



Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union



КЛІМАТИЧНІ РИЗИКИ ФУНКЦІОНУВАННЯ ГАЛУЗЕЙ ЕКОНОМІКИ УКРАЇНИ В УМОВАХ ЗМІНИ КЛІМАТУ

Одеса
ТЕС
2018

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

КЛІМАТИЧНІ РИЗИКИ ФУНКЦІОНУВАННЯ ГАЛУЗЕЙ
ЕКОНОМІКИ УКРАЇНИ
В УМОВАХ ЗМІНИ КЛІМАТУ

*За редакцією доктора фізико-математичних наук,
професора С. М. Степаненка, доктора географічних наук,
професора А. М. Польового*

561975-EPP-1-2015-1-FI-EPPKA2-SVHE-JP

Одеса
ТЕС
2018

УДК 551.58:33
К-49

Друкується за рішенням вченої ради Одеського державного екологічного університету
(протокол № 9 від 26.10. 2018 р.)

Рецензенти:

С. І. Сніжко, доктор географічних наук, професор;
В.П. Карпенко, доктор сільськогосподарських наук, професор

К - 49 Кліматичні ризики функціонування галузей економіки України в умовах зміни клімату: монографія / за ред. С. М. Степаненка, А. М. Польового. Одеський державний екологічний університет. Одеса: ТЕС, 2018. 548 с.
ISBN 978-617-7711-22-2

В монографії розглядаються очікувані зміни клімату згідно з різними сценаріями викидів парникових газів та їх вплив на ефективність роботи різних галузей економіки. Проведено моделювання ризикових ситуацій, виявлення динаміки і частоти повторювання екстремальних гідрометеорологічних явищ та виконана кількісна оцінка кліматичних ризиків в галузях народного господарства України і пов'язаних з ними витрат за різних кліматичних сценаріїв.

Видання підготовлено в рамках проекту 561975-EPP-1-2015-1-FI-EPPKA2-SBHE-JP «Адаптивне навчальне середовище для забезпечення компетенцій в галузі впливу місцевих погодних умов, якості повітря та клімату на економіку та соціум». Підтримка Європейської Комісії видавництва цієї публікації не включає схвалення її змісту, який відображає тільки погляд авторів, і Європейська Комісія не може нести відповідальність за будь-яке використання інформації, що міститься в цьому виданні.

The monograph covers the expected climate change in accordance with diverse scenarios of greenhouse gas emissions, and its impact on the efficiency of various economic sectors in Ukraine. Simulation of risk situations is carried out, the dynamics and iterative frequency of severe weather phenomena is revealed, and a quantitative assessment of climatic risks in the sectors of the national economy of Ukraine and the associated costs are performed under various climatic scenarios.

The publication is made in the framework of the project of 561975-EPP-1-2015-1-FI-EPPKA2-SBHE-JP 'Adaptive Learning Environment for Competence in Economic and Societal Impacts of Local Weather, Air Quality and Climate'. The European Commission support for the production of this publication does not constitute an endorsement of the contents which reflects the views only of the authors, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein.

ISBN 978-617-7711-22-2

© Одеський державний екологічний університет, 2018

Н.В. Васалатій, В.Н. Ситов; 7.3– О.Л. Барсукова, Л.Ю. Божко, С.М. Мажура; 7.4 – Т.І. Адаменко; 7.5 – О.Л. Жигайло; 7.6– С.М. Свидерська; 7.7, 7.9 – О.В. Вольвач; 7.8 – В.В. Колосовська, Н.В. Данілова; 7.10–А.В. Толмачова, Н.В. Кирнасівська; 7.11–А.В. Круківська, І. П. Ковальчук; розділ 8 – Н.С. Лобода; післямова – С.М. Степаненко, А.М. Польовий.

Наукове керівництво: С.М. Степаненко, А.М. Польовий.

Підготовка рукопису до друку С.М. Мажура.

Автори висловлюють свою подяку колективам кафедр: метеорології та кліматології, агрометеорології та агроєкології, гідроекології та водних досліджень, колективу науково-дослідної частини за підтримку і допомогу при підготовці рукопису, а також О.Д. Соколенко за редагування рукопису.

8. ПРОГНОЗ ЗМІН ВОДНИХ РЕСУРСІВ УКРАЇНИ XXI СТОРІЧЧЯ ЗА СЦЕНАРІЯМИ ЗМІН КЛІМАТУ (RCP8.5, RCP4.5) ТА ОЦІНКА РИЗИКІВ ДЛЯ ВОДНОГО ГОСПОДАРСТВА

8.1. ОГЛЯД СУЧАСНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ З ПИТАНЬ ОЦІНКИ ВОДНИХ РЕСУРСІВ УКРАЇНИ В УМОВАХ ЗМІН КЛІМАТУ

Оцінка змін водних ресурсів в результаті глобального потепління відбувається двома шляхами: на основі вивчення тенденцій змін характеристик клімату і стоку за даними спостережень, а також на базі математичного моделювання з використанням на вході у модель даних про зміни основних кліматичних чинників формування стоку, які беруться із кліматичних сценаріїв. Перший напрям для території України представлений роботами Вишневського В.І. [2], Гребіня В.В. [10], Хільчевського В.К. [38], Струтинської В.М. [35], Шакірзанової Ж.Р. [40], Овчарук В.А. [9]. Другий напрям спирається на побудову математичних моделей, серед яких значне місце посідають сучасні числові гідрологічні моделі, такі як SWAT, SWIM, MIKE11 та інші, які потребують значних обсягів гідрологічної, метеорологічної інформації, детальної інформації про структуру землекористування у басейнах річок [12, 26, 32, 41, 45]. Крім того, використання такого роду чисельних моделей потребує сучасних потужних комп'ютерів. Для території України, у межах якої гідрометеорологічна мережа досить не густа для забезпечення чисельних моделей детальними даними, перспективним варіантом є використання водно-балансових гідрологічних моделей, серед яких в Україні найбільш часто використовується модель “клімат-стік”, розроблена в ОДЕКУ Є.Д. Гопченком і Н.С. Лободою [5, 6, 8], та водно-балансова модель Казмарека (Kaszmarek), модифікована С.І. Сніжком для умов України [13, 31]. Особливістю моделі Казмарека є використання для розрахунків випаровування моделі Л.Тюрка (1958).

Перші оцінки змін водних ресурсів України в умовах глобального потепління виконувались за прогнозними даними, розробленими по моделях ВМО для Південної та Східної Європи [7, 47]. Наприкінці минулого сторіччя були розроблені більш детальні кліматичні сценарії, в яких містилися матеріали про можливі зміни атмосферних опадів і температур повітря: GISS – модель Інституту Годдарда з космічних досліджень, де чутливість до подвоєння двоокису вуглецю CO₂ становила 4,2 °С, рік розрахунків – 1982; GFDL – модель Лабораторії геофізичної гідродинаміки США, у якій чутливість до подвоєння CO₂ становила 4 °С,

рік розрахунків – 1989; CCCM – модель Канадського кліматичного центру, чутливість до подвоєння CO₂ - 3,5 °С, рік розрахунків – 1989; UKMO – модель Метеорологічного бюро Об'єднаного Королівства, чутливість до подвоєння CO₂ - 3,5°С, рік розрахунків – 1989. Ці сценарії були адаптовані до різних географічних зон України [36]. На їх основі виконувались оцінки змін водних ресурсів великих водозбірних басейнів (Дніпра, Південного Бугу, Дністра та Дунаю) з метою передбачення у майбутньому екологічного стану Північно-Західної частини Чорного моря [14, 25].

У 2000 р. Міжурядовою групою експертів зі змін клімату опублікована «Спеціальна доповідь по сценаріях викидів» (СДСВ) [42], в якій кліматичні сценарії представлені як результат різних варіантів розвитку та взаємодії демографічних, економічних і науково-технічних факторів, які зумовлюють різні об'єми викидів парникових газів. В цих сценаріях розглядались чотири сюжетні лінії (A1, A2, B1 і B2) [43].

Дослідження, виконані для різних частин Європи, дозволили встановити, що найкраща відповідність фактичних і сценарних метеорологічних даних за ретроспективний період (1953-1989 рр.) на території Північно-Західного Причорномор'я має місце для сценарію M10 з гілки сценаріїв A1B [41]. Саме за цим сценарієм надавався прогноз стану водних ресурсів Куяльницького [3] й Тилігульського [1, 4] лиманів на XXI сторіччя. Результати досліджень по Тилігульському лиману увійшли складовою міжнародного дослідницького проекту 7-ї 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.) [41]. Для визначення водних ресурсів Тилігульського лиману в майбутньому при виконанні цієї роботи використовувалась екогідрологічна модель SWIM [45], розроблена у Потсдамському інституті досліджень впливу клімату (PIK). Недоліком моделі SWIM в умовах України стала вимога до значної густоти розташування кліматичних станцій: не менше однієї станції на 100 км². Невиконання цієї вимоги призводило до труднощів у процесі калібрування та валідації моделі. Співставлення результатів моделювання стоку за моделлю SWIM і стохастичною моделлю «клімат-стік», розробленою в ОДЕКУ [23, 24], показало, що остання дозволяє отримати кращі результати, оскільки розроблена саме для територій з недостатністю та відсутністю гідрологічних спостережень. На базі рівняння водного балансу в модифікації, запропонованій польським гідрологом Kaszmarek (1993), проф. Сніжко С.І (Київський національний університет імені Тараса Шевченка) за сценарієм A1B (модель REMO) оцінив водні ресурси України [31], які узгоджуються із даними, отриманими за моделлю «клімат-стік».

Коли з'явилась можливість використання відкритих електронних ресурсів зарубіжжя, де можна знайти необхідні для моделювання дані про

підстильну поверхню, почали розробляти нові методичні підходи до застосування сучасних чисельних моделей для України [12, 26, 32].

У 2013 р. Міжнародна група експертів зі змін клімату опублікувала П'яту «Спеціальну доповідь по сценаріях викидів» (СДСВ) [44], 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 різниць 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/м² для кожного сценарію [44]. Результати розрахунків за вказаними траєкторіями опубліковані науковцями ОДЕКУ в роботах [16-19].

8.2. МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

У широкому значенні під водними ресурсами розуміють усі води планети Земля, тобто води поверхневого і підземного стоку, ґрунтові і підземні води, води озер, боліт, льодовиків і вікових снігів, океанічні, морські і атмосферні води, води штучних об'єктів (каналів, водосховищ) [28, 37]. У вузькому значенні водними ресурсами є запаси поверхневих і підземних вод, придатних для використання. У зв'язку із тим, що всі ці води в процесі кругообігу зв'язані із водами річок, при розгляді водних ресурсів найчастіше розуміють лише величину середнього багаторічного річного стоку річок досліджуваних територій [39]. Теоретично водні ресурси відносяться до числа відновлюваних природних ресурсів, проте, з огляду на зростаючий вплив господарської діяльності людини, яка призводить до незворотного відбирання запасів поверхневих і підземних вод, а також до їх забруднення, поняття відновлюваних водних ресурсів стає умовним.

Стан водних ресурсів України в умовах кліматичних змін оцінювався за моделлю «клімат-стік», розробленою в ОДЕКУ. Модель складається з двох основних частин. Перша частина моделі включає до себе розрахунки характеристик річного природного (непорушеного водогосподарською діяльністю) стоку за метеорологічними даними. Ця складова моделі базується на рівнянні водно-теплового балансу в модифікації В.С. Мезенцева [27], реалізація якого для території України виконана проф. Є.Д. Гопченком і проф. Н.С. Лободою [5, 6, 15].

На вході в модель використовуються дані про місячні та річні опади,

температури і дефіцит вологості повітря. Друга частина моделі спирається на результати стохастичного моделювання побутового (перетвореного водогосподарською діяльністю) стоку [22]. Структура моделі дозволяє виконувати розрахунки кліматичного (зонального природного) стоку на основі метеорологічних даних [14, 47], що відкрило можливості для надання та подальшого уточнення прогнозу змін водних ресурсів України в міру розвитку кліматичних моделей [29, 33, 34].

Стік, визначений за рівнянням водно-теплового балансу, відображає взаємодію ресурсів зволоження (X) та тепла (E_m) і може визначатись за даними сценаріїв зміни клімату [47]:

$$Y'_K = X' + (w_1 - w_2)' - E'_m \left[1 + \left(\frac{X' + (w_1 - w_2)'}{E'_m} \right)^{-n} \right]^{\frac{1}{n}}, \quad (8.1)$$

де \bar{Y}'_K – величина кліматичного стоку за розрахунковий період в умовах змін клімату, мм; E'_m – величина максимально можливого випаровування за розрахунковий період в умовах змін клімату, мм; X' – сума річних опадів за розрахунковий період в умовах змін клімату, мм; n – параметр, який інтегрує фізико-географічні умови формування стоку; $(w_1 - w_2)'$ – зміна запасів води у ґрунті за розрахунковий період в умовах змін клімату, мм. Для багаторічного періоду вважається, що $(w_1 - w_2)' = 0$.

У моделі використовується поняття “максимально можливого випаровування” E_m , яке визначається через граничні ресурси енергії («теплоенергетичні ресурси клімату»), що забезпечують процес випаровування у заданих кліматичних умовах. «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 . Останні визначаються через прибуткові складові рівняння теплового балансу земної поверхні [30]

$$E_m = \frac{R^+ + P^+ + (B_1 - B_2)}{L}, \quad (8.2)$$

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

Оскільки максимально можливе випаровування виражається через теплоенергетичні ресурси клімату, то величина E_m отримала назву «теплоенергетичного еквівалента». Така інтерпретація поняття «максимального можливого випаровування» надає йому однозначності на відміну від інших методів, в яких максимально можливе випаровування розглядалось 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).

Для масових розрахунків річних значень E_m розроблені залежності від температур повітря, які є непрямим показником надходження сонячної радіації до підстильної поверхні. Для території України розроблені регіональні регресійні рівняння вигляду:

$$\bar{E}_m = 0,224 \sum T_{>10} + 226, r = 0,91; \quad (8.3)$$

$$\bar{E}_m = 0,209 \sum T_{>0} + 179, r = 0,87; \quad (8.4)$$

$$\bar{E}_m = 13,3 \sum_V^{IX} \bar{T}_M - 307, r = 0,94, \quad (8.5)$$

$$\bar{E}_m = 6,98 \sum_{IV}^{XI} \bar{T}_M + 128, r = 0,91, \quad (8.6)$$

$$\bar{E}_m = 13,3 \sum_V^{IX} \bar{T}_M - 307, r = 0,94, \quad (8.7)$$

де $\sum T_{>10}$ – сума добових температур повітря більша за $10^\circ C$; $\sum T_{>0}$ – сума добових температур повітря більша за $0^\circ C$; $\sum_{IV}^{XI} \bar{T}_M$ – сума середніх місячних температур повітря з квітня по листопад; $\sum_V^{IX} \bar{T}_M$ – сума середніх місячних температур повітря з травня по вересень; r – коефіцієнт кореляції.

Найчастіше для розрахунків залучається рівняння (8.7), оскільки воно описує залежність максимально можливого випаровування від температури із високим коефіцієнтом кореляції. В цьому рівнянні

використовуються дані про середні місячні, а не добові температури повітря (на відміну від рівнянь 8.3, 8.4).

Річний стік, визначений за метеорологічними даними, дістав назву «кліматичного». При розрахунках річного стоку за багаторічний період розрахункове рівняння (8.1) набуває вигляду

$$\bar{Y}'_K = \bar{X}' - \bar{E}'_m \left[1 + \left(\frac{\bar{X}'}{\bar{E}'_m} \right)^{-n} \right]^{\frac{1}{n}}, \quad (8.8)$$

де \bar{Y}'_K - середня багаторічна величина кліматичного річного 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 річних опадів в умовах змін клімату, мм.

Значення параметра n при розрахунках річного стоку рекомендується брати рівним 3.

Установлено, що середня багаторічна величина річного кліматичного стоку дорівнює зональному річному стоку у природних (непорушених водогосподарською діяльністю) умовах його формування [6]. Значення \bar{Y}'_K стоку відносяться до метеорологічних станцій або до вузлів сітки даних кліматичних сценаріїв. Для визначення стоку з водозбору використовується карта ізоліній розрахованих величин.

Модель “клімат-стік” містить в собі розроблені науковцями ОДЕКУ методики визначення коефіцієнта багаторічної мінливості (варіації) C_V річного стоку (в залежності від значення середньої багаторічної величини стоку) і коефіцієнта асиметрії. Для визначення коефіцієнта асиметрії рекомендовано застосовувати районування територією України співвідношення C_S / C_V [15]. Через статистичні параметри річного стоку за обраним законом розподілу випадкової величини встановлюються значення річного стоку в роки різної водності [46].

Модель була калібрована і верифікована на матеріалах про стік минулих років річок для різних географічних зон України, є чутливою до сучасних змін кліматичних чинників і дозволяє із задовільною точністю оцінювати зональний стік і вплив підстильної поверхні, включаючи водогосподарські перетворення [15]. 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 варіює у межах $\pm 10\%$.

Карти ізоліній норм річного кліматичного стоку будуються за даними метеорологічних станцій і відносяться у просторі не до геометричного центра водозборів, а до точок, які відповідають

географічним координатам відповідних станцій. Матеріалами, необхідними для визначення кліматичної норми річного стоку, є складові радіаційного та теплового балансів підстильної поверхні за багаторічний період, а також середні багаторічні дані по опадах і температурах повітря за календарні місяці й роки.

За даними минулих років (до 1989 р.) були побудовані карти ізоліній норм річних опадів, максимально можливого випаровування та кліматичного річного стоку для рівнинних територій на топографічній основі 1:500000, а також розроблені регіональні залежності цих характеристик від висоти місцевості (Українські Карпати та Гірський Крим). Для оцінки впливу підстильної поверхні на стік річок для водозборів із нестійким підземним живленням розроблені спеціальні методики для переходу від середніх багаторічних величин кліматичного стоку до природного [5, 15].

Співвідношення показників ресурсів тепла \overline{Em} та вологи \overline{X} , які входять до рівняння водно-теплового балансу, використано нами як характеристика зволоженості (посушливості) клімату:

$$\beta_X = \frac{\overline{X}}{\overline{Em}}, \quad (8.9)$$

де \overline{X} – середнє багаторічне значення суми опадів, мм; \overline{Em} – середнє багаторічне значення максимально можливого випаровування, мм.

Розглянуте співвідношення β_X [21] відповідає індексу аридності території [27, 11], згідно з яким виділені такі градації

$$\beta_X \geq 1,0 \text{ – зона надлишкового зволоження,} \quad (8.10)$$

$$0,8 < \beta_X < 1,0 \text{ – зона достатнього зволоження,} \quad (8.11)$$

$$0,5 \leq \beta_X < 0,8 \text{ – зона недостатнього зволоження,} \quad (8.12)$$

$$0,20 \leq \beta_X < 0,5 \text{ – напіваридна зона,} \quad (8.13)$$

$$0,03 \leq \beta_X < 0,2 \text{ – аридна зона,} \quad (8.14)$$

$$\beta_X < 0,03 \text{ – гіпераридна зона,} \quad (8.15)$$

Значення $\beta_X=0,5$ розглядається як межа між зоною недостатнього зволоження та напіваридною зоною. Зона недостатнього зволоження відповідає зоні степу, верхня межа якої відповідає нормі річного

зонального стоку $\bar{Y}_K=30\text{мм}$. Під час прогнозування стоку за сценаріями змін клімату показник β_X використовувався для ймовірнісної оцінки водності річок в залежності від співвідношення ресурсів тепла та вологи, передбачуваного сценарієм.

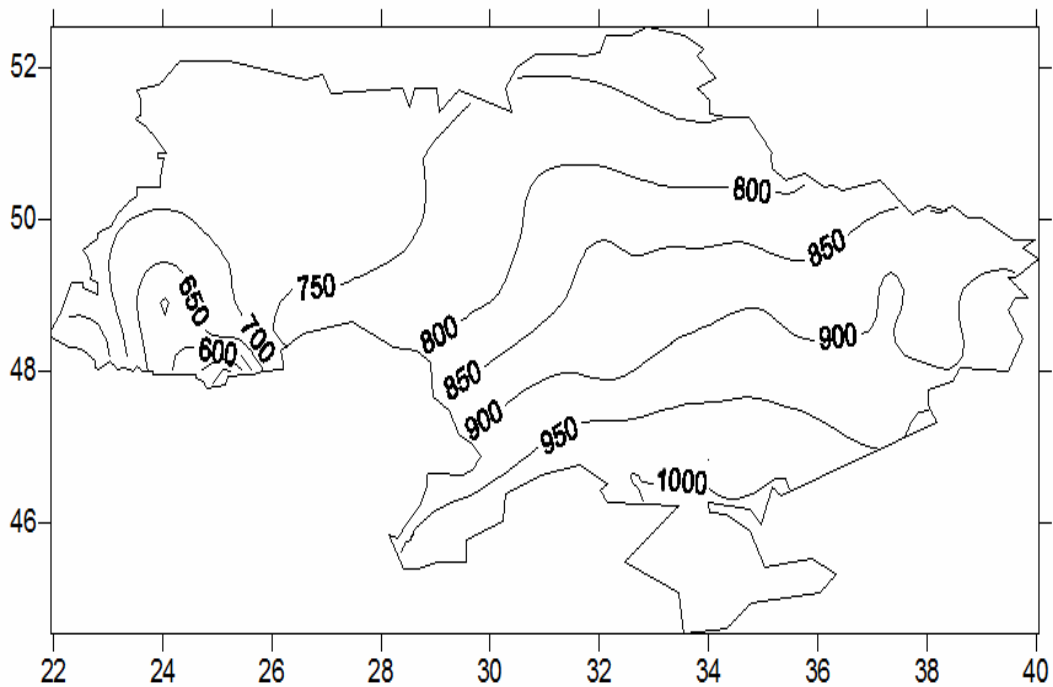
У роботі використані дані сценаріїв концентрацій парникових газів сімейства RCP (Representative Concentration Pathways – «характерні траєкторії змін концентрації»), а саме RCP4.5 та RCP8.5. Ці сценарії задають середній вміст парникових газів в атмосфері Землі в залежності від передбачуваної динаміки викидів парникових газів та інших чинників, на відміну від раніше досліджуваних сценаріїв, які базувались на вмісті емісій парникових газів та соціально-економічних показників (сценарні родини A1, A2, B1, B2). Найбільш екстремальним визнано сценарій RCP8.5, який характеризується безперервним зростанням радіаційного форсингу протягом XXI століття зі значеннями майже $8,5 \text{ Вт}\cdot\text{м}^{-2}$ 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. близькими до $4,5 \text{ Вт}\cdot\text{м}^{-2}$ [44].

Прогнози виконані для розрахункового періоду 2020-2050 рр. з використанням даних про середні місячні опади і температури повітря за сценаріями зміни глобального клімату RCP8.5 та RCP4.5 по 85 вузлах координатної сітки, які відповідають розташуванню станцій метеорологічних спостережень і є рівномірно розподіленими по території України. Для оцінки змін характеристик клімату і стоку виконувалось їх порівняння із відповідними характеристиками, визначеними за даними до 1989 р. [10]. Цей рік розглядається як «переламний» у хронологічному ході температур повітря над територією України. Установлено, що саме після 1989 р. наслідки впливу змін клімату на водні ресурси набули статистичної значущості [10, 34].

8.3. ОЦІНКА ВОДНИХ РЕСУРСІВ УКРАЇНИ XXI СТОРІЧЧЯ ЗА СЦЕНАРІЄМ ЗМІН КЛІМАТУ (RCP4.5)

За сценарієм RCP4.5 на території України у першій половині XXI сторіччя очікується зменшення ресурсів зволоження (середніх багаторічних величин опадів). Середні багаторічні величини річних сум опадів мають зменшуватися від нуля на заході до 30% на сході та південному сході. Ресурси тепла, представлені через максимально можливе випаровування, змінюватимуться незначно у порівнянні із 1989р. [13]. Ця особливість відрізняє результати моделювання стоку за сценарієм RCP4.5 від отриманих сценарієм A1B [22], згідно з яким максимально можливе випаровування має суттєво зростати (рис. 8.1).

град. півн.ш.



град. сх.. д

Рис. 8.1. Просторовий розподіл норм максимально можливого випаровування (мм), визначеного за даними 2021-2050 рр., сценарій RCP4.5

Аналізуючи зміни у просторовому розподілі ізоліній співвідношення ресурсів тепла і вологи β_X у часі (рис.8.2), можна зробити висновок, що через зменшення опадів на півдні та південному сході України верхня межа напіваридної зони (ізолінія $\beta_X=0,5$) буде «підніматись» до півночі і відбудеться її розширення у просторі. Зона недостатнього зволоження $0,5 \leq \beta_X < 0,8$ буде «просуватись» на північний захід. Зони достатнього та надлишкового зволоження ($\beta_X \geq 1,0$), розташовані на заході (Українські Карпати), дещо «стиснуться» внаслідок зростання опадів (рис. 8.3).

У минулому сторіччі (до початку значущого впливу глобального потепління) на рівнинній частині України норми кліматичного річного стоку змінювались від 100 мм на півночі до 20 мм на півдні (рис. 8.4). У період 2021-2050 рр. за сценарієм RCP4.5 очікується розширення до півночі зони степу, яка обмежена ізолінією норми річного зонального стоку, рівною 30 мм (рис. 8.5).

град. півн.ш.

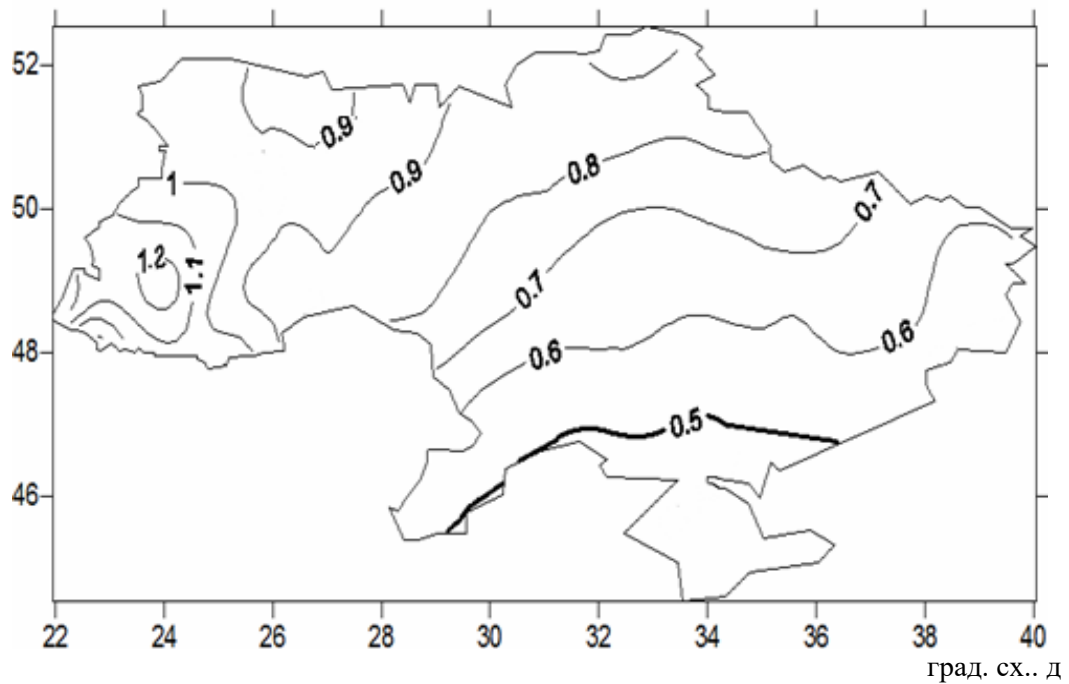


Рис. 8.2. Просторовий розподіл показника зволоженості β_X , визначеного за даними до 1989 року (до початку значущого впливу глобального потепління)

град. півн.ш.

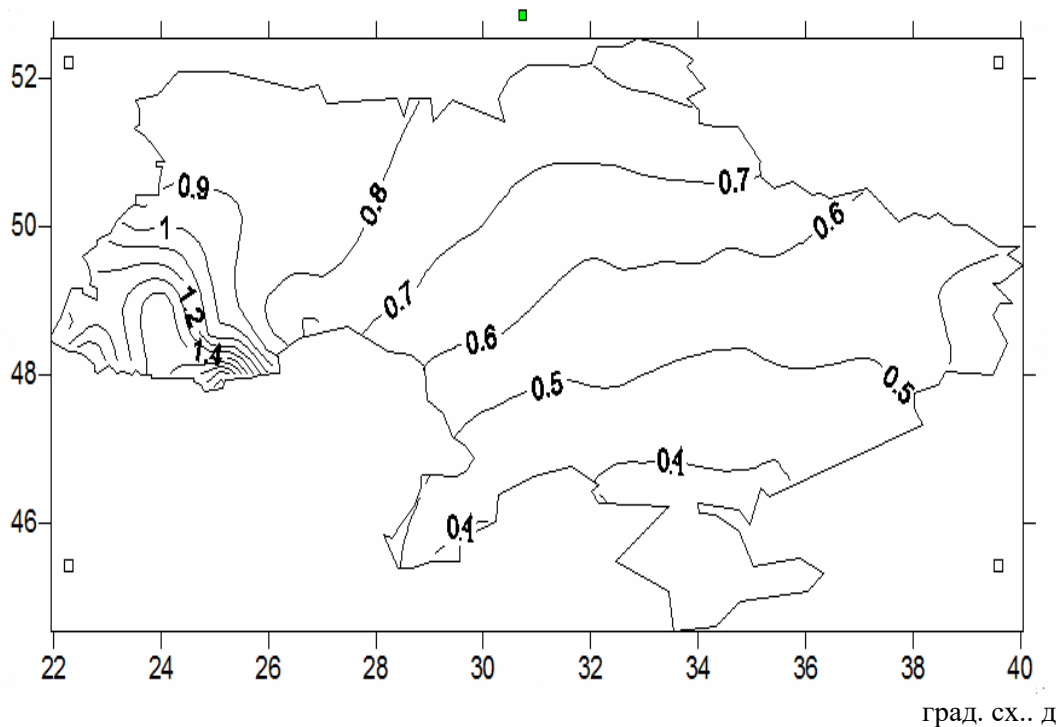


Рис. 8.3. Просторовий розподіл показника зволоженості β_X , визначеного за даними 2021-2050 рр., сценарій RCP4.5

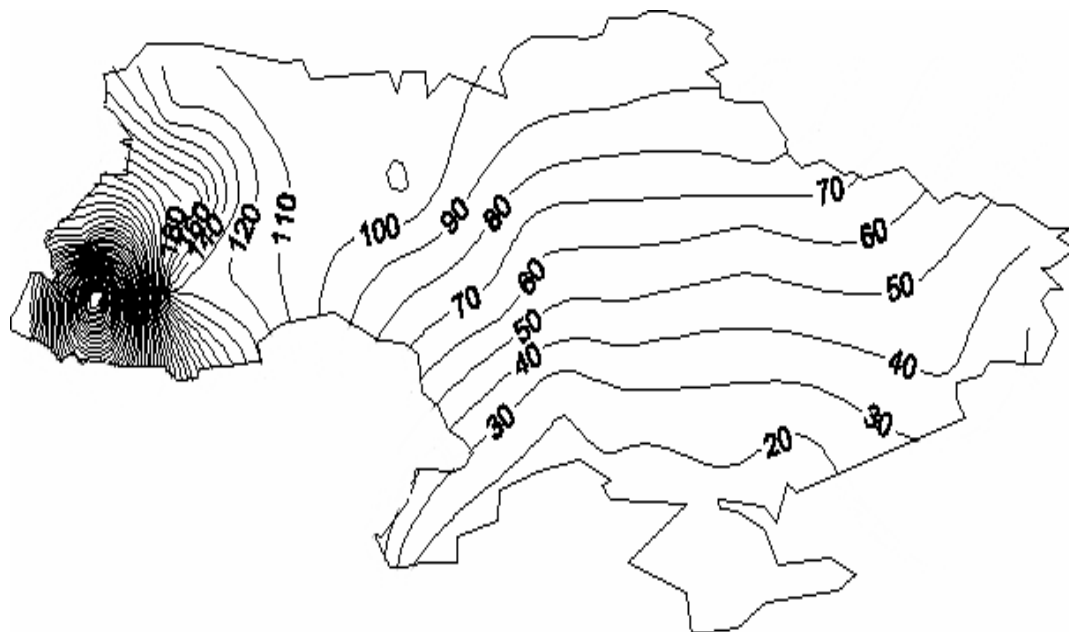


Рис. 8.4. Просторовий розподіл норм річного кліматичного стоку (мм), визначених за даними до 1989 р.

град. півн. ш.

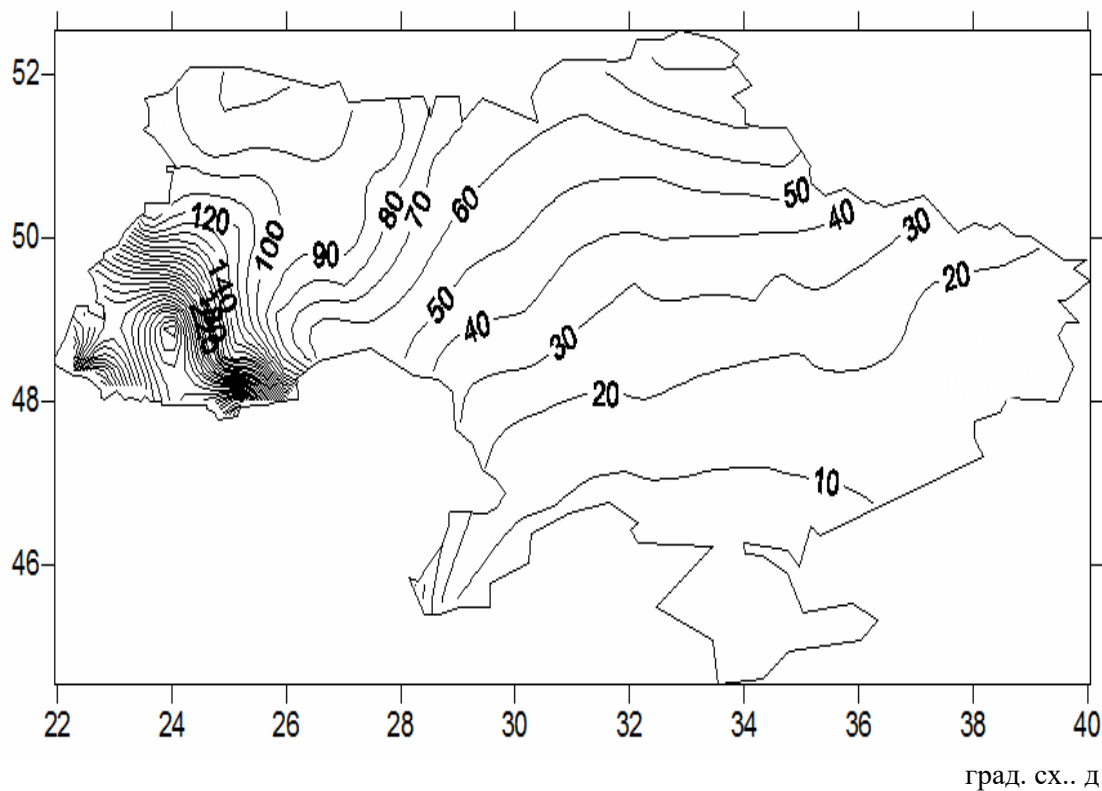


Рис. 8.5. Просторовий розподіл норм річного кліматичного стоку (мм), визначеного за даними 2021-2050 рр., сценарій RCP4.5

Більш повну уяву про зміни водних ресурсів України у просторі надає розподіл ізоліній відносних відхилень δ середніх багаторічних величин річного стоку минулого сторіччя від прогнозованих для періоду 2021-2050 рр.

$$\delta = \frac{\overline{Y_K}' - \overline{Y_K}}{\overline{Y_K}}, \quad (8.16)$$

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

Установлено, що зменшення водних ресурсів за період 2021-2050 рр. буде спостерігатись майже по всій території України (рис. 8.6) і на півдні та південному сході досягне – 60%, у Північно-Західному Причорномор'ї – 50 % [17]. Зростання водних ресурсів буде спостерігатись лише в Карпатах [19].

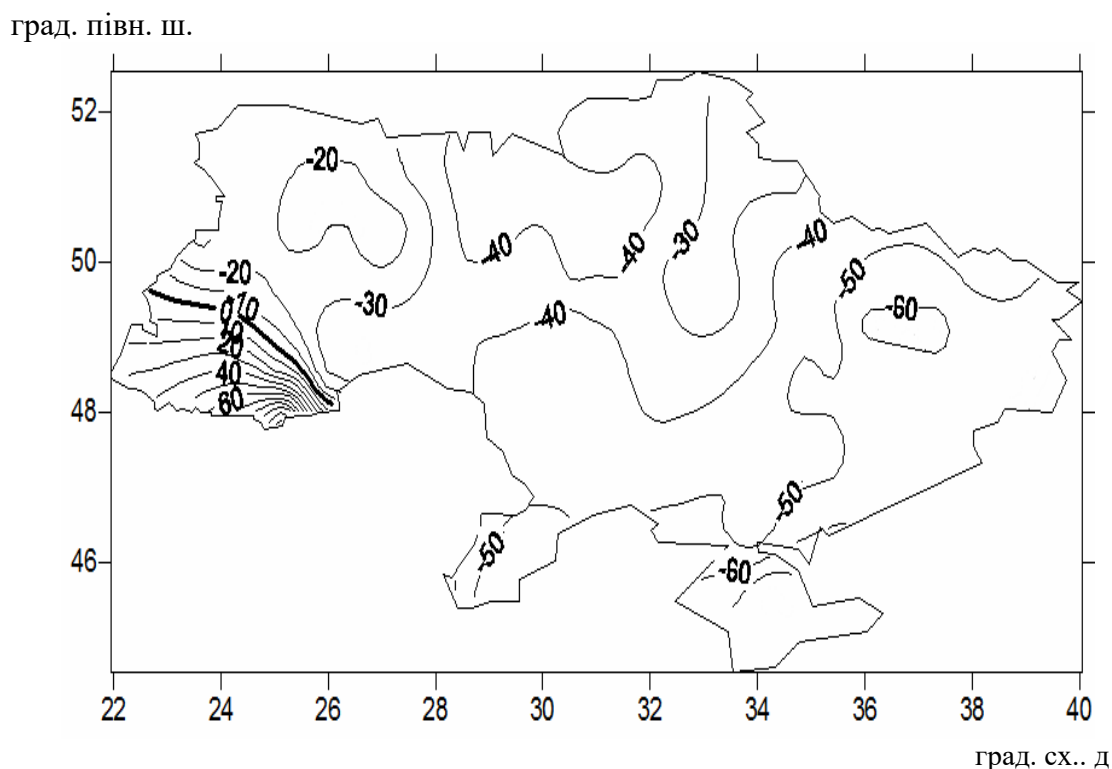


Рис. 8.6. Просторовий розподіл відносних відхилень (%) норм річного кліматичного стоку за період 2021-2050 рр. (сценарій RCP4.5) у порівнянні із базовими даними (до 1989 р.)

Що стосується 75-відсоткової забезпеченості (ймовірності перевищення) маловодних років (рис.8.7), то зменшення річного кліматичного стоку на півдні та південному сході може досягати 90 %, що вказує на можливість зневоднення територій. На північному заході тенденції зменшення водних ресурсів уповільнюються. У Карпатах через зростання опадів і зменшення максимально можливого випаровування можливе збільшення водних ресурсів до 60%.

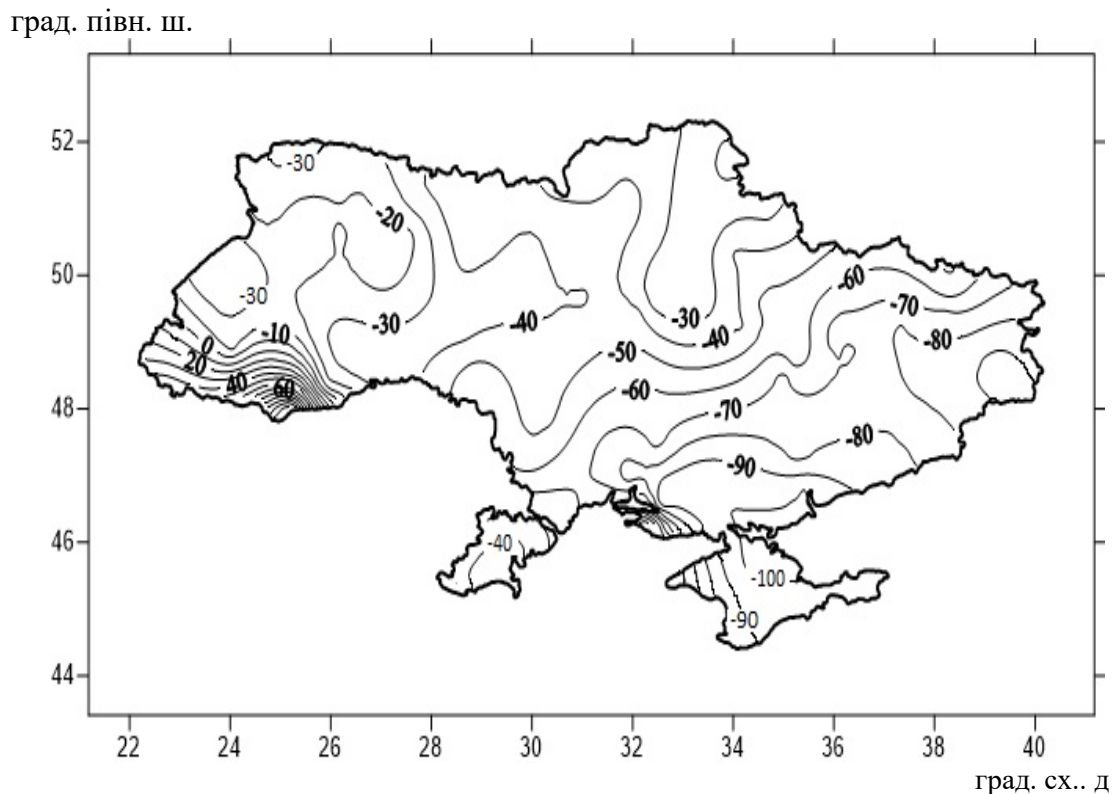


Рис. 8.7. Просторовий розподіл відносних відхилень (%) річного кліматичного стоку за період 2021-2050 рр. забезпеченістю 75% (сценарій RCP4.5) у порівнянні із базовими даними (до 1989 р.)

8.4. ОЦІНКА ВОДНИХ РЕСУРСІВ УКРАЇНИ ХХІ СТОРІЧЧЯ ЗА СЦЕНАРІЄМ ЗМІН КЛІМАТУ (RCP8.5)

Прогноз за сценарієм RCP8.5 показав, що по території України ресурси зволоження мають зменшуватись майже так само, як і у сценарії RCP4.5, а ресурси тепла дещо зростатимуть. Зростання посушливості клімату на більшості розглядуваної території буде проявлятися у переміщенні ізоліній $\beta_X=0,5$ та $\beta_X=0,8$ до півночі й північного заходу (рис. 8.8).

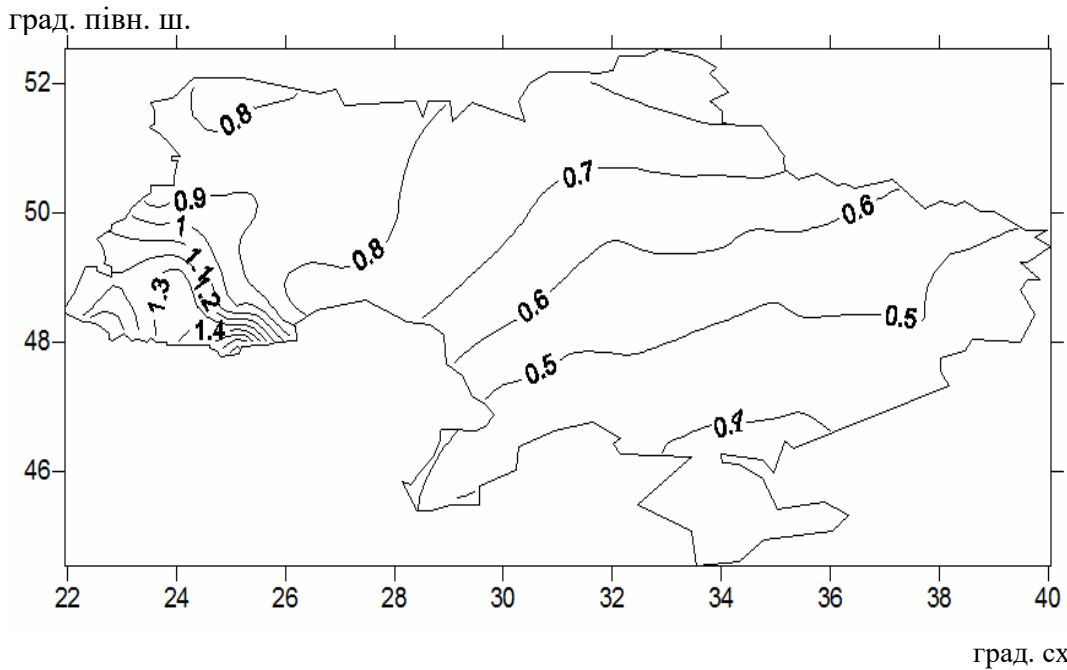


Рис. 8.8. Просторовий розподіл показника зволоженості β_X , визначеного за даними 2021-2050 рр., сценарій RCP8.5

Зменшення водних ресурсів відбуватиметься по всій рівнинній Україні. Посилення наслідків змін клімату у порівнянні із сценарієм RCP4.5 відбудеться на північному заході (зміна водних ресурсів зросте з 20% до 30% у бік їх зменшення) і на південному сході, де область зменшення водних ресурсів на 60% займе більший простір (рис.8.9).

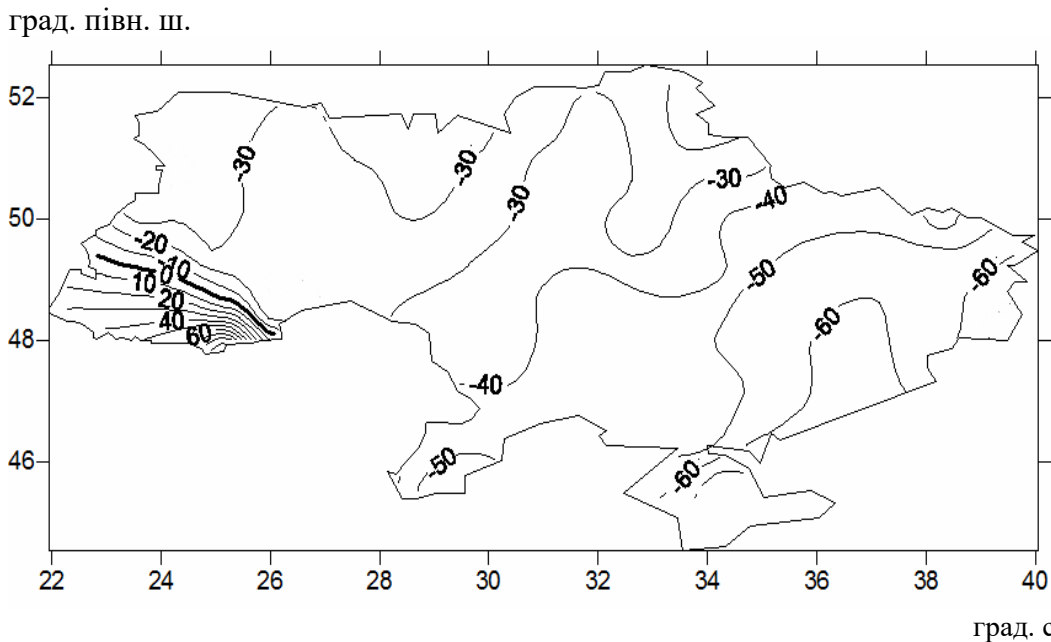


Рис. 8.9. Просторовий розподіл відносних відхилень (%) норм річного кліматичного стоку за період 2021-2050 рр. (сценарій RCP8.5) у порівнянні із базовими даними (до 1989 р.)

Так само розшириться область зневоднення на півдні у маловодні роки (рис.8.10).

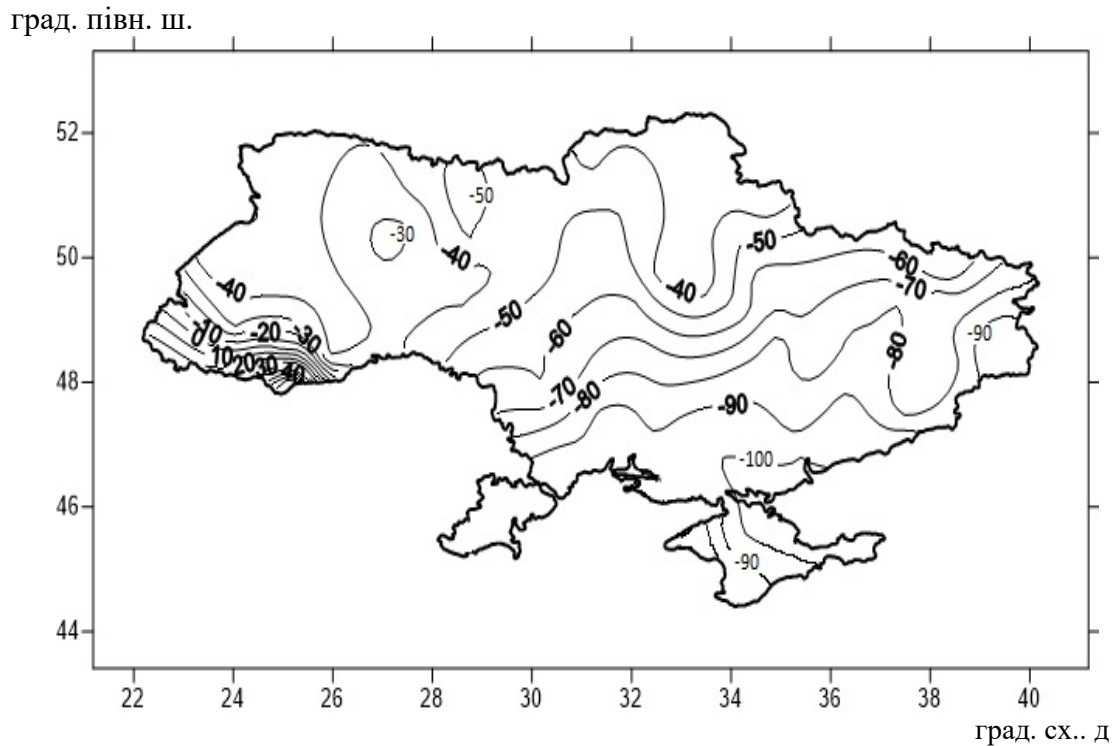


Рис. 8.10. Просторовий розподіл відносних відхилень (%) річного кліматичного стоку за період 2021-2050рр. забезпеченістю 75 % (сценарій RCP8.5) при порівнянні із базовими даними (до 1989 р.).

8.5. ОЦІНКА КЛІМАТИЧНИХ РИЗИКІВ У ВОДНОМУ ГОСПОДАРСТВІ

Зміна водних ресурсів країни в результаті глобального потепління спричинює підвищений ризик при використанні навколишнього природного середовища. Водні ресурси України складаються з місцевого стоку, який формується в річковій мережі на території України, та стоку, що надходить із зон формування великих річок (Дніпро, Дунай), розташованих поза межами України. Оцінка можливих змін стоку річок, які перетинають декілька країн, наведена у публікаціях [25, 20]. У роботі йдеться про зміни водних ресурсів безпосередньо на території України. Установлена за сценаріями RCP4.5 та RCP8.5 тенденція зменшення водних ресурсів на всій території рівнинної України узгоджується із результатами, отриманими для інших кліматичних сценаріїв (A1B, A1, A2, B2) і визначає стратегію адаптації України до наслідків глобального потепління.

Кліматичний ризик розглядається як добуток ймовірності появи небезпечного явища на вразливість об'єкта

$$R_{кл.р} = p(H.Я.) \cdot V, \quad (8.17)$$

де $R_{кл.р}$ – кількісний показник кліматичного ризику; $p(H.Я.)$ – ймовірність появи небезпечного явища; V – вразливість об'єкта.

У свою чергу, вразливість визначається як добуток відсотка пошкоджень, пов'язаних із настанням небезпечного явища, на втрати від цих пошкоджень

$$V = П \cdot N, \quad (8.18)$$

де $П$ – відсоток пошкоджень; N – збиток від пошкоджень.

За рекомендаціями ООН зменшення середньої багаторічної величини річного стоку на 10 % супроводжується значущими змінами водних ресурсів, зменшення на 50 % означає *руйнування* водних ресурсів, зменшення на 70 % має призвести до безповоротного руйнування водних ресурсів. Ці показники позначені як $П$ – відсоток можливих пошкоджень. Збиток через значущі зміни, руйнування та безповоротне руйнування водних ресурсів визначається як

$$N = N_j F, \quad (8.19)$$

де N_j – грошовий вираз для збитків, які припадають на 1 км² площі водозбору або на 1 км довжини річки; F – площа водозбору або довжина річки.

Під збитками від зменшення водних ресурсів слід розуміти витрати на відновлення водних ресурсів (розчищення русел річок, створення сховищ для збереження води, перекид стоку, будівництво очисних споруд та інше).

Особливість моделі “клімат - стік” полягає у тому, що розрахунки середнього багаторічного значення річного кліматичного стоку для кожного вузла сітки (метеостанції), дозволяють визначити зональний (кліматичний) річний стік за метеорологічними даними ретроспективного періоду та кліматичних сценаріїв і установити його зміни у просторі як для конкретних років, так і для багаторічного періоду. Виявлені зміни характеризують зміни водних ресурсів.

Ймовірність настання таких небезпечних явищ як суттєве зменшення, *руйнування* та *безповоротне руйнування* водних ресурсів визначалась як відношення кількості випадків, коли розглядуване небезпечне явище спостерігалось, до загальної кількості випадків.

Для обох розглянутих сценаріїв RCP4.5 та RCP8.5 ймовірність суттєвого зменшення місцевих водних ресурсів (від'ємні відхилення перевищують 10 %) становить 91 % (табл. 8.1, табл. 8.2). Майже по всій території України за винятком Українських Карпат, зміни водних ресурсів мають тенденцією до зменшення, яке посилюється при переході з північного заходу на південний схід.

Таблиця 8.1. Оцінка кліматичного ризику зменшення водних ресурсів для періоду 2020-2050 рр. за сценарієм RCP4.5

p	Пошкодження при зменшенні водних ресурсів, %	Збиток, грн/км ²	Вразливість	Коефіцієнт кліматичного ризику
0,91	-10	N_{10} ,	$10N_{10}$	$9,1N_{10}$
0,21	-50	N_{50}	$50N_{50}$	$10,5N_{50}$
0,04	-70	N_{70}	$70 N_{70}$	$2,8N_{70}$

Таблиця 8.2. Оцінка кліматичного ризику зменшення водних ресурсів для періоду 2020-2050рр. за сценарієм RCP8.5

p	Пошкодження при зменшенні водних ресурсів, %	Збиток, грн/км ²	Вразливість	Коефіцієнт кліматичного ризику
0,91	-10	N_{10} ,	$10N_{10}$	$9,1N_{10}$
0,24	-50	N_{50}	$50N_{50}$	$12,0N_{50}$
0,04	-70	N_{70}	$70 N_{70}$	$2,8N_{70}$

Ймовірність руйнування місцевих водних ресурсів, коли від'ємні зміни місцевих водних ресурсів перевищують 50 %, для сценарію RCP4.5 становить 21 %, а для сценарію RCP8.5 –24 %.

Зміни водних ресурсів, які б перевищували 70 %, мають малу ймовірність появи, яка дорівнює лише 4 % для обох сценаріїв. Вразливість території України від змін клімату та зменшення водних ресурсів за умови однакової питомої величини збитків N_i буде зростати з півночі й північного заходу до півдня і південного сходу.

Найбільший коефіцієнт кліматичного ризику спостерігатиметься на тих територіях України, де можливе зменшення водних ресурсів буде перевищувати 50 %. Такі території відповідають півдню і південному сходу.

Розгляд закономірностей змін річного стоку маловодних років дозволив визначити тенденції до пересихання річок і зневоднення територій. При визначенні кліматичних ризиків у маловодні роки оцінювалась ймовірність зменшення річного стоку на 100%, що відповідає умовам повного зневоднення територій (табл. 8.3, табл. 8.4).

Таблиця 8.3. Оцінка кліматичного ризику висихання річок (зменшення річного кліматичного стоку маловодних років на 100%) для періоду 2020-2050pp. за сценарієм RCP4.5

Забезпеченість водності року P , %	p	Пошкодження річного стоку маловодних років, %	Збиток, грн/км ²	Вразливість	Коефіцієнт кліматичного ризику
Маловодний рік $P=75\%$	0,13	-100	N_{100}	$100N_{100}$	$13,0N_{100}$
Дуже маловодний Рік $P=95\%$	0,32	-100	N_{100}	$100N_{100}$	$32,0N_{100}$
Занадто маловодний рік $P=99,9\%$	0,43	-100	N_{100}	$100N_{100}$	$43,0N_{100}$

Таблиця 8.4. Оцінка кліматичного ризику висихання річок (зменшення річного кліматичного стоку маловодних років на 100%) для періоду 2020-2050pp. за сценарієм RCP8.5

Забезпеченість водності року	p	Пошкодження річного стоку маловодних років, %	Збиток, грн/км ²	Вразливість	Коефіцієнт кліматичного ризику
Маловодний рік $P=75\%$	0,55	-100	N_{100}	$100N_{100}$	$13,0N_{10}$
Дуже маловодний рік $P=95\%$	0,66	-100	N_{100}	$100N_{100}$	$32,0N_{100}$
Занадто маловодний рік $P=99,9\%$	0,82	-100	N_{100}	$100N_{100}$	$82,0 N_{100}$

Ймовірність такої небезпечної події зростає в міру переходу від маловодних років ($P=75\%$) до дуже маловодних ($P=95\%$). Разом із зменшенням водності зростає вразливість стоку річок до змін клімату і збільшується коефіцієнт кліматичного ризику. Сценарій RCP8.5 передбачає більш тяжкі наслідки для змін водних ресурсів України, ніж це можна очікувати за розвитком подій згідно із сценарієм RCP4.5.

Висновки

Оцінки середніх багаторічних кліматичних чинників і стоку за сценаріями RCP4.5 та RCP8.5 у період 2021-2050 рр. показали, що на відміну від результатів, отриманих нами раніше для сценаріїв A1B та A2, зменшення водних ресурсів України буде відбуватись у межах усієї її рівнинної частини. Тільки у географічній зоні Українських Карпат можливе їх зростання (пов'язане із зменшенням ресурсів тепла з висотою та стабільністю ресурсів зволоження). Особливістю розглянутих сценаріїв є виражене зменшення опадів на фоні незначної зміни максимально можливого випаровування. Майбутнє (до 2050 р.) південних областей країни за всіма розглянутими сценаріями (A1B, A2, B1,B2, RCP4.5 та RCP8.5) описується майже однаково: зменшення водних ресурсів буде перевищувати 50%.

У маловодні роки (75 % забезпеченості) на півдні та південному сході очікується зменшення водних ресурсів до 90 % за обома сценаріями (RCP4.5 та RCP8.5). Негативний вплив наслідків змін клімату зменшуватиметься у західному й північно-західному напрямках.

За рекомендаціями ООН зменшення середньої багаторічної величини річного стоку на 10 % супроводжується значущими змінами водних ресурсів, зменшення на 50 % означає руйнування водних ресурсів, зменшення на 70 % має призвести до безповоротного руйнування водних ресурсів.

Найбільший ризик від зміни клімату може виникнути при пошкодженні водних ресурсів на 50 % (коефіцієнти кліматичного ризику найбільші у цьому випадку). При розгляді маловодних і дуже маловодних років ризик зменшення їх стоку до нуля (висихання) зростає у 5 раз.

Отримані результати вказують на необхідність збереження природних умов формування стоку гірської частини р. Дністер, верхів'їв річок Тиса і Прут, оскільки саме вони найменше піддадуться впливу змін клімату і будуть відігравати роль постачальника прісних вод для України. Що стосується таких великих річок як Дунай і Дніпро, то їх води, які формуються за межами України, можуть бути використані для перекиду стоку в південні та східні області України.

как перспективный источник целлюлозосодержащего сырья // Вестник ВОГиС, 2010. Т. 14, №1. С. 122-126.

42. Clifton-Brown J.C., Lewandowski I. Water use efficiency and biomass partitioning of three different Miscanthus genotypes with limited and unlimited water supply // Annals of Botany. 2000. V. 86. P. 191-200.

43. Heaton E.A., Dohleman F.G., Long S.P. Meeting US biofuel goals with less land: the potential of Miscanthus // Global Change Biol. 2008. V. 14. P. 2000-2014.

44. Planting and growing miscanthus. Best practice guidelines. <http://adlib.everysite.co.uk/resources/000/023/838/miscanthus-guide.pdf>

До розділу 8

1. Актуальные проблемы лиманов северо-западного Причерноморья / Под ред. Ю.С. Тучковенко, Е.Д. Гопченко. Одесса: ТЕС, 2012. 224с.

2. Вишневецький В.І. Вплив кліматичних змін і господарської діяльності на термічний та льодовий режим річок // Наук. Праці УкрНДГМІ, 2002. Вип. 250. С. 190-202.

3. Водний режим та гідроекологічні характеристики басейну Куяльницького лиману / Під ред. Н.С. Лободи, Е.Д. Гопченка. Одеса: ТЕС, 2016. 332 с.

4. Водні ресурси та гідроекологічний стан Тилігульського лиману / Під ред. Ю.С. Тучковенко, Н.С. Лободи. Одеса: ТЕС, 2014. 276 с.

5. Гопченко Е.Д., Лобода Н.С. Водные ресурсы северо-западного Причерноморья (в естественных и нарушенных хозяйственной деятельностью условиях). Київ: КНТ, 2005. 188 с.

6. 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.

7. 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.

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

9. Гопченко Є.Д., Овчарук В.А., Шакірзанова Ж.Р. Дослідження впливу сучасних змін клімату на характеристики максимального стоку весняного водопілля на річках Полісся // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія, 2010. Т. 3(20). С. 50-59.

10. Гребінь В.В. Сучасний водний режим річок України (ландшафтно-гідрологічний аналіз). К.: Ніка-центр, 2010. 316 с.

11. Дж.К.Родда Грани гидрологии: монография. Л.: Гидрометеоиздат, 1987. Т.2. 534 с.

12. Дідовець Ю., Сніжко С. Технологія підготовки даних та калібрування чисельної моделі SWIM для довгострокового прогнозування водного стоку річок // Українська географія: сучасні виклики. Зб.наук. праць. К.: Прінт-Сервіс, 2016. Т. III. С. 50-52.

13. 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.

14. Лобода Н.С. Влияние изменений климата на водные ресурсы Украины (моделирование и прогнозы по данным климатических сценариев) // Глобальные и региональные изменения климата под ред. Шестоपालова В.М., Логинова В.Ф., Осадчего В.И. и др. К.: Ніка-Центр, 2011. С. 340-352.

15. Лобода Н.С. Расчеты и обобщения характеристик годового стока рек Украины в условиях антропогенного влияния: монография. Одесса: Экология, 2005. 208 с.

16. Лобода Н.С., Божок Ю.В. Водні ресурси України ХХІ сторіччя за сценаріями змін клімату (RCP8.5 та RCP4.5) // Український гідрометеорологічний журнал. Одеса: ТЕС, №17, 2016. С. 114-122.

17. Лобода Н.С., Божок Ю.В. Вплив кліматичних змін на водні ресурси Північно-Західного Причорномор'я у сценарних умовах (RCP8.5 та RCP4.5) // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. Київ, Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Том 2 (41), 2016. С. 48-58.

18. Лобода Н., Божок Ю. Зміни клімату та водних ресурсів України за сценаріями глобального потепління RCP4.5 та RCP8.5 // Українська географія: сучасні виклики. Зб.наук. праць. К.: Прінт-Сервіс, 2016. Т. III. С. 89-91.

19. Лобода Н.С., Божок Ю.В. Можливі зміни водних ресурсів Карпатського регіону у ХХІ сторіччя за сценаріями глобального потепління RCP4.5 та RCP8.5 // Матеріали міжнародної наукової конференції «Від географії до географічного українознавства: еволюція освітньо-наукових ідей та пошуків (до 140-річчя започаткування географії у Чернівецькому національному університеті ім. Ю.Федьковича)», 11-13 жовтня 2016 р., м.Чернівці). С. 163 -164.

20. Лобода Н.С., Божок Ю.В. Оцінка змін водних ресурсів р. Дунай у ХХІ сторіччі за сценарієм А1В з використанням моделі “клімат-стік”// Український гідрометеорологічний журнал. Одеса, ТЕС, №18, 2016. С. 112- 120.

21. Лобода Н.С., Божок Ю.В. Шляхи визначення можливої гідрологічної посухи за метеорологічними даними в умовах змін клімату для річок північно-західного Причорномор'я // Геополітика та

екогеодинаміка регіонів: Науковий журнал, м. Сімферополь, 2014р. Т.10. Вип.1. С. 281-289.

22. Лобода Н.С., Гопченко Є.Д. Стохастичні моделі у гідрологічних розрахунках: навчальний посібник. Одеса: Екологія, 2006. 200 с.

23. 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, 2014. Вип. 15. С. 149-159.

24. Лобода Н.С., Сербова З.Ф., Божок Ю.В. Оцінка впливу змін клімату на водні ресурси України на основі моделі «клімат-стік» за сценарієм глобального потепління А2 // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія, 2015. Т. 1(36). С. 8-17.

25. 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.

26. Лялько В., Сахацький О., Жоболак Г. та ін. Оцінка впливу регіональних змін клімату на екосистеми та визначення ризиків їх негативних наслідків з використанням даних дистанційного зондування та наземних гідрометеорологічних вимірів // Українська географія: сучасні виклики. Зб.наук. праць. К.: Принт-Сервіс, 2016. Т. III. С. 93-95.

27. Мезенцев В.С., Карнацевич И.В. Увлажненность Западно-Сибирской равнины. Л.: Гидрометеиздат, 1969. 75 с.

28. Мусієнко М.М., Серебряков В.В., Брайон О.В. Екологія. Охорона природи. Словник-довідник. – К.: Товариство Знання. КОО, 2002. 550 с.

29. Оцінка впливу кліматичних змін на галузі економіки України / Під ред. Степаненко С.М., Польового А.М. Одеса: Екологія, 2011. 605 с.

30. Режимы влагообеспеченности и условия гидромелиораций степного края / Под. ред. В.С. Мезенцева. М.: Колос, 1974. 240 с.

31. Снижко С., Куприков И., Шевченко О. Оценка изменения водного стока рек Украины на основе водно-балансовых моделей // Фізична географія та геоморфологія, 2012. Вип.2 (66). С. 157-161.

32. Снижко С.И., Использование водно-балансовой модели Турка и численной региональной модели REMO для оценки водных ресурсов местного стока в Украине в XXI веке.7 /Снижко С.И., Куприков И.В., Шевченко О.Г., Павельчук Е.М., Дидовец Ю.С. // Вестник Брянского государственного университета, 2014, №4(2014). С. 191-201.

33. Степаненко С.М. Динаміка моделювання клімату: піручник. Одеса: Екологія, 2013. 204 с.

34. 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.

35. Струтинська В.М., Гребінь В.В. Термічний та льодовий режими річок басейну Дніпра з другої половини ХХ століття. К.:Ніка-Центр, 2010. 196 с.
36. Україна та глобальний парниковий ефект. Книга 2. Вразливість і адаптація екологічних та економічних систем до зміни клімату / За ред. В.В. Васильченко, М.В. Рапцун, І.В. Трофімова. Київ, 1998. 208 с.
37. Хільчевський В.К., Ободовський О.Г., Гребінь В.В. та ін. Загальна гідрологія: підручник. Київ: ВПЦ “Київський університет”, 2008. 399 с.
38. Хільчевський В.К. Гідролого-гідрохімічна характеристика мінімального стоку річок басейну Дніпра./ Хільчевський В.К., Ромась І.М., Гребінь В.В., Шевчук І.О., Чунарьов О.В. К.:Ніка-Центр, 2007. 184 с.
39. Чеботарев А.И. Гидрологический словарь. Л.: Гидрометеиздат, 1978. 308 с.
40. Шакірзанова Ж.Р. Визначення основних факторів весняного водопілля річок лівобережжя Дніпра при довгострокових прогнозах його характеристик // Український гідрометеорологічний журнал, 2013, №.16. С. 99-109.
41. Coastal Lagoons in Europe: Integrated Water Resource Strategies / Ana I. Lillebø, Per Stalnacke, Geoffrey D. Gooch (Eds). London: IWA Publishing, 2015. 256 p.
42. IPCC (2000) Nebojsa Nakicenovic and Rob Swart (Eds.) Special Report In Emissions Scenarios (SRES). - University Press, UK, 2000. 570 p.
43. IPCC (2007) Climate Change 2007: The Physical Science Basis - Summary for Policymakers. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. – Cambridge University Press, 2007. 996 p.
44. IPCC, 2013: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp.
45. Krysanova, V., Wechsung, F., SWIM (Soil and Water Integrated model) User Manual, 2000. 239 p.
46. Loboda N. Impact of Climate Change on Water Resources of North-Western Black Sea Region / N. Loboda, Y. Bozhok // International Journal of Research In Earth and Environmental Sciences, 2015. Vol 02. No. 9. P. 1-6.
47. Loboda N.S. The assessment of present and future Ukrainian water resources on meteorological evidence // Climate and Water, 1998. Vol.1.- P. 1486-1494.

7.8.3.	Оцінка показників фотосинтетичної діяльності посівів гороху	450
7.9.	Оцінка впливу змін клімату на агрокліматичні умови вирощування міскантусу та формування його врожайності.....	462
7.9.1.	Міскантус як перспективна енергетична рослина в Україні.....	462
7.9.2.	Ботанічна та біологічна характеристики міскантусу.	464
7.9.3.	Агрокліматичні умови вирощування та продуктивність міскантусу при реалізації сценаріїв RCP4.5 та RCP8.5	467
7.10.	Оцінка впливу змін клімату і норм зрошення на продуктивність сої	473
7.10.1.	Порівняльна характеристика продуктивності сої в Херсонській області в умовах зміни клімату за розрахунковий період 2011-2030 гг.	474
7.10.2.	Порівняльна характеристика продуктивності сої в Херсонській області в умовах зміни клімату за розрахунковий період 2031-2050 гг.....	477
7.11.	Екологічні ризики сільськогосподарського землекористування в Україні в умовах змін клімату.....	482
8.	Прогноз змін водних ресурсів України XXI сторіччя за сценаріями змін клімату (RCP4.5, RCP8.5) та оцінка ризиків для водного господарства.....	498
8.1.	Огляд сучасних досліджень з питань оцінки водних ресурсів України в умовах змін клімату.....	498
8.2.	Методи досліджень.....	500
8.3.	Оцінка водних ресурсів України XXI сторіччя за сценарієм змін клімату (RCP4.5).....	505
8.4.	Оцінка водних ресурсів України XXI сторіччя за сценарієм змін клімату (RCP8.5)	510
8.5.	Оцінка кліматичних ризиків у водному господарстві.....	512
	Післямова.....	517
	Список літератури.....	522

7.10.	Assessment of impact of climate change and irrigation norms on productivity of soybean.....	473
7.10.1.	Comparative characteristic of productivity of soybean under A1B scenario in the period of 2011-2030.....	474
7.10.2.	Comparative characteristic of productivity of soybean under A1B scenario in the period of 2031-2050.....	477
7.11.	Ecological risks of agricultural land use in Ukraine under climate change conditions.....	482
8.	Prediction of change in water resources of Ukraine throughout the 21st century under the RCP4.5 and RCP8.5 scenarios and assessment of risks for water management.....	498
8.1.	Overview of modern research on assessment of water resources in Ukraine under climate change conditions.....	498
8.2.	Analysis techniques	500
8.3.	Assessment of water resources of Ukraine throughout the 21 st century under the RCP4.5 scenario.....	505
8.4.	Assessment of water resources of Ukraine throughout the 21 st century under the RCP8.5 scenario.....	510
8.5.	Assessment of climatic risks in water management.....	512
	Afterword.....	517
	References.....	522