. Для розрахунків був обраний сценарій А1В (модель REMO), як такий, що характеризується найбільшою відповідністю спостережених та змодельованих метеорологічних рядів за ретроспективний період у Європі.

Сценарій А1В реалізований в регіональній кліматичній моделі REMO, яка розроблена в Інституті метеорології імені Макса Планка в Гамбурзі, Німеччина. REMO об'єднує колишню чисельну модель прогнозу погоди EUROPA-MODEL для розрахунків термодинамічних характеристик і блоку глобальної кліматичної моделі ECHAM5 [27].

Для дослідження змін основних кліматичних чинників формування стоку та водних ресурсів на основі сценарію змін клімату А1В (модель REMO) у межах водозбору р. Дунай розглядалися 32 точки-вузли координатної сітки сценарних даних із кроком 25 км, які знаходяться у різних фізико-географічних умовах (рис. 3).



Рис. 3 – Карта-схема розташування вузлів-метеостанцій, водозбір р. Дунай

Для оцінки змін основних гідрометеорологічних характеристик (середніх багаторічних величин річних сум опадів, максимально можливого випаровування, кліматичного стоку) виконувалось порівняння розрахункових величин, отриманих для різних кліматичних періодів у XXI сторіччі (1990-2030 рр., 2031-2070 рр., 2071-2100 рр.) із відповідними характеристиками базового періоду (1951-1989 рр.), у який прояв змін температур повітря ще не був статистично значущим ні в Україні, ні в Європі [28, 29].

Виявлення трендів у коливаннях метеорологічних характеристик відбувалося по метеостанціям, розташованим на водозборі р. Дунай у різних його частинах. Вид рівнянь трендів, їх коефіцієнти та коефіцієнти кореляції визначалися

на основі регресійного аналізу [30].

4. ОПИС І АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ

Аналіз хронологічного графіку коливань річних температур повітря (за сценарієм А1В) показав існування тенденцій до їх зростання по всім 32 розглянутим метеостанціям. Наприклад, у точці, яка відповідає метеостанції Інсбрук, умовне математичне сподівання річних температур повітря буде зростати від 2,3 °C у 1951 р. до 6,9 °C наприкінці XXI сторіччя (рис. 4), у Белграді - від 12,0 °C до 16,5 °C, а у дельті Дунаю (м. Ізмаїл) ця характеристика буде збільшуватися від 11,8 °C до 16,3 °C. До кінця XXI сторіччя у порівнянні із серединою минулого XX сторіччя (1951 р.) зростання річної температури повітря буде становити у середньому близько 4,0 °C., а у порівнянні із 1989 р. (як переламним у змінах температур повітря в Україні) становитиме 3-3,5 °C.

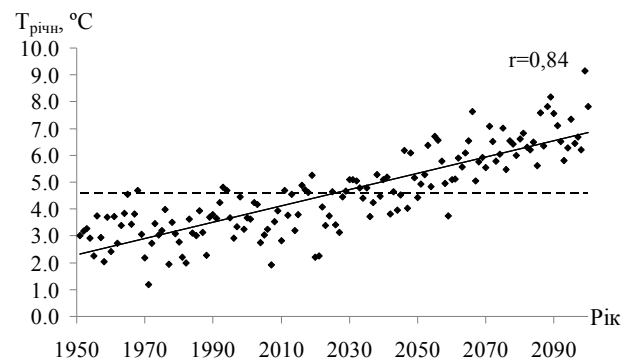


Рис. 4 – Хронологічний хід річної температури повітря за сценарієм А1В, метеостанція Інсбрук, 1951-2100 рр. (---- середнє багаторічне значення, — лінія тренда)

Встановлено, що середні температури повітря теплого (IV-X) та холодного (XI-III) періодів також будуть зростати на всіх досліджуваних метеостанціях. Зростання температур повітря холодного періоду у верхній течії буде відбуватися не так інтенсивно, як у гирлі. Проте, добре виділяється перехід середніх температур повітря холодного періоду від від'ємних значень до додатних у 30-ті роки XXI сторіччя (рис. 5). Цей перехід у холодний період означає зміну умов формування весняного стоку, оскільки внесок талих вод у формування стоку зменшуватиметься, а роль дощових паводків та підземного живлення зростатиме.

Аналіз хронологічного ходу річних сум опадів, а також сум опадів теплого та холодного періодів, виконаний по 32 розглянутим метеостанціям показав, що у їх коливаннях за період

1951-2100 pp. не можливо виявити статистично значущих тенденцій (рис. 6).

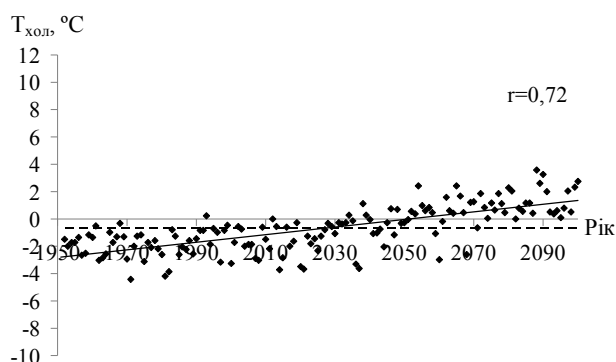


Рис. 5 – Хронологічний хід температур повітря холодного (XI-III міс.) періоду, метеостанція Мурау, 1951-2100 pp. (— лінія тренду, - - - середнє багаторічне значення)

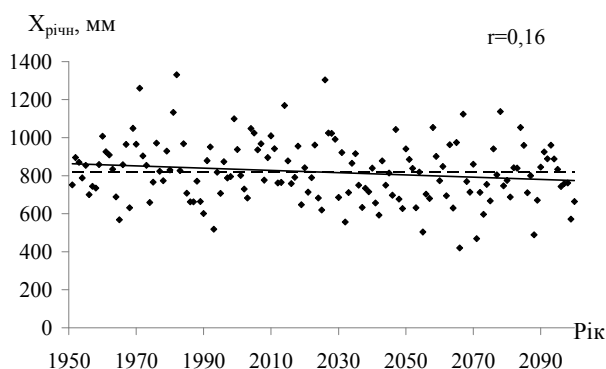


Рис. 6 – Хронологічний хід річних опадів за сценарієм А1В, метеостанція Біхач, 1951-2100 pp. (---- середнє багаторічне значення, — лінія тренду)

Результати дослідження існування трендів у коливаннях кліматичних чинників формування стоку на водозборі р. Дунай відповідають тим, що були отримані авторами для Північно-Західного Причорномор'я: прогнозується зростання температур повітря на фоні майже незмінних опадів [28, 31]. Такі кліматичні умови є несприятливими для формування стоку, оскільки зростання температур повітря призводить до зростання випаровування з поверхні суші.

Порівняння середніх багаторічних сум опадів до та після 1989 р. показало, що за період 1990-2030 pp. кількість опадів на окремих вузлах-метеостанціях буде як зростати, так і зменшуватись. У порівнянні із сценарними даними до 1989 р. ці зміни будуть знаходитися у межах $\pm 10\%$. Середнє відносне відхилення середніх багаторічних значень \bar{X} за розрахунковий кліматичний період (1990-2030 pp.) від відповідного значення за базовий кліматичний період (1951-1989 pp.) становитиме $\pm 2,7\%$. За розрахунковий період 2031-2070 pp. зміни ресурсів зво-

ложення у порівнянні із базовим періодом будуть дорівнювати $\pm 4,0\%$, а у період 2071-2100 pp. - $\pm 4,2$.

Максимально можливе випаровування (теплоенергетичний еквівалент) буде зростати по всій території водозбору за рахунок збільшення температур повітря. У порівнянні із базовим кліматичним періодом (1951-1989 pp.) збільшення величини \bar{E}_m становитиме $+6,9\%$ у 1990-2030 pp.; $22,4\%$ - у 2031-2070 pp.; $39,9\%$ - у 2071-2100 pp.

Особливістю застосування моделі “клімат-стік” є те, що розрахунки за метеорологічними даними відбуваються у точках, які відповідають положенню станцій-вузлів сітки сценарію. Аналіз значень кліматичного стоку \bar{Y}_K , розрахованих для кожної точки, показав, що у кліматичний період 1990-2030 pp. найбільші зміни величини \bar{Y}_K по відношенню до кліматичного базису не будуть перевищувати “мінус” 15% , а середнє відносне відхилення порівнюваних значень становитиме $\pm 11,2\%$. Руйнівна дія глобального потепління (за сценарієм А1В почнеться з 2030 р., коли зростання температур повітря стане більш інтенсивним. У 2031-2070 pp. осереднене по вузлах-метеостанціях зниження річного кліматичного стоку досягне “мінус” 32% , а у 2071-2100 pp. - “мінус” 40% .

Проте, просте осереднення значень кліматичного стоку \bar{Y}_K , визначеного для кожної точки-вузла за сценарними метеорологічними даними, не дає повного уявлення про середній багаторічний стік з водозбору Дунаю, оскільки вагові коефіцієнти кожної розглянутої точки можуть бути різними. Щоб визначити можливі у ХХІ сторіччі зміни водних ресурсів р. Дунай, були побудовані карти ізоліній норм річного кліматичного стоку для кожного із розрахункових кліматичних періодів та установлена середня багаторічна величина річного стоку з водозбору методом “зважування” по площі [32]. Середня багаторічна величина річного стоку р. Дунай, обчислена методом “зважування по площі” для базового кліматичного періоду (1951-1989 pp.), дорівнює 246 мм, що відповідає фактичним даним [5, 33]. Розбіжності знаходяться у межах $\pm 5,0\%$. Розподіл ізоліній норм річного кліматичного стоку знаходиться у відповідності із розробленими картами ізоліній норм річного стоку, наведеними у фахових виданнях [9].

Згідно із сценарієм А1В водні ресурси водозбору р. Дунай, оцінені методом “зважування по площі”, будуть зменшуватись у часі (табл. 2).

Таблиця 2 – Зміни середніх багаторічних величин річного кліматичного стоку р. Дунай, визначених методом зважування, в різні часові інтервали при порівнянні із даними до 1989 р.

Характеристика	Розрахунковий період			
	1951-1989 рр.	1990-2030 рр.	2031-2070 рр.	2071-2100 рр.
Середні багаторічні значення річного кліматичного стоку \bar{Y}_K , мм	246	231	202	192
Зміни \bar{Y}_K при порівнянні із базовим кліматичним періодом 1951-1989 рр., %		-6,1	-17,9	-22,0

Більш повну уяву про зміни водних ресурсів Дунаю дають ізолінії відносних відхилень δ

$$\delta = \frac{\bar{Y}_K' - \bar{Y}_K}{\bar{Y}_K}, \quad (2)$$

де \bar{Y}_K' - середня багаторічна величина (норма) річного кліматичного стоку, розрахована за сценарними даними, мм; \bar{Y}_K - середня багаторічна величина річного кліматичного стоку, розрахована за базовий кліматичний період.

Побудовані карти ізоліній дозволяють зробити висновок, що зменшення річного кліматичного стоку добре простежується у напрямку із північного заходу та півночі на південь (рис. 7, рис. 8).

У період 2031-2070 рр. інтервал змін знаходиться у межах “мінус” 15-20 % на північному заході та півночі до “мінус” 50 % на півдні. У період 2071-2100 рр. зменшення річного кліматичного стоку у порівнянні із даними базового періоду становить 20-25 % на півночі та північному заході і досягає 70 % на півдні. Отримані результати розрахунків водних ресурсів за моделлю “клімат-стік” дозволяють зробити висновок про значуще зменшення водних ресурсів р. Дунай, яке буде відбуватися після 2030 р. Найменше підлягають впливу змін клімату частини водозбору, які знаходяться у зоні достатнього зволоження. Найбільшого “удару” зазнають рівнини та південна частина водозбору

р. Дунай, які належать зоні недостатнього зволоження.

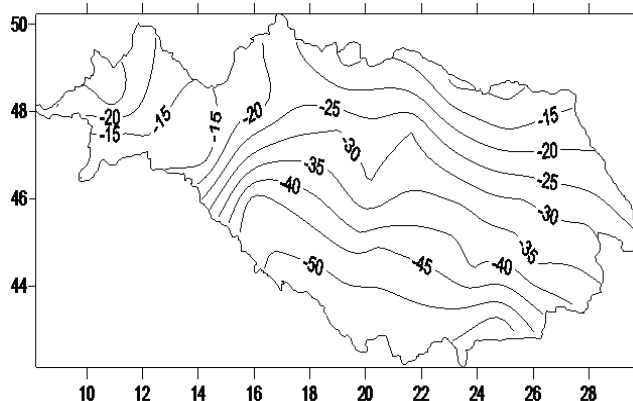


Рис. 7 – Просторовий розподіл відносних відхилень (%) норм річного кліматичного стоку у басейні р. Дунай за даними сценарію А1В (модель REMO) за період 2031-2070 рр. у порівнянні із даними до 1989 р.

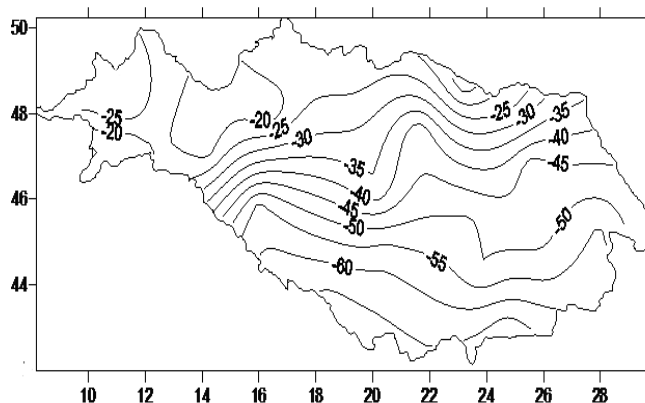


Рис. 8 – Просторовий розподіл відносних відхилень (%) норм річного кліматичного стоку у басейні р. Дунай за даними сценарію А1В (модель REMO) за період 2071-2100 рр. у порівнянні із даними до 1989 р.

5. ВИСНОВКИ

Оцінені за даними сценарію А1В кліматичні умови XXI сторіччя на водозборі р. Дунай є несприятливими для формування стоку. Приходна складова водного балансу водозбору у вигляді опадів залишається незмінною, а витратна у вигляді випаровування збільшується. Водні ресурси території за таких кліматичних умов будуть зменшуватися.

Зміни водних ресурсів будуть проходити неоднаково у різних частинах водозбору р. Дунай. Найменшими вони будуть на північному заході та півночі водозбору та посиляться у південно-східному напрямку. У період 2031-2070 рр. зниження водних ресурсів за сценарієм А1В досягне на півдні 50 %, а у період 2071-2100 рр. – 70 %.

Проте, при розрахунках сумарного стоку з водозбору р. Дунай шляхом зважування по площі встановлено, що водні ресурси річки будуть поступово зменшуватися дуже поступово: у період 1990-2030 рр. – на 6,1 % (тобто не будуть статистично значущими), у період 2031-2070 рр. – на 17,9 %, у період 2071-2100 рр. – на 22,0 %. Такий результат забезпечується високою водністю гірських зон Дунаю, які є областю формування стоку. Саме у гірських зонах вплив змін клімату відчуватиметься найменше.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. 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.
2. Оцінка впливу кліматичних змін на галузі економіки України / під ред. С. М. Степаненка, А. М. Польового. Одеса: Екологія, 2011. 605 с.
3. Heide Schreiber, Lucian Theodor Constantinescu, Irena Cvitanic, Sergej Snishko and others. *Harmonised Inventory of Point and Diffuse Emissions of Nitrogen and Phosphorus for a Transboundary River Basin. Water Research Project*, 2003. 159 p.
4. Judith C. Stagl, Fred F. Hattermann. Impacts of Climate Change on the Hydrological Regime of the Danube River and Its Tributaries Using an Ensemble of Climate Scenarios. Switzerland. *Water*, 2015, 7 (11). pp. 6139-6172.
5. Tockner Klement, Robinson T. Christopher, Uehlinger Urs (Eds.) *Rivers of Europe*. Elsevier, 2009. 700 p.
6. Гидрология дельты Дуная / под ред. В. Н. Михайлова. М.: ГЕОС, 2004. 448 с.
7. Лобода Н. С., Тучковенко Ю. С. Дослідження впливу змін річкового стоку за кліматичними сценаріями на гідроекологічний стан північно-західної частини Чорного моря // Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка. Серія: біологія. 2010. № 3 (44) С. 143-145.
8. Loboda N. S. The assessment of present and future Ukrainian water resources on meteorological evidence. *Climate and Water*, 1998, vol. 1, pp. 1486-1494.
9. Stančík Andrej, Jovanovič Slavoljub. *Hydrology of the River Danube*. Bratislava: Publishing House Priroda, 1988. 272 p.
10. *The Danube River Basin: basin-wide overview. International Commission for the Protection of the Danube River (ICPDR)*. Vienna, 2005. 192 p.
11. Лобода Н. С., Хохлов В. М., Божок Ю. В. Оцінка характеристик посушливості Закарпаття в сучасних та майбутніх умовах (за сценаріями глобального потепління) // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. 2011. Т. 2 (23). С. 51-59.
12. Купріков І., Сніжко С. Прогноз водності басейну р. Тиси на найближчу і середню перспективу в умовах кліматичних змін // Українська географія: сучасні виклики. Зб. наук. праць. К.: Прінт-Сервіс, 2016. Т. III. С. 86-88.
13. Hlavkova K., Sgolgay J., Cunderlik J., Parajka J., Lapin M. *Impact of climate change on the hydrological regime of rivers in Slovakia*. Bratislava: Slovak Committee for hydrology, 1999. 101 p.
14. Лобода Н. С., Божок Ю. В. Мінливість клімату та водних ресурсів Закарпаття // Вісник Одеського державного екологічного університету. 2011. Вип. 12. С. 161-167.
15. Лобода Н. С. Оцінка припливу прісних вод до північно-західної частини Чорного моря. Постановка проблеми та шляхи вирішення // Причорноморський екологічний бюлетень. 2010. №2 (36). С. 63-67.
16. 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.
17. Електронний ресурс <http://ensemblesrt3.dmi.dk>
18. Mitja Brilly (Ed.). *Hydrological Processes of the Danube River Basin: Perspectives from the Danubian Countries. 2010th Edition*. Springer Science+Business Media, 2010. 437 p.
19. Школьнік Є. П., Лоева І. Д., Гончарова Л. Д. Обробка та аналіз гідрометеорологічної інформації: підручник. К.: Міносвіти України, 1999. 600 с.
20. Лоули Д., Максвелл А. Факторний аналіз как статистический метод. Пер. с англ. М.: Мир, 1967. 144 с.
21. Гопченко Є. Д., Лобода Н. С. Оцінювання природних водних ресурсів України за методом водно-теплого балансу // Наук. праці УкрНДГМІ. 2001. Вип. 249. С. 106-120.
22. Гопченко Е. Д., Лобода Н. С. Оценка возможных изменений водных ресурсов Украины в условиях глобального потепления // Гидробиологический журнал. 2000. Т. 36 (3). С. 67-78.
23. Лобода Н. С. Расчеты и обобщения характеристик годового стока рек Украины в условиях антропогенного влияния: монографія. Одесса: Екологія, 2005. 208 с.
24. Определение гидрологических характеристик для условий республики Молдова. CP D.01.05-2012. 180 с.
25. ДБН України. Визначення розрахункових гідрологічних характеристик. ДБН В.2.4. Київ, 2014. 137 с.
26. Лобода Н. С. Влияние изменений климата на водные ресурсы Украины (моделирование и прогнозы по данным климатических сценариев) // 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.
27. Roeckner E., Arpe K., Bengtsson L., Christoph M., Clausen M., Dumenil L., Esch M., Schlese U., Schulzweida. The atmospheric general circulation model ECHAM4: Model description and simulation of present-day climate. *Max-Planck-Institute fur Meteorologie, Report*, 1996, no. 218.
28. Водні ресурси та гідроекологічний стан Тилігульського лиману / під ред. Ю. С. Тучковенка, Н. С. Лободи. Одеса: ТЕС, 2014. 276 с.
29. Ana I. Lillebo, Per Stalnacke, Geoffrey D. Gooch (Eds.). *Coastal Lagoons in Europe: Integrated Water Resource Strategies*. London: IWA Publishing, 2015. 256 p.
30. Richard H. McCuen. *Modeling Hydrologic Change: statistical methods*. USA: Lewis Publishers, 2003. 433 p.
31. Водний режим та гідроекологічні характеристики басейну Куяльницького лиману / під ред. Н. С. Лободи, Е. Д. Гопченка. Одеса: ТЕС, 2016. 332 с.
32. Пособие по определению расчетных гидрологических характеристик. Л.: Гидрометеоиздат, 1984. 447 с.
33. Вишневський В. І. Річки і водойми України. Стан і використання. Київ: Віпол, 2000. 375 с.

REFERENCES

- Stepanenko S. M., Pol'ovyy A. M., Loboda N. S. *Klimatychni zminy ta yikh vplyv na sfery ekonomiky Ukrainy* [Climate changes and its impact on sectors of the economy of Ukraine]. Odessa, 2015. 520 p.
- Stepanenko S. M., Pol'ovyy A. M. (Eds.). *Otsinka vplyvu klimatychnykh zmin na galuzi ekonomiky Ukrainy* [Assessing the impact of climate change on economics of Ukraine] Odessa, 2011. 605 p.
- Heide Schreiber, Lucian Theodor Constantinescu, Irena Cvitanic, Sergej Snishko and others. *Harmonised Inventory of Point and Diffuse Emissions of Nitrogen and Phosphorus for a Transboundary River Basin. Water Research Project*, 2003. 159 p.
- Judith C. Stagl, Fred F. Hattermann. Impacts of Climate Change on the Hydrological Regime of the Danube River and Its Tributaries Using an Ensemble of Climate Scenarios. Switzerland. *Water*, 2015, 7 (11). pp. 6139-6172.
- Tockner Klement, Robinson T. Christopher, Uehlinger Urs (Eds). *Rivers of Europe*. Elsevier, 2009. 700 p.
- Mikhaylov V. N. (Ed.). *Gidrologiya del'ty Dunaya* [Hydrology of the Danube Delta]. Moscow, 2004. 448 p.
- Loboda N. S., Tuchkovenko Yu. S. The influence of river flow changes by climatic scenarios on hydroecological conditions of North-Western Black Sea Region. *Naukovi zapysky Ternopil's'koho natsional'noho pedahohichnoho universytetu imeni Volodymyra Hnatyuka. Seriya: biolohiya*, 2010, vol. 3 (44), pp. 143-145. (In Ukrainian)
- Loboda N. S. The assessment of present and future Ukrainian water resources on meteorological evidence. *Climate and Water*, 1998, vol. 1, pp. 1486-1494.
- Stančik Andrej, Jovanović Slavoljub. *Hydrology of the River Danube*. Bratislava: Publishing House Priroda, 1988. 272 p.
- The Danube River Basin: basin-wide overview. International Commission for the Protection of the Danube River (ICPDR)*. Vienna, 2005. 192 p.
- Loboda N. S., Khokhlov V. M., Bozhok Yu. V. Assessment *Hidrolohiya, hidrokimiya i hidroekolohiya - Hydrology, hydrochemistry and hydroecology*, 2011, vol. 2 (23). pp. 51-59. (In Ukrainian)
- Kuprikov I., Snizhko S. 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 Paper*. Kyiv, 2016, vol. III, pp. 86-88. (In Ukrainian)
- Hlavkova K., Sgolgay J., Cunderlik J., Parajka J., Lapin M. *Impact of climate change on the hydrological regime of rivers in Slovakia*. Bratislava: Slovak Committee for hydrology, 1999. 101 p.
- Loboda N., Bozhok Yu. Changeability of climate and water resources of Transcarpathia. *Visn. Odes. derž. ekol. univ. – Bulletin of Odessa State Environmental University*, 2011, no. 12, pp. 161-167. (In Ukrainian)
- Loboda N. S. Assessment of the fresh water inflow to the north-western part of Black Sea. Formulation of the problem and ways of solution. *Prychornomors'kyy ekolohichnyy byuleten' - Black Sea Environmental Bulletin*, 2010, vol. 2 (36), pp. 63-67. (In Ukrainian)
- Vasyl'chenko V. V., Raptun M. V., Trofimov 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.
- <http://ensemblest3.dmi.dk>
- Mitja Brilly (Ed.). *Hydrological Processes of the Danube River Basin: Perspectives from the Danubian Countries. 2010th Edition*. Springer Science+Business Media, 2010. 437 p.
- Shkolnyi Ye. P., Loeva I. D., Honcharova L. D. *Obrobka ta analiz hidrometeorolohichnoyi informatsiyi* [Processing and analysis of hydrometeorological information]. Kyiv, 1999. 600 p.
- Louli D., Maksvell A. *Faktornyy analiz kak statisticheskiy metod*. Perevod s angl. [Factor analysis as a statistical method. Transl. from Engl.]. Moscow, 1967. 144 p.
- Gopchenko Ye. D., Loboda N. S. Evaluation of natural water resources of Ukraine by water and heat balance. *Naukovi Pratsi UkrNDHMI – Scien. Works of UcrSRHMI*, 2001, issue 249, pp. 106-120. (In Ukrainian)
- Gopchenko E. D., Loboda N. S. Evaluation of possible changes in water resources of Ukraine in conditions of global warming. *Gidrobiologicheskij zhurnal – Hydrobiological journal*, 2000, vol. 36 (3). pp. 67-78. (In Russian)
- Loboda N. S. *Raschety i obobshcheniya kharakteristik godovogo stoka rek Ukrainy v usloviyah antropogennogo vliyaniya* [Calculations and summarizing of the annual flow characteristics of the Ukrainian rivers in the conditions of anthropogenic influence]. Odessa, 2005. 208 p.
- Opređenje gidrologicheskikh kharakteristik dlya usloviy respubliki Moldova. CP D.01.05-2012* [Determination of hydrological characteristics of the conditions of the Republic of Moldova. CP D.01.05-2012]. 2012. 180 p.
- DBN Ukrainy. Vyznachennya rozrakhunkovykh hidrolohiichnykh kharakterystyk*. [State Construction Standard of Ukraine. Determination of the estimated hydrological characteristics]. Kyiv, 2014. 137 p.
- Loboda N. S. The impact of climate change on water resources of Ukraine (modeling and forecasts according to climate scenarios). *Global'nyye i regional'nyye izmeneniya klimata - Global and regional climate change*. Kyiv, 2011, pp. 340-352. (Eds: V. M. Shestopalov, V. F. Loginov, V. I. Osadchiy etc.) (In Russian)
- Roeckner E., Arpe K., Bengtsson L., Christoph M., Claussen M., Dumenil L., Esch M., Schlese U., Schulzweida. The atmospheric general circulation model ECHAM4: Model description and simulation of present-day climate. *Max-Planck-Institute fur Meteorologie, Report*, 1996, no. 218.
- Tuchkovenko Yu. S., Loboda N. S. (Eds). *Vodni resursy ta hidroekolohichnyy stan Tylihul's'koho lymanu* [Water resources and hydroecological condition of Tyligul'skyi Liman]. Odessa, 2014. 276 p.
- Ana I. Lillebø, Per Stalnacke, Geoffrey D. Gooch (Eds). *Coastal Lagoons in Europe: Integrated Water Resource Strategies*. London: IWA Publishing, 2015. 256 p.
- Richard H. McCuen. *Modeling Hydrologic Change: statistical methods*. USA: Lewis Publishers, 2003. 433 p.
- Loboda N. S., Gopchenko E. D. (Eds). *Vodnyy rezhym ta hidroekolohichni kharakterystyky baseynu Kuyal'nyts'koho lymanu* [Water regime and hydroecological characteristics of Kuyal'nitskyi Liman]. Odessa, 2016. 332 p.
- Posobie po opredeleniyu raschetnykh gidrologicheskikh kharakteristik* [Manual for the definition of estimated hydrological characteristics]. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1984. 447 p.
- Vyshnevs'kyy V. I. *Richky i vodoymy Ukrainy. Stan i vykorystannya*. [Rivers and reservoirs of Ukraine. Condition and use]. Kyiv, 2000. 375 p.

ASSESSMENT OF WATER RESOURCES CHANGE OF THE DANUBE RIVER IN THE XXI CENTURY UNDER THE SCENARIO A1B USING THE MODEL "CLIMATE-RUNOFF"

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

*Odessa State Environmental University,
15, Lvivska str., 65016, Odessa, Ukraine, julia.bojok89@gmail.com*

The results of calculations of possible state of water resources within The Danube River basin in the XXI century were shown. This estimation was based on the model "climate-runoff", developed in Odessa State Environmental University. As the input to model data of climate scenario A1B (model REMO) were used. Average long-term annual flow values using meteorological data (air temperature and precipitation) from the scenario for different climatic periods of XXI century were calculated. 32 points (grid nodes) which were uniformly distributed over the catchment area of The Danube River were studied. Projection of changes in water resources was given by comparing the calculation results in the past (before 1989) and in the future (1990-2030, 2031-2070, 2071-2100).

The major trends in climatic factors of the flow formation and water resources were established. It is shown that the climatic conditions in the XXI century on the The Danube River catchment is unfavorable for the formation of runoff. The positive component of the water balance (precipitation) remains unchanged and the negative component (evaporation) increases.

Isolines of norms of climatic annual flow within the whole basin were constructed. It is established that by 2030 a significant reduction of water resources will not occur; during the 2031-2070 diminution will be 17,9 %; during the 2071-2100 – 22,0 %.

Keywords: water resources, climate change scenarios, the model "climate-runoff", forecast of water resources

ОЦЕНКА ИЗМЕНЕНИЙ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ РЕКИ ДУНАЙ В XXI ВЕКЕ ПО СЦЕНАРИЮ А1В С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МОДЕЛИ "КЛИМАТ-СТОК"

Н. С. Лобода, проф., д. геогр. н., зав. каф. гидроэкологии и водных исследований
Ю. В. Божок, к. геогр. н., асист. каф. гидроэкологии и водных исследований

*Одесский государственный экологический университет,
ул. Львовская, 15, 65016, Одесса, Украина, julia.bojok89@gmail.com*

В статье приведены результаты расчетов возможного состояния водных ресурсов р. Дунай в XXI веке на основе модели "климат-сток", разработанной в ОГЭКУ. На входе в модель использованы данные климатического сценария А1В (модель REMO). Построены карты изолиний норм годового климатического стока в пределах всего бассейна. Установлено, что в 2030 г. существенного уменьшения водных ресурсов происходить не будет, в период 2031-2070гг. уменьшение будет составлять 17,9%, в период 2071-2100 гг. - 22,0%.

Ключевые слова: водные ресурсы, сценарии изменения климата, модель "климат-сток", прогноз изменения водных ресурсов

Дата першого подання : 24. 10. 2016

Дата надходження остаточної версії : 08.11.2016

Дата публікації статті : 24. 11. 2016