

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

КЛІМАТИЧНІ ЗМІНИ ТА ЇХ ВПЛИВ НА СФЕРИ
ЕКОНОМІКИ УКРАЇНИ

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

544524-TEMPUS-1-2013-1-PL-TEMPUS-SMHE5

Одеса
«ТЕС»
2015

ББК 26.234.7:65
К-49
УДК 551.58:33

Друкується за рішенням вченої ради Одеського державного екологічного університету.
(Протокол № 9 від 27.10.2015 р.)

Р е ц е н з е н т и:

С. І. Сніжко, доктор географічних наук, професор;
В. І. Михайлюк, доктор географічних наук, професор;
В. Я. Щербаков, доктор сільськогосподарських наук, професор

Степаненко С. М., Польовий А. М., Лобода Н. С., та ін.

К - 49 Кліматичні зміни та їх вплив на сфери економіки України:
[монографія] /колектив авт.: С. М. Степаненко, А. М. Польовий,
Н. С. Лобода [та ін.]; за ред. С. М. Степаненка, А. М. Польового.–
Одеса: Вид. „ТЕС”, 2015. – 520 с.

В монографії розглядаються зміни клімату в зв'язку з глобальним потеплінням та їх вплив на ефективність сфер економіки України до 2050 року.

Досліджено очікувані зміни режиму опадів та температури повітря на території України, режим виникнення посушливих явищ, вплив підвищених температур на життєдіяльність людини. Виконана оцінка зміни тривалості опалювального періоду, можливостей розвитку гелію та вітрової енергетики. Оцінено зміну повторюваності ожеледно-паморозевих явищ та налипання снігу. Встановлено очікувані особливості зміни агрокліматичних ресурсів, умов вирощування сільськогосподарських культур та їх урожайності. Надано оцінку та прогноз водних ресурсів України в умовах змін глобального клімату.

Видання підготовлено в рамках проекту 544524-TEMPUS-1-2013-1-PL-TEMPUS-SMHES «Рамка кваліфікацій в галузі наук про навколишнє середовище для українських університетів». Проект фінансується за підтримки Європейської Комісії. Ця публікація відображає тільки погляд автора, і Європейська Комісія не може нести відповідальність за будь-яке використання інформації, що міститься в цьому виданні.

The monograph deals with the climate change as related to the global warming-up and their effects on the economic sectors in Ukraine in the period of up to 2050.

The expected changes in precipitation regime and air temperature in Ukraine, the regime of drought phenomena occurrence, and the impact of high temperature on human activity are given treatment. Assessment of the change in heating period duration and the potential for solar and wind energy development is made. Variations in the recurrence of ground surface icing, hoarfrost and snow accumulation is estimated. The expected peculiarities of changes in agro-climatic resources, conditions for crop growing and their productivity are determined. An assessment and a forecast for the water resources in Ukraine under the global climate change are provided.

The publication is prepared within the framework of 544524-TEMPUS-1-2013-1-PL-TEMPUS-SMHES 'Qualifications Framework in Environmental Science at Ukrainian Universities' project. This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein.

© Одеський державний
екологічний університет, 2015

Якою б не увлялася картина цього майбутнього розвитку, розуміння цієї ситуації приводить до необхідності вирішення проблеми спостережень, досліджень, аналізу і прогнозу зміни кліматично зумовлених природних ресурсів у зв'язку із змінами клімату.

Її вирішення вимагає проведення комплексних досліджень, пов'язаних із залученням різних галузей знань: екологічних, географічних, сільськогосподарських, біолого-грунтових, медико-біологічних, біофізичних, економічних, соціальних і політологічних.

Метою пропонованої монографії є виклад найбільш актуальних для України проблем, пов'язаних з оцінкою змін клімату, які вже відбуваються і передбачаються, і оцінкою впливу цих змін на галузі економіки, які необхідно враховувати при підготовці регіональних прогнозів і програм економічного і соціального розвитку.

Пропонована монографія є результатом продовження досліджень за впливом змін клімату на галузі економіки України, які виконуються колективом викладачів і учених Одеського державного екологічного університету, співробітників Українського гідрометеорологічного центру, Селекційно-генетичного інституту - Національного центру насіннезнавства та сортовивчення, Національного наукового центру «Інститут виноградарства і виноробства ім. В.Є Таїрова».

Автори розділів і окремих параграфів: передмова – С.М. Степаненко, А.М. Польовий; розділ 1.1–1.2 – С.М. Степаненко, В.М. Хохлов, Н.С. Єрмоленко; розділ 1.3–1.4. – І.Г. Семенова; розділ 2.1 – С.М. Степаненко, І.А. Хоменко; розділ 2.2 – С.М. Степаненко, О.В. Волошина, розділ 3 – О.О. Врублевська; розділ 4 – В.Г. Волошин, В.Ю. Куришина; розділ 5 – Г.П. Катеруша, О.В. Катеруша; розділ 6 – А.М. Польовий, Л.Ю. Божко, С.М. Мажура, Л.І. Польова, Д.В. Друмов; 7.1–7.2 – А.М. Польовий, О.О. Дронова, В.С. Антоненко; 7.3.1 – О.О. Дронова, 7.3.2 – П.О. Феоктістов, Д.В. Блищик; 7.4 – О.Л. Барсукова, Л.Ю. Божко; 7.5 – Т.К. Костюкевич, Т.І. Адаменко; 7.6 – Н.В. Данілова; 7.7. – О.Л. Жигайло; 7.8. – О.В. Вольвач, В.М. Ситов; 7.9. – С.М. Свидерська; 7.10. – Г.В. Ляшенко, Т.С. Жигайло, Є.І. Маринін; розділ 8 – Н.С. Лобода, З.Ф. Сербова; післямова – С.М. Степаненко, А.М. Польовий.

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

Підготовка рукопису до друку С.М. Мажура, Л.І. Польова, Д.В. Друмов.

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

8. МОДЕЛЮВАННЯ ВПЛИВУ ЗМІН КЛІМАТУ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ СТОКУ РІЧОК УКРАЇНИ

Водні ресурси визначають стан оточуючого середовища, вони пов'язані із соціальним станом суспільства і здоров'ям людини [40]. Використання водних ресурсів в Україні є одним з найбільш високих у світі й складає до 100 % техногенного перетворення поверхневих вод й до 10–20 % підземних. Зміни глобального клімату, які спостерігаються протягом останніх десятиріч, зумовлюють і певні зміни водних ресурсів [41].

Поєднання змін кліматичних умов з існуючими водогосподарськими заходами може привести до перегляду стратегії розвитку промисловості, сільського господарства та природоохоронних заходів в Україні. Зміни клімату впливають на формування природних водних ресурсів та окремі складові водогосподарських балансів, які пов'язані із коливаннями клімату (випаровування з водної поверхні штучних водойм, показники дефіциту споживання води рослинами, надмірного зволоження ґрунтів тощо). В залежності від кліматичних умов змінюються ризики для людей та економіки в галузі водного господарства та стратегії адаптації (наприклад, визначення доцільності певних водогосподарських заходів та критичних меж їхнього розвитку [32]).

Гідрологічна вивченість водних ресурсів України недостатня для прийняття науково обґрунтованих рішень щодо експлуатації та управління водогосподарськими системами. Тому перед сучасними науковцями стоїть проблема розробки методів та методик оцінювання характеристик стоку в природних та порушених антропогенною діяльністю умовах на основі математичних моделей стоку, які дозволяють імітувати стан водних ресурсів в залежності від масштабів водогосподарських перетворень та змін клімату.

Актуальність такого роду досліджень зумовлена необхідністю визначення вразливості водних екосистем від змін клімату та оцінки можливого стану водних ресурсів України при глобальному потеплінні.

Метою досліджень є встановлення можливих змін водних ресурсів у різних географічних зонах України за сценаріями глобального потепління на основі математичного моделювання.

Теоретичним базисом імітаційного моделювання є модель “клімат-стік”, розроблена в Одеському державному екологічному університеті. Модель дозволяє виконувати оцінку стану водних ресурсів за метеорологічними характеристиками, включаючи дані кліматичних сценаріїв [20].

8.1. ОГЛЯД СУЧАСНОГО СТАНУ ПРОБЛЕМИ

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

Прикладом першої стратегії є внесення поправок та поправкових коефіцієнтів, які відображають вплив змін клімату на стік, в існуючі розрахункові формули стоку. При дослідженнях характеристик максимального стоку та чинників їх формування для річок Лівобережного Дніпра (рр. Сейм, Десна, Псел, Ворскла) Ж.Р.Шакірзанова [38] виявила статистично значущі спадні тренди у коливаннях максимальних глибин промерзання ґрунту, максимальних запасів води у сніговому покриві, шарів стоку весняного водопілля та максимальних витрат води. Виявлено, що дати початку весняного водопілля зсуваються з кінця березня (30-ті роки минулого сторіччя) на середину лютого (початок ХХІ сторіччя). При цьому у багаторічних коливаннях середніх місячних температур повітря відмічається додатний тренд (1945-2010рр.). Для врахування наслідків кліматичних змін рекомендовані спеціальні поправкові коефіцієнти, які відображають зміни водності весняного водопілля при глобальному потеплінні. Останні рекомендується вводити до середніх багаторічних величин шарів стоку та максимальних витрат води, які є базовими характеристиками у методі територіальних довгострокових прогнозів. Подібний підхід застосували О.І.Лук'янець та В.О.Балабух для оцінки характеристик річкового стоку Закарпаття [28]. Автори використовували установлені за даними минулих років статистичні залежності між характеристиками стоку та метеорологічними показниками. Насамперед, був зроблений акцент на чутливість стоку до змін температури повітря й опадів. Найбільш тісні зв'язки установлені для теплого періоду. В холодний період коефіцієнти кореляції між характеристиками стоку та опадами зменшуються. На основі регіональної моделі REMO-ECHAMS для сценарію А1В було визначено, що зменшення середнього річного стоку на 2021-2050 рр. становитиме 2-3% у порівнянні із періодом 1961-1990рр. Стік у теплий період зменшиться на 20-25% за рахунок зростання температур повітря. Стік холодного періоду, навпаки, збільшиться на 10-18 % у зв'язку із зростанням кількості опадів. Отримані результати підтверджуються дослідженнями змін гідрометеорологічних характеристик річок Закарпаття у сучасності [10] при порівнянні із даними після 1989 року, яке показало, що зміни стоку річок Закарпаття залежать від режиму опадів. Установлено, що влітку стік річок Закарпаття

зменшився на 18 % за рахунок зменшення кількості опадів (10 %) та зростання температури повітря на $1,4^{\circ}\text{C}$. Збільшення стоку восени на 13-24 % можна розглядати як відгук на зростання кількості опадів у цей сезон на 20 %. Показано, що річний стік річок Закарпаття змінився несуттєво.

Згідно із другою стратегією до оцінок змін характеристик стоку залучаються математичні моделі, на вході яких використовується метеорологічна інформація. Саме такі моделі придатні для розрахунків і прогнозів змін водних ресурсів за даними сценаріїв глобального потепління. Певну проблему використання сучасних математичних моделей формування стоку становить недостатня роздільна здатність моделей. Моделі загальної циркуляції атмосфери та океану, які в більшості своїх реалізацій мають роздільну здатність $2,5^{\circ}\times 2,5^{\circ}$, не можуть використовуватись для досліджень регіональних особливостей кліматичних змін в Україні, оскільки у такому випадку на її територію припадає приблизно 15 вузлів координатної сітки. У зв'язку з цим перші роботи з оцінки характеристик стоку виконувалися для різних географічних зон України [37]. В Одеському державному екологічному університеті для оцінки змін водних ресурсів в умовах глобального потепління застосовувались сценарії ВМО, відомі як сценарії “раптового” або “одночасного” подвоєння концентрації CO_2 в атмосфері: сценарій GISS – модель інституту Годдара з космічних досліджень, у якому чутливість до подвоєння CO_2 становить $4,2^{\circ}\text{C}$; сценарій GFDL – модель Лабораторії геофізичної гідродинаміки США, у якому чутливість до подвоєння CO_2 становить $4,0^{\circ}\text{C}$; CCCM – модель Канадського кліматичного центру, в якому чутливість до подвоєння CO_2 становить $3,5^{\circ}\text{C}$; UKMO – модель Метеорологічного бюро Об'єднаного королівства, в якому чутливість до подвоєння CO_2 становить також $3,5^{\circ}\text{C}$. Більш реалістичними вважалися сценарії, в яких підвищення концентрації CO_2 розглядалось поступово. Серед таких моделей використовувались сценарії GFDL, побудовані за моделлю Лабораторії геофізичної динаміки США та MPI (модель інституту Макса Планка, Німеччина). Оцінки можливих змін водних ресурсів в результаті глобального потепління надавались по географічних зонах та для водозборів великих річок [21–22, 19]. Сучасні моделі прогнозу погоди та клімату мають роздільну здатність на порядок вищу, тобто горизонтальні кроки сітки для розрахунків із задовільною точністю становлять 20-50 км.

Серед сучасних гідрологічних моделей стоку, в яких можна використовувати метеорологічні дані сценаріїв глобального потепління, є моделі із розподіленими параметрами. У цих моделях окрім

метеорологічних даних розглядаються характеристики підстильної поверхні на водозборі [3]. На виході таких моделей отримуються ряди поверхневого та підземного стоку, показники якості вод. Основними вхідними даними є матеріали по дощових опадах або запасах води у сніговому покриві. Європейська гідрологічна система є прикладом гідродинамічної моделі з розподіленими параметрами. Вона являє собою систему диференціальних рівнянь, представлених у частинних похідних, які описують гідрологічні процеси у межах басейну [49].

Протягом 2012-2014 рр. в Одеському державному екологічному університеті (ОДЕКУ) виконувалась науково-дослідна робота, в якій об'єктом досліджень став Тилігульський лиман: проект 7-ї Рамкової Програми ЄС «Комплексне управління водними ресурсами і прибережною зоною в Європейських лагунах в умовах змін клімату» (FP7-ENV-2011 № 283157 “Integrated water resources and coastal zone management in European lagoons in the context of climate change – Lagoons”). В цьому проекті використовувалась еко-гідрологічна модель SWIM, яка описує взаємодію води й підстильної поверхні [44] вона була розроблена на основі двох моделей: SWAT [39] і MATSALU [43, 42]. Модель SWIM була розроблена у Потсдамському інституті досліджень впливу клімату (PIK). SWIM підходить для математичного моделювання гідрологічних процесів, рослинності, ерозії і поживних речовин в мезо- та макромасштабних річкових басейнах з площею від 100 км² до 200000 км². SWIM є напів-розподіленою еко-гідрологічною моделлю, яка містить в собі математичний опис фізичних, біохімічних і гідрохімічних процесів і спирається на деякі концептуальні та напівемпіричні елементи [45]. Модель має трирівневу схему поділу: басейн - суббасейн – гідротоп (гідротоп - набір одиниць в одному суббасейні, які характеризуються однаковим землекористуванням і типом ґрунту). Передбачається, що ці гідротопи характеризуються рівномірною поведінкою процесів, пов'язаних із гідрологією, агрометеорологією та гідрохімією. Перш ніж ці процеси агрегуються на рівні суббасейну, вони розраховуються на рівні гідротопів із добовим кроком. Адекватність опису моделлю реальних гідрологічних процесів, динаміки поживних речовин, урожайності та ерозії підтверджена даними багатьох річкових басейнів протягом останніх 15 років. Сьогодні в модель SWIM вводяться нові розрахункові модулі (наприклад, модуль “льодовик”), інші модулі посилюються з метою покращення якості моделювання (наприклад, модуль зростання врожаю сільськогосподарських культур або модуль динаміки водно-болотних угідь), також розробляються модулі управління водними ресурсами (зрошення, ставки або штучні резервуари) відповідно до конкретної мети дослідження. SWIM був застосований до водозборів різних розмірів, по-перше в Німеччині, а потім і в інших європейських країнах, а також для річкових басейнів в Африці, Азії і Південній Америці [46].

Недоліком розподілених та напіврозподілених моделей є вимога до значної густоти розташування кліматичних станцій: наприклад, для SWIM – не менше, ніж одна станція на 100 км². В країнах з малою кількістю кліматичних (метеорологічних) станцій застосування таких моделей може призвести до значних похибок у розрахунках.

В інституті проблем математичних машин і систем НАН України (м.Київ) для визначення характеристик стоку використовувались методи динамічної та статистичної деталізації (даунскелінга) даних у моделях загальної циркуляції (МЗЦ). Завдяки статистичному даунскелінгу полів опадів, виникає можливість використання розподілених гідрологічних моделей в прогнозуванні стоку за сценаріями глобального потепління [2]. У цьому методі статистично обраховуються добові суми опадів, які спостерігались на метеорологічній станції, та за даними МЗЦ [48]. Надалі визначається функція переходу, за якою коректуються дані, визначені за кліматичною моделлю. Саме таким шляхом були визначені опади по станціях Карпат за період 2011-2040 рр. для сценарію А2 (модель RСА3). Було показано, що частота появи 100-річних (екстремальних) опадів в Українських Карпатах зросте у зазначений період у два рази. При застосуванні методів даунскелінга до полів опадів при розрахунках рівнів та витрат річки Уж останні були представлені із роздільною здатністю у 1 км [36].

Найчастіше при оцінці впливу змін клімату на водні ресурси територій із не густою мережею гідрометеорологічних спостережень використовуються балансові моделі, а саме моделі водного та водно-теплового балансу, в 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. Для визначення випаровування було введено поняття “максимально можливого випаровування” або “випаровуваності”, яке різними авторами визначалося як верхня межа випаровування, але інтерпретувалося по-різному: "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). У моделі “клімат-стік”, яка була розроблена в ОДЕКУ проф.Є.Д. Гопченком та проф. Н.С.Лободою [6] використаний “теплоенергетичний еквівалент”, запропонований В.С. Мезенцевим [33]. Зв’язки максимально можливого випаровування з температурою повітря визначив французький вчений L. Turk(1954). Цей підхід успішно розвинув польський гідролог Z. Kaszmarek (1993), а запровадив для розрахунків змін водних ресурсів

України проф. Київського Національного Університету імені Тараса Шевченка Сніжко С.І. [34] за сценарієм А1В (модель REMO). Для досліджень було обрано 18 репрезентативних водних об'єктів (водозборів), розташованих у межах однієї географічної зони. Слід зазначити, що при цьому річки Північно-Західного Причорномор'я не розглядались. Автори визначили, що з 2020р. до 2040р. зменшення стоку можливе на річках Південний Буг (-27,2 %), Рось (-23,4 %), Самара (-98,8 %). У наступний період (2041-2080рр.) водність більшості річок прогнозується значно меншою від “базової”, а у 2081-2100рр. очікується руйнація водних ресурсів у Лісостепу та необоротна руйнація річок у зоні Степу. Найменші зміни будуть характерні для річок Карпат та лісової зони [35]. Пізніше за цією ж моделлю була побудована карта ізоліній шарів стоку для різних часових періодів ХХІ сторіччя.

В Одеському державному екологічному університеті впродовж останніх десятиріч для оцінки водних ресурсів України за метеорологічними даними використовується модель “клімат-стік”, розроблена під керівництвом проф. Є.Д. Гопченка та проф. Лободи Н.С. [7]. Розроблення такої моделі було актуальним у другій половині ХХ сторіччя через нестачу даних спостережень за стоком як у природних, так і у порушених водогосподарською діяльністю умовах. Починаючи з 80-х років минулого сторіччя, актуальність, теоретична і практична значущість моделі посилилася внаслідок додавання до чинників антропогенних перетворень глобального потепління[5]. Модель, 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 [17, 18].

Методики розрахунків природного (непорушеного водогосподарською діяльністю) стоку та побутового річного стоку при відсутності даних гідрологічних спостережень, визначені в результаті застосування моделі “клімат-стік”, увійшли до нової редакції нормативних документів ДБН В.2.4-Х:201Х «Визначення розрахункових гідрологічних характеристик» України та ДБН “Определение гидрологических характеристик для условий республики Молдова. СР D.01.05-2012” [31].

8.2. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ МОДЕЛЮВАННЯ ВОДНИХ РЕСУРСІВ ЗА МОДЕЛЛЮ “КЛІМАТ-СТІК”

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. Математичною базою першої частини є рівняння водно-теплого балансу водозбору, другої – рівняння водогосподарського балансу водозбору, представлене у стохастичній (ймовірнісній) формі. Розглядається ланцюг послідовностей формування стоку: «клімат → кліматичний стік → підстильна поверхня → природний стік → водогосподарські перетворення → побутовий стік» [13]. Таким чином, вивчається та моделюється робота водогосподарської системи, яка зазнає зовнішніх (кліматичних) та внутрішніх (водогосподарських) впливів й певним чином реагує на цей вплив. У моделі використовується поняття «кліматичний стік», тобто стік, зумовлений кліматичними чинниками й розрахований за метеорологічними даними.

Перша (кліматична) частина моделі базується на рівнянні водно-теплого балансу ділянки суші у модифікації В.С. Мезенцева [29], диференціальна форма якого записується таким чином

$$\frac{\partial \beta_E}{\partial \beta_H} + \frac{\partial \beta_Y}{\partial \beta_H} = 1, \quad (8.1)$$

де H - характеристика ресурсів зволоження, під якою розуміють опади X , що випадають за розрахунковий період, та зміни $w_1 - w_2$ запасів вологи в ґрунті, тобто $H = X + w_1 - w_2$; $\beta_E, \beta_H, \beta_Y$ - складові рівняння водного балансу представлені у відносних одиницях.

Величини $\beta_E, \beta_H, \beta_Y$ представляють собою відношення складових рівняння водного балансу до характеристики теплоенергетичних ресурсів клімату E_m

$$\beta_H = \frac{H}{E_m}; \beta_E = \frac{E}{E_m}; \beta_Y = \frac{Y}{E_m}, \quad (8.2)$$

де E - випаровування з поверхні суші; Y - стік води.

Сутність методу водно-теплого балансу полягає у розділенні теплового балансу підстильної поверхні на приходну та видаткову складові. Приходна частина розглядається як граничні ресурси енергії (“теплоенергетичні ресурси клімату”), які забезпечують процес випаровування у заданих кліматичних умовах

$$LE_m = R^+ + P^+ + (B_1 - B_2), \quad (8.3)$$

де R^+ - позитивна (приходна) частина радіаційного балансу; P^+ - позитивна складова турбулентного теплообміну або тепло, що 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.

Величина E_m входить до (8.3) і має назву “теплоенергетичний еквівалент” або “максимально можливе випаровування” і являє собою шар води, який міг би випаритися з поверхні суші, якби на процес випаровування були витрачені усі теплоенергетичні ресурси клімату LE_m [30]

$$E_m = \frac{R^+ + P^+ + (B_1 - B_2)}{L} . \quad (8.4)$$

На відміну від інших підходів така інтерпретація поняття “максимального можливого випаровування” надає йому однозначності.

Граничні умови складових рівняння (8.1) записуються таким чином

$$0 \leq \beta_E \leq 1 \text{ при } 0 \leq \beta_H \leq \infty \text{ та } 0 \leq \beta_Y \leq \beta_H \leq \infty . \quad (8.5)$$

Після наближеного розв'язання (8.1) частинне рівняння зв'язку між складовими водного та теплового балансів записується у такий спосіб

$$\beta_E = (1 + \beta_H^{-n})^{-\frac{1}{n}} , \quad (8.6)$$

де n - параметр, що інтегрує вплив фізико-географічних умов формування стоку.

Результати досліджень [11] показали, що при розрахунках норм річного стоку достатньо використовувати $n = 3$ як у гірських, так і рівнинних умовах його формування.

З урахуванням позначень (8.2), розрахунки випаровування з поверхні суші можна виконувати за рівнянням, отриманим із (8.6)

$$E = E_m \left[1 + \left(\frac{H}{E_m} \right)^{-n} \right]^{-\frac{1}{n}} . \quad (8.7)$$

У такому випадку рівняння водного балансу ділянки суші ($H = Y + E$) набуде вигляду

$$H = Y + E_m \left[1 + \left(\frac{H}{E_m} \right)^{-n} \right]^{-\frac{1}{n}}, \quad (8.8)$$

де H – характеристика ресурсів зволоження; Y – стік води;

E_m – максимально можливе випаровування; $n = 3$.

Рівняння (8.8) містить складову, яка входить у тепловий баланс земної поверхні, а саме величину максимально можливого випаровування E_m , у зв'язку з чим вираз (8.8) отримав назву рівняння водно-теплового балансу.

Рівняння водно-теплового балансу (8.8), виражене відносно величини стоку Y , можна представити в такий спосіб

$$Y = H - E_m \left[1 + \left(\frac{H}{E_m} \right)^{-n} \right]^{-\frac{1}{n}}. \quad (8.9)$$

З урахуванням $H = X + w_1 - w_2$, рівняння водно-теплового балансу записується у вигляді

$$Y = X + w_1 - w_2 - E_m \left[1 + \left(\frac{X + w_1 - w_2}{E_m} \right)^{-n} \right]^{-\frac{1}{n}}. \quad (8.10)$$

Різниця $w_1 - w_2$, яка представляє собою змінення вологовмісту розрахункового шару ґрунту, набуває істотних додатних та від'ємних значень усередині року (місяця, декади) і в окремі роки (групи років).

Для багаторічного періоду, коли виконується умова

$$w_1 - w_2 = 0, \quad (8.11)$$

рівняння водно-теплового балансу набуває вигляду

$$\bar{Y} = \bar{X} - \bar{E}_m \left[1 + \left(\frac{\bar{X}}{\bar{E}_m} \right)^{-n} \right]^{-\frac{1}{n}}, \quad (8.12)$$

де $\bar{Y}, \bar{X}, \bar{E}_m$ - середні багаторічні величини (норми) річного стоку, опадів та максимально можливого випаровування відповідно, виражені в мм.

Норма річного стоку \bar{Y} , визначена за (8.12), зумовлюється кліматичними чинниками – нормою річних опадів \bar{X} й максимально можливого випаровування \bar{E}_m , які підлягають закону географічної зональності та можуть бути представлені у вигляді карт ізоліній. Таким чином, розраховані при постійному n величини стоку залежать від співвідношення показників ресурсів вологи \bar{X} та тепла \bar{E}_m і відображають їхню взаємодію, через що отримали назву “кліматичного” стоку (\bar{Y}_K).

В Одеському державному екологічному університеті під керівництвом проф. Є.Д. Гопченка та проф. Н.С. Лободи розроблено метод визначення характеристик природного річного стоку на основі реалізації водно-теплого балансу для території України, який увійшов складовою до моделі “клімат-стік” [16]. Для рівнинної території України були побудовані карти ізоліній норм річних опадів, максимально можливого випаровування та кліматичного стоку на топографічній основі 1:500000 та визначені регіональні залежності цих характеристик від висоти місцевості для гірських територій (Українські Карпати та Гірський Крим) [14, 15].

Згідно із наведеним вище рівнянням (8.4), максимально можливе випаровування може визначатися за даними актинометричних станцій, яких у середині минулого сторіччя на території України та Молдови було 19. Пізніше були визначені емпіричні залежності, які показують зв'язок між розрахованими за (8.4) значеннями E_m та температурами повітря

$$\bar{E}_m = 0,224 \sum \bar{T}_{>10} + 226, r = 0.91, \quad (8.13)$$

$$\bar{E}_m = 0,209 \sum \bar{T}_{>0} + 179, r = 0.87, \quad (8.14)$$

$$\bar{E}_m = 13,3 \sum_V \bar{T}_M - 307, r = 0.94, \quad (8.15)$$

де $\sum_V \bar{T}_M$ - сума норм середньомісячних температур повітря за літній період (із травня по вересень включно); $\sum T_{>10}$ - сума температур повітря вищих за 10°C ; $\sum T_{>0}$ - сума температур повітря вищих за 0°C .

За розрахунками кліматичного стоку за даними минулих років (1951-1980 рр.) були одержані залежності, які описують зв'язки між

багаторічною мінливістю (коефіцієнтом варіації C_V) та нормою річного кліматичного стоку. Для визначення коефіцієнта асиметрії C_S виконано районування відношення C_S/C_V . Просторо-часові узагальнення характеристик річного стоку, визначених за метеорологічними даними, відкривають можливості визначення статистичних параметрів річного природного стоку та значень стоку в роки різної водності при відсутності даних спостережень або при значній трансформації водогосподарською діяльністю [12]. Установлено, що норми річного кліматичного стоку відповідають нормам зонального стоку річок. Точність визначення статистичних параметрів річного стоку за описаною моделлю знаходиться у межах точності розрахунків цих параметрів за даними гідрометричних спостережень.

8.3. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ МОДЕЛЮВАННЯ ВОДНИХ РЕСУРСІВ ЗА СЦЕНАРІЯМИ ГЛОБАЛЬНОГО ПОТЕПЛІННЯ НА ОСНОВІ МОДЕЛІ “КЛІМАТ-СТІК”

Зміни кліматичних характеристик, зумовлені глобальним потеплінням унаслідок збільшення концентрації парникових газів, неминуче приведуть до перерозподілу водних ресурсів як у часі, так і в просторі. Кліматичний стік, величини якого залежать від співвідношення ресурсів вологи та тепла ($\beta_H = \frac{H}{E_m}$), найкращим чином відображає зміни

клімату. Визначення норм кліматичного річного стоку, який в інтегральній формі характеризує поверхневі водні ресурси, відбувається за (8.12). Як складові рівняння входять норми опадів та максимально можливого випаровування, які встановлюються за даними кліматичних сценаріїв.

Рівняння водно-теплого балансу в умовах глобального потепління для замкненого водозбору представляється у такому вигляді

$$\bar{Y}'_K = (\bar{X} \pm \Delta\bar{X}) - \bar{E}'_m \left[1 + \left(\frac{\bar{X} \pm \Delta\bar{X}}{\bar{E}'_m} \right)^{-n} \right]^{-\frac{1}{n}}, \quad (8.16)$$

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 регіонального клімату, мм; \bar{X} -

вихідна норма річних опадів, мм; \bar{E}_m - вихідна норма максимально можливого випаровування, мм; $\Delta\bar{X}$ - зміни норм річних опадів, мм.

Як вже зазначалося, матеріали сценаріїв змін глобального клімату у наукових розробках кінця минулого сторіччя представлялися у вигляді поправкових коефіцієнтів k_X до сум середніх багаторічних опадів та поправок ΔT до величин середніх багаторічних температур повітря за календарні місяці. При цьому зміна опадів оцінювалась як $\Delta\bar{X} = k_X \bar{X}$, а величина максимально можливого випаровування розраховувалася за (8.15) з використанням сценарних даних про зміни температур повітря $\bar{E}'_m = f(T + \Delta T)$.

Числові експерименти, виконані на основі рівняння водно-теплого балансу (8.12), показали, що зміна норм кліматичного стоку стає значущою, тобто перевищує точність розрахунку даної величини, при зміні річних опадів на $\pm 3,5\%$ або при зміні сум середньомісячних температур повітря за період червень-серпень на $\pm 2,5^\circ\text{C}$ [47]. Передбачувані сценаріями зміни метеорологічних характеристик перевищують зазначені межі, отже, модель “клімат-стік” може успішно застосовуватись при прогнозуванні стану водних ресурсів України за сценаріями змін глобального клімату.

У сучасних математичних моделях загальної циркуляції атмосфери і океану, які пов'язуються із типом розвитку суспільства, надається просторовий розподіл метеорологічних даних у вузлах регулярної сітки, яка у ході досліджень з роками стає більш детальною. За обраними сценаріями для кожного вузла відбираються дані про середні місячні опади, температури повітря по місяцях та вологість ґрунту. Така інформація дозволяє виконувати розрахунки стоку по місяцях та сезонах з використанням рівняння водно-теплого балансу (8.10), яке для умов змін клімату набере вигляду

$$Y'_K = X' + (w_1 - w_2)' - E'_m \left[1 + \left(\frac{X' + (w_1 - w_2)'}{E'_m} \right)^{-n} \right]^{-\frac{1}{n}}, \quad (8.17)$$

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; $(w_1 - w_2)'$ зміна запасів води у ґрунті за розрахунковий період в умовах змін клімату, мм.

Проблема розрахунків кліматичного стоку за внутрішньорічні інтервали часу на базі (8.17) полягає в урахуванні процесу накопичення на водозборі запасів води у сніговому покриві за зимовий сезон та подальшої їх участі у формуванні весняного водопілля. Більша частина твердих опадів зимового сезону накопичується на водозборі до початку танення снігового покриву і формує поверхневий стік весняного водопілля, а також стік межені за рахунок поповнення водоносних горизонтів інфільтраційними водами. З метою установлення внеску опадів зимового сезону за даними минулих років було виконано співставлення значень кліматичного та фактичного стоку по сезонах і місяцях у різні за водністю роки. Як опорний вибирався водозбір з стійким підземним живленням та незначним впливом водогосподарської діяльності. Шляхом оптимізаційних розрахунків визначалися частки опадів зимового сезону, які мали бути перенесеними на весняний сезон у багатоводні, маловодні та середні за водністю роки для отримання задовільного збігу фактичних та розрахованих величин стоку (табл.8.1, 8.2). Установлено, що для середнього за водністю року (правобережжя України) 40 % опадів не приймають участі у формуванні стоку зимового сезону. Проте, тільки 60 % від “відібраних” зимових опадів зумовлюють стік сезону весна. У маловодні роки, через відлиги та малу кількість накопичених на водозборі запасів води у снігу перед початком сніготанення, “переніс” опадів зимового сезону на весняний не має сенсу [24].

Таблиця 8.1. Частки опадів, які переносяться із зимового сезону на весняний і беруть участь у формуванні стоку весняного сезону(багатоводний рік)

Сезон	Правобережна Україна		Лівобережна Україна	
	Ліс, лісостеп	Степ	Ліс, лісостеп	Степ
весна	0,50	1,00	0,65	1,0
літо	0,00	0,00	0,00	0,00
осінь	0,00	0,00	0,00	0,00
зима	0,55	0,30	0,55	0,30

Таблиця 8.2. Частки опадів (%), які переносяться із зимового сезону на весняний і беруть участь у формуванні стоку весняного сезону (середній за водністю рік)

Сезон	Правобережна Україна		Лівобережна Україна	
	Ліс, лісостеп	Степ	Ліс, лісостеп	Степ
весна	0,60	0,00	0,60	0,50
літо	0,00	0,00	0,00	0,00
осінь	0,00	0,00	0,00	0,00
зима	0,40	0,15	0,30	0,20

Для розрахунків за (8.17) необхідні дані не тільки про річну величину $E'_{m,pik}$, а й про її розподіл по місяцях року. Величина максимально можливого випаровування $E'_{m,pik}$ обчислювалися для кожного року за сценарними даними про температури повітря із використанням (8.15). Розподіл максимально можливого випаровування по місяцях визначався у частках від річного значення $E'_{m,pik}$, розподіленого пропорційно внутрішньорічному розподілу дефіциту вологи у повітрі

$$E'_{m,i} = E'_{m,pik} \frac{d_i}{\sum_1^{12} d_i}, \quad (8.18)$$

де $E'_{m,i}$ - максимально можливе випаровування для кожного розрахункового місяця; $E'_{m,pik}$ - річне значення максимально можливого випаровування; d_i - середнє місячне значення дефіциту вологи у повітрі.

Оскільки у сценаріях глобального потепління відсутні матеріали про дефіцит вологи у повітрі, для кожного із вузлів сітки за даними минулих років за матеріалами близько розташованих метеорологічних станцій були виведені емпіричні залежності, які дозволяють визначати дефіцит вологи за температурою повітря (табл. 8.3).

Порівняння результатів розрахунків кліматичного та фактичного природного стоку за місяці і сезони, виконаних на основі рівняння (8.17), дозволило установити, що відносне середнє відхилення розрахованого стоку від спостереженого у зоні достатнього зволоження при розрахунках по місяцях становить $\pm 10\%$, по сезонах $-6,7\%$ (табл.8.4, 8.5). Проте у зоні недостатнього зволоження похибки розрахунків у окремі роки можуть бути високими і досягати 50% . Через це було прийнято рішення про обчислення внутрішньорічного розподілу за моделлю характерних років. Тобто має бути визначений внутрішньорічний розподіл стоку у відсотках від річного для багатоводного, середнього за водністю та маловодного року окремо.

Установити водність року при розрахунках за даними кліматичних сценаріїв можна, використовуючи співвідношення між ресурсами вологи та тепла $\left(\beta_H = \frac{H}{E_m} \right)$, від якого залежать умови формування стоку. Таким чином, забезпеченість річного стоку P бралася рівною забезпеченості величини β_H .

Таблиця 8.3. Емпіричні залежності вигляду $d_i = f(T_i)$

Назва метеостанції	Координати		Вид рівняння $d_i = f(T_i)$	
	широта	довгота	1986-2005 рр.	2011-2030 рр.
Ізмаїл	45°21'	28°50'	$d_i = 1.432e^{0.095T}$	$d_i = 1.477e^{0.093T}$
Миколаїв	46°54'	32°09'	$d_i = 1.107e^{0.096T}$	$d_i = 1.192e^{0.092T}$
Кіровоград	48°30'	32°15'	$d_i = 0.988e^{0.115T}$	$d_i = 0.97e^{0.115T}$
Вінниця	49°14'	28°28'	$d_i = 1.048e^{0.108T}$	$d_i = 1.013e^{0.109T}$
Житомир	50°16'	28°38'	$d_i = 0.949e^{0.107T}$	$d_i = 0.889e^{0.111T}$
Суми	50°53'	34°43'	$d_i = 0.828e^{0.120T}$	$d_i = 0.768e^{0.124T}$
Броди	50°06'	25°09'	$d_i = 1.088e^{0.096T}$	$d_i = 1.036e^{0.099T}$
Сарни	51°21'	26°37'	$d_i = 0.885e^{0.106T}$	$d_i = 0.808e^{0.112T}$
Щорс	51°48'	31°57'	$d_i = 0.722e^{0.121T}$	$d_i = 0.658e^{0.128T}$
Губиниха	48°49'	35°16'	$d_i = 1.088e^{0.109T}$	$d_i = 1.069e^{0.109T}$
Луганськ	48°34'	39°15'	$d_i = 1.039e^{0.116T}$	$d_i = 1.025e^{0.114T}$
Мелітополь	46°50'	35°22'	$d_i = 1.052e^{0.107T}$	$d_i = 1.096e^{0.103T}$
Сарата	46°01'	29°40'	$d_i = 1.343e^{0.098T}$	$d_i = 1.395e^{0.096T}$
Джанкой	45°43'	34°24'	$d_i = 1.23e^{0.101T}$	$d_i = 1.296e^{0.097T}$
Чернівці	48°17'	25°56'	$d_i = 1.965e^{0.074T}$	$d_i = 1.929e^{0.074T}$
Ужгород	48°36'	22°19'	$d_i = 1.096e^{0.104T}$	$d_i = 1.027e^{0.107T}$
Умань	48°46'	30°14'	$d_i = 1.011e^{0.114T}$	$d_i = 1.0e^{0.113T}$
Тернопіль	49°34'	25°36'	$d_i = 1.082e^{0.099T}$	$d_i = 1.037e^{0.1T}$
Донецьк	48°00'	37°50'	$d_i = 1.114e^{0.112T}$	$d_i = 1.083e^{0.111T}$
Полтава	49°36'	34°33'	$d_i = 0.992e^{0.113T}$	$d_i = 0.929e^{0.115T}$
Харків	49°58'	36°15'	$d_i = 0.882e^{0.121T}$	$d_i = 0.854e^{0.122T}$
Славське	48°51'	23°27'	$d_i = 1.75e^{0.076T}$	$d_i = 1.697e^{0.078}$
Івано-Франківськ	48°55'	24°42'	$d_i = 1.647e^{0.079T}$	$d_i = 1.605e^{0.08T}$
Ковель	51°13'	24°43'	$d_i = 0.912e^{0.103T}$	$d_i = 0.854e^{0.107T}$
Самбір	49°31'	23°12'	$d_i = 1.409e^{0.083T}$	$d_i = 1.338e^{0.085T}$
Херсон	46°38'	32°36'	$d_i = 1.084e^{0.102T}$	$d_i = 1.15e^{0.098T}$
Вознесенськ	47°34'	31°18'	$d_i = 1.097e^{0.11T}$	$d_i = 1.119e^{0.108T}$

Таблиця 8.4. Порівняння розрахункових і фактичних значень середньомісячного стоку для середнього багаторічного періоду (водозбір р.Дністер-с.Стрільки)

Характеристика	Місяці											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
X , мм	66	80	93	70	92	170	128	121	72	60	67	74
E_m , мм	19	21	31	50	81	103	120	112	80	53	34	24
Y_p , мм	14	31	80	68	31	79	35	31	15	19	22	24
Y_f , мм	14	27	70	67	26	67	38	32	21	16	22	23
δ , %	-3	-16	-15	-1	-21	-18	9	2	25	-20	0.1	-3.2

Таблиця 8.5. Порівняння розрахункових і фактичних значень сезонного стоку для середнього багаторічного періоду (водозбір р.Дністер-с.Стрільки)

Сезон Характеристика	Зима	Весна	Літо	Осінь
	(XII-II)	(III-V)	(VI-IX)	(X-XI)
Опади X , мм	110	343	513	127
Максимально можливе випаровування E_m , мм	58	194	404	71
Розрахована величина стоку Y_p , мм	69	179	160	41
Фактична величина стоку Y_f , мм	64	163	158	38
δ , %	-7.81	-9.82	-1.3	-7.89

Справедливість такого підходу доведена на прикладі річок Північно-Західного Причорномор'я, для яких виявлено існування статистично значущого зв'язку між забезпеченістю величин річного стоку q та значенням β_H [25, 4]. Після того, як забезпеченість кожного розрахункового року була встановлена, за (8.17) розраховувалися та узагальнювалися по роках характерної водності особливості внутрішньорічного розподілу по місяцях та сезонах.

При застосуванні даних прогнозів за сценаріями змін клімату до розрахунків місячних та сезонних величин стоку за рівнянням водно-теплогового балансу пропонується використовувати таку послідовність розрахунків.

1. Визначення положення вузлової точки (метеорологічної станції), для якої беруться прогнозні сценарні дані.
2. Визначення місячних, сезонних та річних сум опадів для кожної вузлової точки.
3. Розрахунки річних значень максимально можливого випаровування за середньомісячними даними про температуру повітря на базі рівняння (8.15).
4. Розрахунки значень дефіцитів вологості повітря в залежності від температури повітря $d_i = f(T_i)$ для кожної вузлової точки.
5. Установлення внутрішньорічного розподілу максимально можливого випаровування за (8.18).
6. Визначення водності року за забезпеченістю співвідношення β_X , тобто за співвідношенням ресурсів тепла та вологи.
7. Установлення місячних та сезонних значень стоку за типовим розподілом по моделі характерних років.
8. Формування рядів стоку по роках і сезонах та установлення їх характеристик.

8.4. ОЦІНКА ЗМІН ВОДНИХ РЕСУРСІВ УКРАЇНИ ЗА СЦЕНАРІЄМ ГЛОБАЛЬНОГО ПОТЕПЛІННЯ A1B

Характеристикою зволоженості (посушливості) території є співвідношення між ресурсами вологи й тепла для багаторічного періоду [8], яке можна представити через максимально можливе випаровування як однієї із головних складових рівняння водно-теплогового балансу

$$\beta_X = \frac{\bar{X}}{\bar{E}_m}, \quad (8.19)$$

де \bar{X} - середнє багаторічне значення річних опадів, мм; \bar{E}_m - середнє багаторічне значення максимально можливого випаровування, мм.

За величиною β_X можна виділити області зволоженості або посушливості:

$$\beta_X \geq 1,0 - \text{зона надмірного зволоження,} \quad (8.20)$$

$$0,8 < \beta_X < 1,0 - \text{зона достатнього зволоження,} \quad (8.21)$$

$$0,5 \leq \beta_X < 0,8 - \text{зона недостатнього зволоження,} \quad (8.22)$$

$$0,20 < \beta_X < 0,50 - \text{напіваридна зона,} \quad (8.23)$$

$$0,03 < \beta_X < 0,20 - \text{аридна зона,} \quad (8.24)$$

$$\beta_X < 0,03 - \text{гіпераридна зона.} \quad (8.25)$$

Значення $\beta_X=0,5$ є межею між зоною недостатнього зволоження та напіваридною зоною [26].

Середні багаторічні величини річного кліматичного стоку та показника зволоженості β_X , розраховані за даними по 28 метеорологічних станціях України та відповідних вузлах сітки для кліматичного сценарію *A1B*, були представлені у вигляді карт ізоліній [27]. На рис.8.1-8.4 показаний просторовий розподіл показника зволоженості β_X у вихідних умовах (до появи статистично значущих змін у коливаннях температур повітря [9]) та за періоди 1986-2005 рр., 2011-2030рр., 2031-2050 рр. Аналізуючи просторовий розподіл ізоліній β_X у часі, можна зробити висновок, що ізолінія $\beta_X=0,5$ буде поступово “підніматися” на карті з півдня до півночі, збільшуючи площу, зайняту напіваридною зоною. За сценарієм *A1B* зростання водних ресурсів у порівнянні із минулим сторіччям спостерігатиметься на півночі країни у 1986-2005 рр., про що свідчить зміна положення ізолінії $\beta_X=0,9$. Ці результати підтверджуються даними спостережень, згідно з якими водні ресурси річок Полісся на початку ХХІ сторіччя зростали [19]. У періоди 2011-2030рр. та 2031-2050рр. площа території України, де $\beta_X>0,9$, знову зменшуватиметься до початкових розмірів. В усі розрахункові періоди практично не зазнає змін зона надлишкового зволоження $\beta_X>1,0$, розташована в Українських Карпатах.

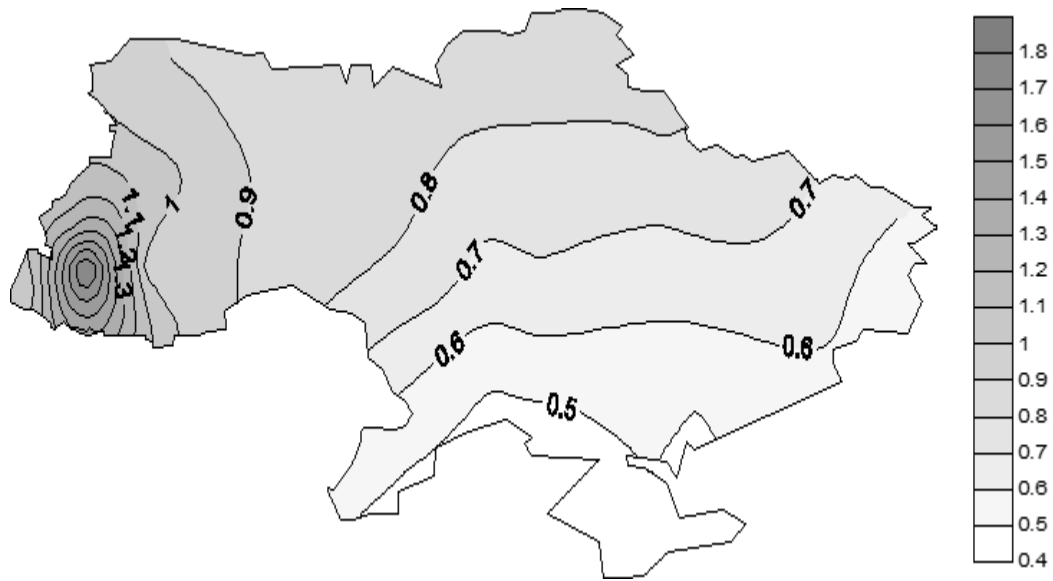


Рис.8.1. Просторовий розподіл показника зволоженості β_X , визначеного за даними до 1989 року (до початку значущого впливу глобального потепління)



Рис. 8.2. Просторовий розподіл показника зволоженості β_X , визначеного за даними 1986-2005 рр., сценарій A1B

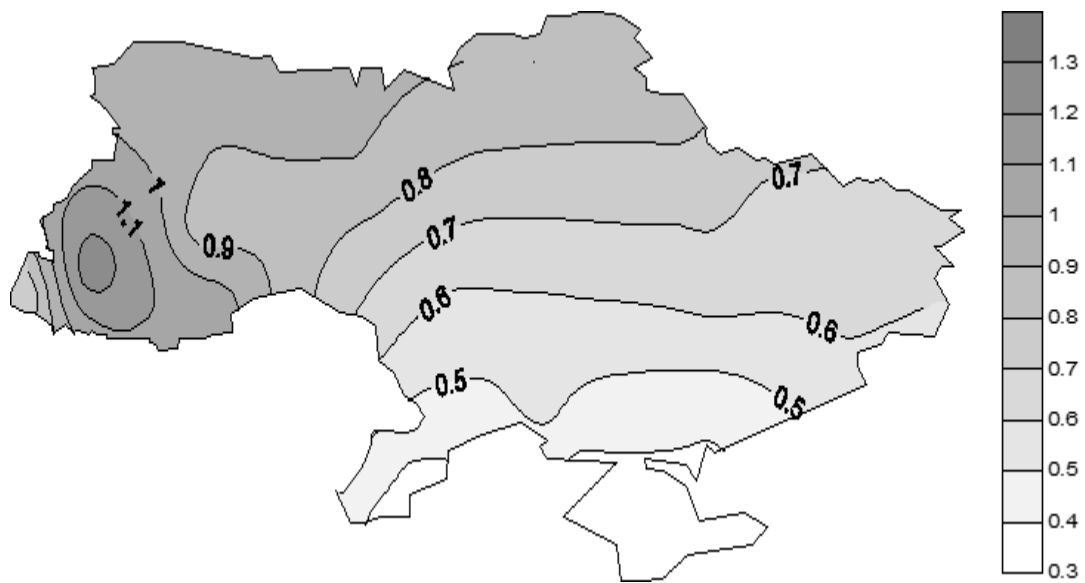


Рис. 8.3. Просторовий розподіл показника зволоженості β_X , визначеного за даними 2011- 2030 рр. , сценарій A1B

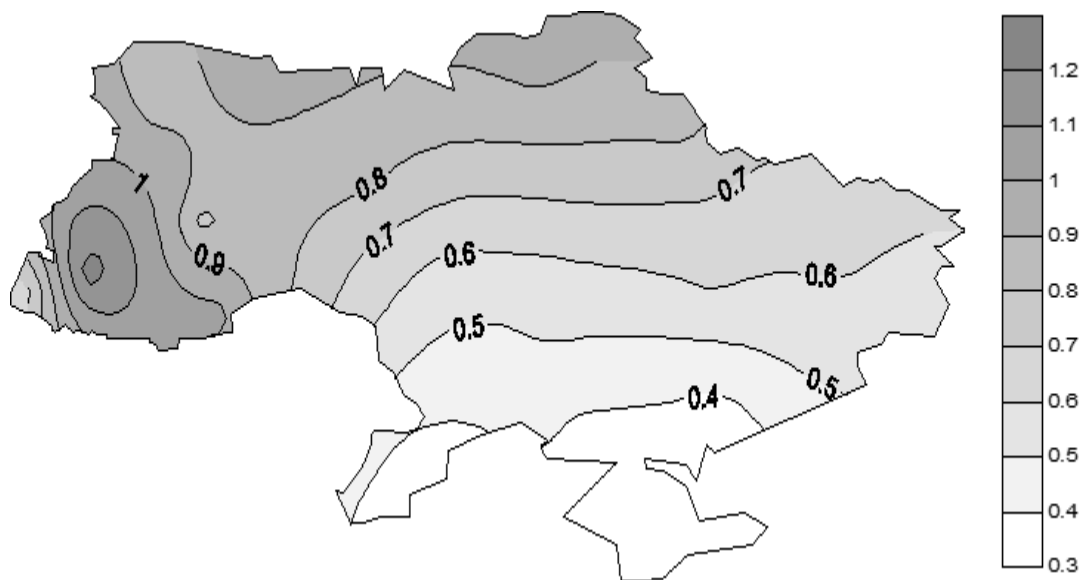


Рис. 8.4. Просторовий розподіл показника зволоженості β_X , визначеного за даними 2031-2050 рр. , сценарій A1B

На рисунках (8.5 – 8.8) представлені норми кліматичного річного стоку України у минулому сторіччі (до початку глобального потепління), які змінювалися на рівнинній частині від 140 мм на північному заході до 20 мм на півдні (рис.8.5). За сценарієм *A1B* у XXI столітті відбуватиметься поступове розширення до півночі зони степу, межею якого може бути розглянута ізолінія норми річного кліматичного стоку, яка дорівнює 30 мм. Ізолінія норм річного кліматичного стоку, яка дорівнює 10 мм, знаходилася у минулому сторіччі на території степового Криму [13]. У період 2031-2050 рр. ця ізолінія згідно із сценарієм *A1B* “підніметься” на північ, так само як і ізолінія 30 мм (рис. 8.8).

Більш повну уяву про зміни водних ресурсів України за сценарієм може надати карта ізоліній відносних відхилень δ середніх багаторічних величин кліматичного річного стоку за різні розрахункові періоди

$$\delta = \frac{\overline{Y_K}' - \overline{Y_K}}{\overline{Y_K}}, \quad (8.26)$$

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. (до початку значущого впливу глобального потепління згідно із висновками В.В.Гребіня).

Нульова ізолінія δ призначена показувати межу між можливими напрямками змін водних ресурсів (рис.8.8, 8.9).

При розрахунках δ за сценарієм визначено, що у період 1986-2005 рр. буде відбуватися зменшення норм річного кліматичного стоку на півдні України та Закарпатті. Воно досягне мінус 40 % у південній частині Одеської області та мінус 50 % - у Херсонській. У північній та північно-західній частинах, навпаки, очікується зростання річного стоку від 10 до 50 % (рис. 8.9). Слід зазначити, що такі результати відповідають даним спостережень, описаним у роботах [9,1,23].

У період 2011-2030 рр. розподіл ізоліній норм річного кліматичного стоку буде суттєво змінюватися: нульова ізолінія має «спуститися» до південного сходу (рис.8.10). Це означає розширення території України, на якій буде відбуватися збільшення водних ресурсів у порівнянні із даними до початку суттєвих змін клімату на території України, тобто до 1989 р.

У період 2031-2050 рр. за сценарієм *A1B* зменшення водних ресурсів на півдні України буде посилюватись і досягне 60-70 %. Зростання стоку відбуватиметься у межах водозборів річок Прип'ять та Десна, а також у межах Українських Карпат. Закарпаття та водозбір р.Західний Буг, лівобережні притоки Дністра увійдуть в область зменшення річного стоку (рис. 8.11).



Рис. 8.5. Просторовий розподіл норм річного кліматичного стоку (мм), визначених за даними до 1989 р.



Рис. 8.6. Просторовий розподіл норм річного кліматичного стоку (мм), визначених за даними 1986-2005рр.

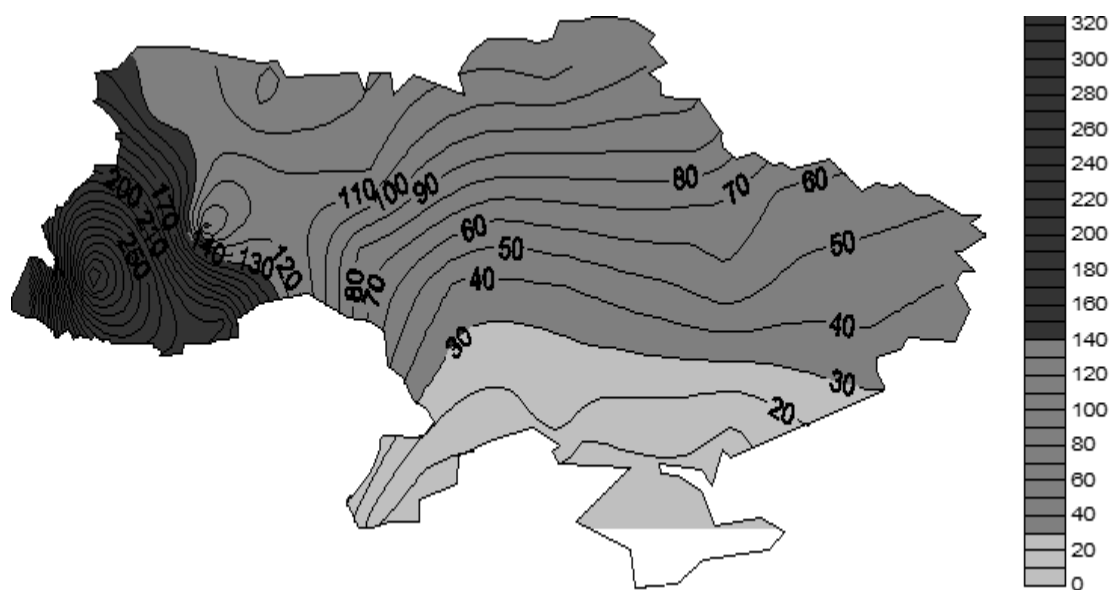


Рис. 8.7. Просторовий розподіл норм річного кліматичного стоку (мм), визначених за даними 2011-2030рр.



Рис. 8.8. Просторовий розподіл норм річного кліматичного стоку (мм), визначених за даними 2031-2050рр.

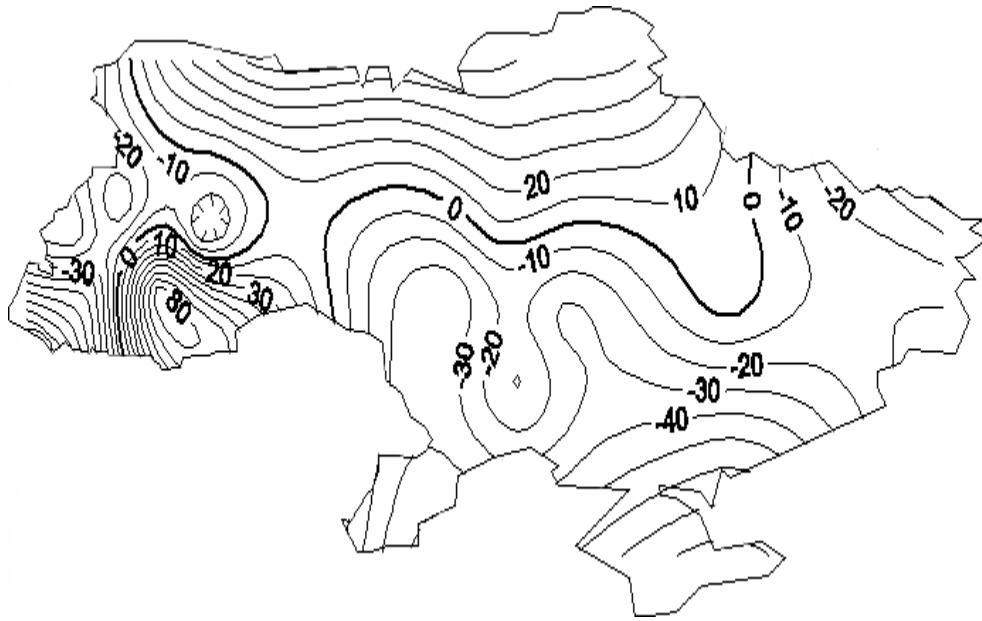


Рис.8.9. Просторовий розподіл відносних відхилень (%) норм річного кліматичного стоку за період 1986-2005 рр. (сценарій *A1B*) у порівнянні із базовими даними (до 1989 р.)

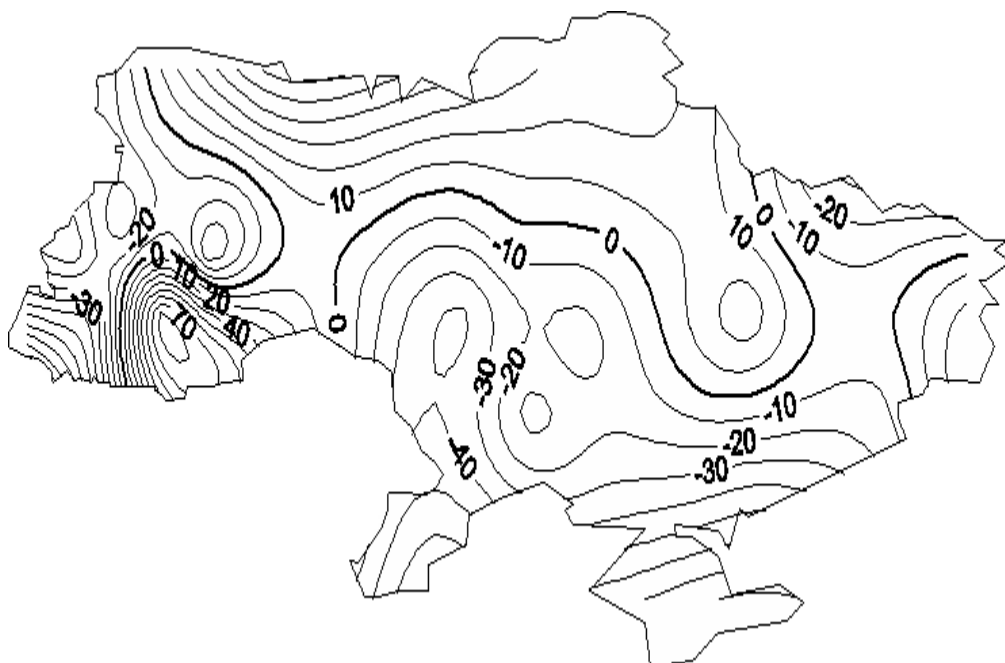


Рис. 8.10. Просторовий розподіл відносних відхилень (%) норм річного кліматичного стоку за період 2011-2030 рр. (сценарій *A1B*) у порівнянні із базовими даними (до 1989 р.)

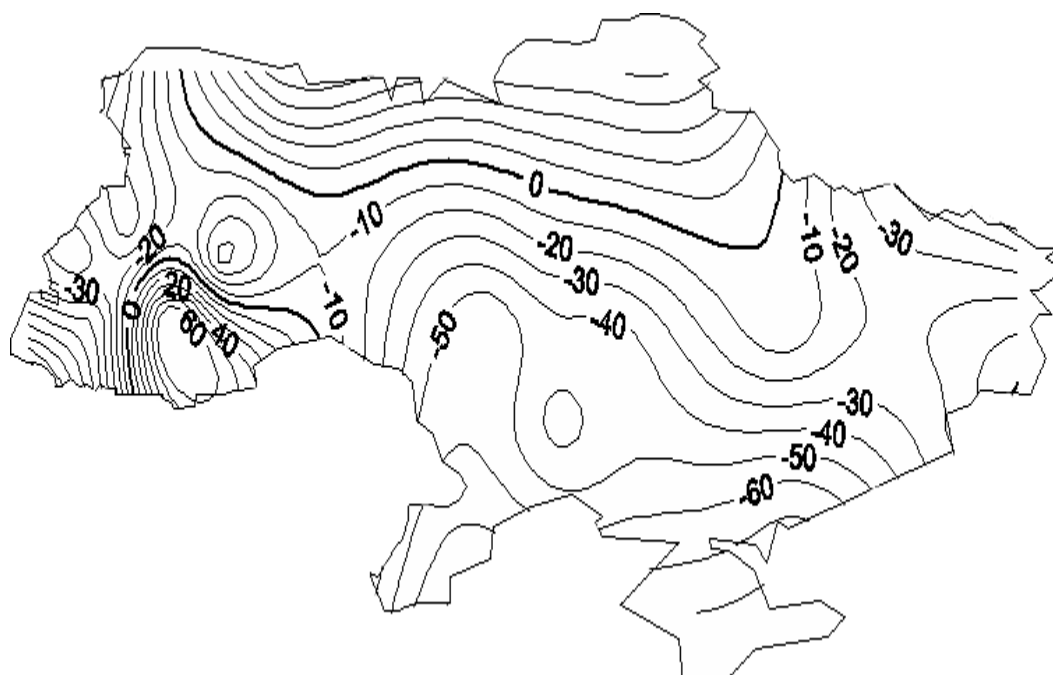


Рис. 8.11. Просторовий розподіл відносних відхилень (%) норм річного кліматичного стоку за період 2031-2050 рр. (сценарій *A1B*) у порівнянні із базовими даними (до 1989 р.)

На період 2011-2030 рр. у внутрішньорічному розподілі стоку по сезонах для рівнинної зони України очікується зростання відсотка стоку, який припадає на весняний сезон (до 7,6 %). Внесок стоку літньо-осінньої межени буде зменшуватися: до 5,6 % влітку та до 0,9 % взимку (табл. 8.6).

Для гірської зони Українських Карпат зміни внутрішньорічного розподілу стоку несуттєві і не перевищуватимуть 2,1 %.

Таблиця 8.6. Зміни внутрішньорічного розподілу стоку (%) за період 2011-2030 рр. у порівнянні із періодом 1986-2005 рр. (сценарій *A1B*)

Географічна зона	Сезони			
	Зима XII-II	Весна III-V	Літо VI-IX	Осінь X-XI
Гірська зона Українських Карпат	-2.1	-0.50	2.0	0,0
Зона мішаних лісів	1.2	4.8	-5.6	-0.4
Зона Лісостепу	-2.3	7.6	-4.4	-0.9
Зона Степу	-2.6	3.3	-1.1	-0.3

Ступінь змін водних ресурсів визначається за рекомендаціями ООН, згідно з якими зменшення середньої багаторічної величини річного стоку на 10 % класифікується як значущі зміни водних ресурсів; на 50 % – як руйнація водних ресурсів, на 70 % – як необоротна руйнація. Отже, у 2011-2030 рр. руйнація водних ресурсів спостерігатиметься на півдні і південному заході України, а у 2031-2050 рр. поширяться на Центральну Україну.

8.5. ОЦІНКА ЗМІН ВОДНИХ РЕСУРСІВ УКРАЇНИ ЗА СЦЕНАРІЄМ ГЛОБАЛЬНОГО ПОТЕПЛІННЯ A2

Просторова динаміка показника зволоженості β_X за сценарієм A2 показує, що у десятиріччя 2011-2030 рр. площа напіваридної зони $\beta_X < 0,5$ буде зменшуватись у порівнянні із 1986-2005 рр. (рис. 8.12, рис. 8.13), а у 2031-2050 рр. – зростати (рис. 8.14). Площі, зайняті зоною надмірного зволоження $\beta_X > 1,0$, які розширилися на заході у 1986-2005 рр., і надалі практично не змінюватимуться. Ізолінія $\beta_X = 0,8$, яка вказує на перехід до зони недостатнього зволоження, буде поволі “спускатися” на південному сході і зменшувати площу цієї зони.

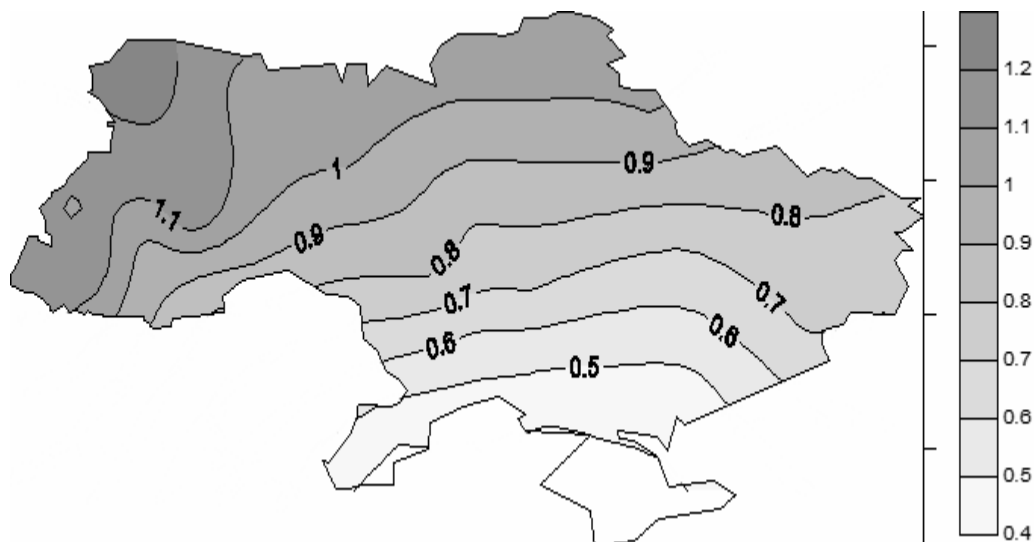


Рис. 8.12. Просторовий розподіл показника зволоженості β_X , визначеного за даними 1986-2005 рр. за сценарієм A2

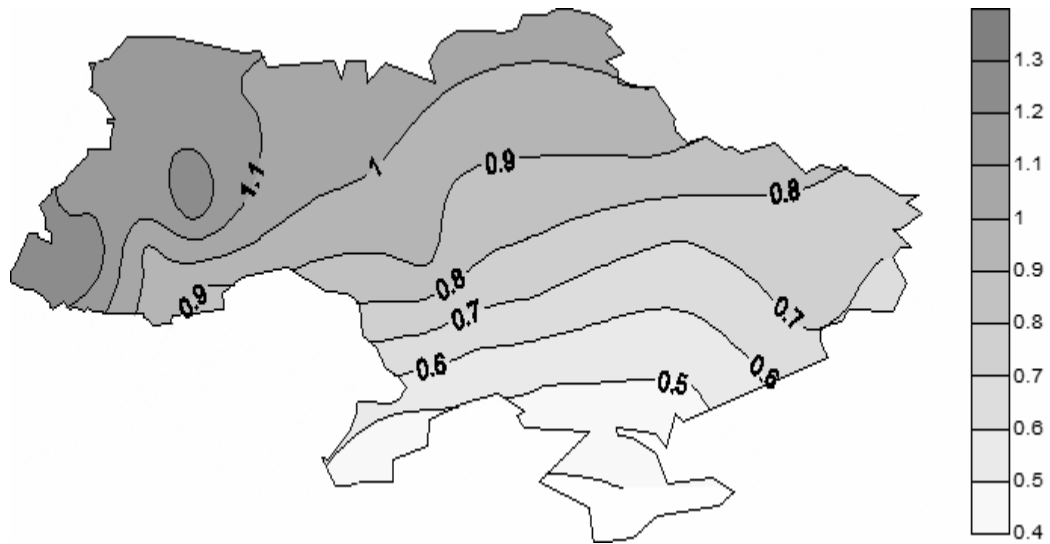


Рис. 8.13. Просторовий розподіл показника зволоженості β_X , визначеного за даними 2011-2030 рр. за сценарієм *A2*

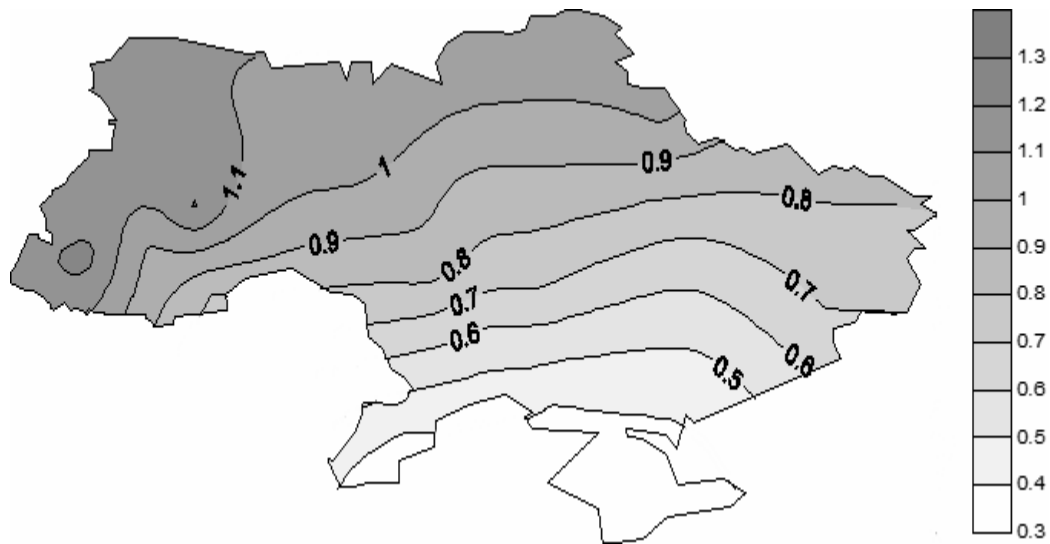


Рис. 8.14. Просторовий розподіл показника зволоженості β_X , визначеного за даними 2031-2050 рр. за сценарієм *A2*

При розгляді відносних відхилень δ середніх багаторічних значень річного кліматичного стоку від його значень до початку змін клімату (див. рис. 8.5), можемо зазначити, що область від'ємних змін за сценарієм *A2* має охопити весь південь України та Закарпаття й Буковину в 1985-2005рр. (рис. 8.15), але вона дещо скоротиться у 2011-2030рр. (рис. 8.16), й надалі у (2031-2050рр.) буде знов розширюватися, особливо на сході країни (рис.8.17). На півночі, в центрі та сході України до 2030 р. очікується зростання водних ресурсів до 80 % у порівнянні із минулим сторіччям (до 1989 р.). Збільшення водних ресурсів у 2011-2030 рр. буде забезпечуватись зростанням опадів. У 2031-2050 рр. опади почнуть зменшуватись, а максимально можливе випаровування зростатиме, що спричинить уповільнення процесу зволоження території та розширення напіваридної зони. Порівняння розрахованих норм річного кліматичного стоку за період 2031-2050 рр. із результатами розрахунків за 2011-2031 рр. показало, що на більшій частині України водні ресурси почнуть зменшуватись і лише у Поліссі та північному сході України буде відбуватися їх зростання до 20 % (рис. 8.18).

Таким чином, з точки зору збереження водних ресурсів України сценарій *A2* є більш “м'яким” у порівнянні із сценарієм *A1B*. Проте у південних областях зменшення водних ресурсів буде посилюватись і у Одеській області досягне стану руйнації (більше 50 відсотків). Розвиток подій за сценарієм *A2* указує на зростання різниці у забезпеченні водою південних і північних областей України. Однак наслідки глобального потепління, які прогнозуються за сценарієм *A2*, будуть не такі катастрофічні, як за сценарієм *A1B*.

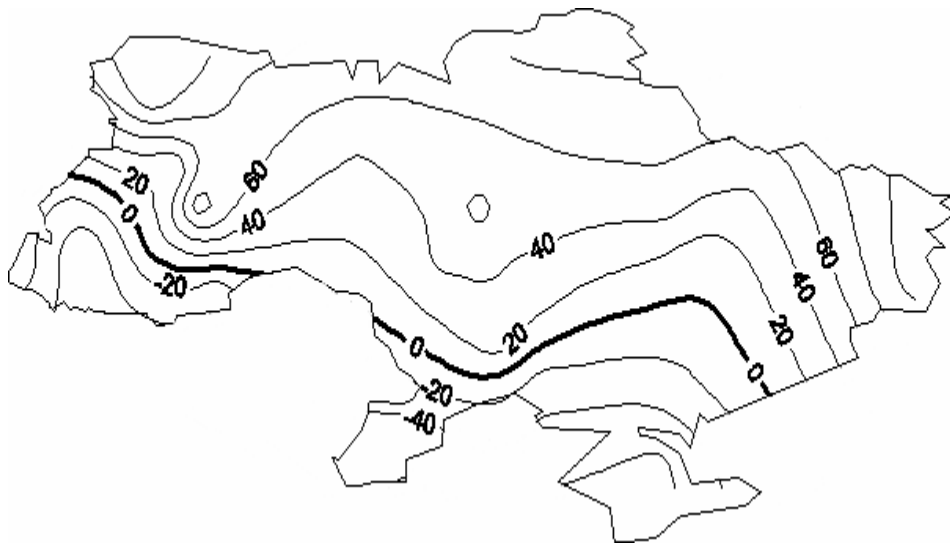


Рис. 8.15. Просторовий розподіл відносних відхилень (%) норм річного кліматичного стоку за період 1986-2005 рр. (сценарій *A2*) у порівнянні із даними (до 1989 р.)

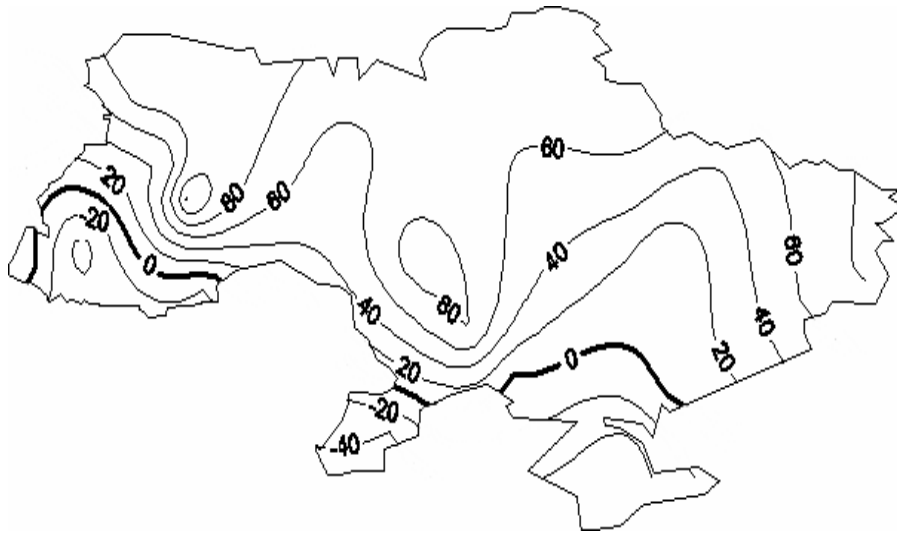


Рис. 8.16. Просторовий розподіл відносних відхилень (%) норм річного кліматичного стоку за період 2011-2030 рр. (сценарій А2) у порівнянні із даними (до 1989 р.)

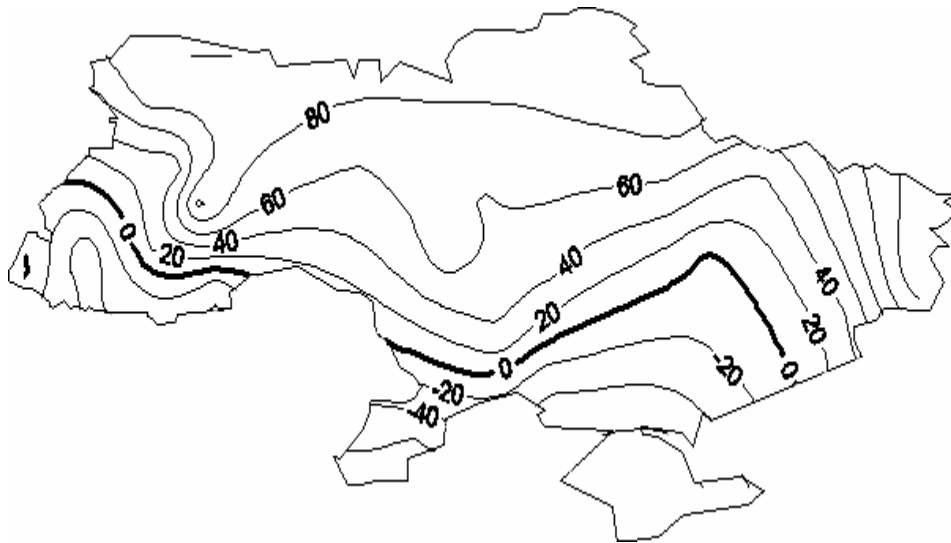


Рис. 8.17. Просторовий розподіл відносних відхилень (%) норм річного кліматичного стоку за період 2031-2050 рр. (сценарій А2) у порівнянні із даними (до 1989 р.)

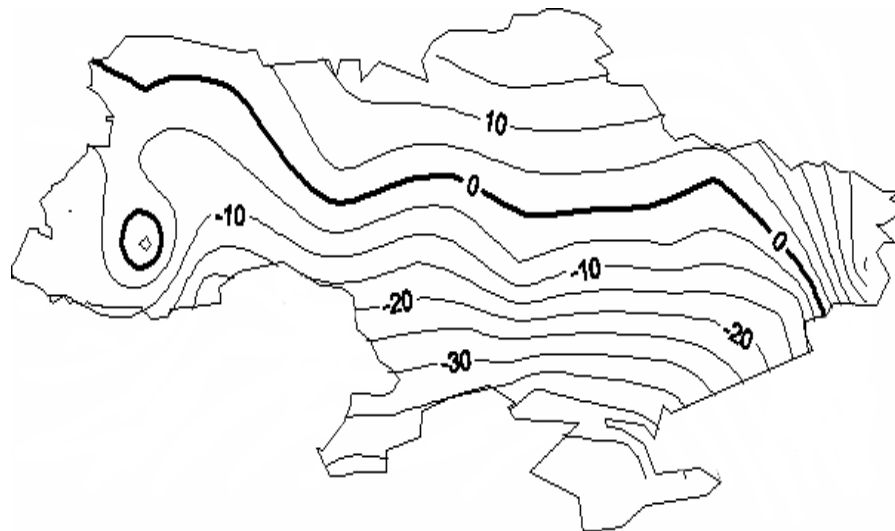


Рис. 8.18. Просторовий розподіл відносних відхилень (%) норм річного кліматичного стоку за період 2031-2050 рр. (сценарій *A2*) у порівнянні із періодом 2011-2030 рр.

Стосовно внутрішньорічного розподілу стоку, то суттєвих його змін за сценарієм *A2* не передбачається (табл. 8.7, 8.8). Для усіх географічних зон України, окрім зони Степу, передбачається зростання внеску в річний стік сезону весна (до 9,9 %) за рахунок зменшення стоку в сезон літо (до 8,3 %).

Таблиця 8.7. Зміни внутрішньорічного розподілу стоку (%) за період 2011-2030 рр. у порівнянні із періодом 1986-2005 рр. (сценарій *A2*)

Географічна зона	Сезони			
	Зима XII-II	Весна III-V	Літо VI-IX	Осінь X-XI
Гірська зона Українських Карпат	0.7	1.5	-2.3	0.0
Зона мішаних лісів	1.0	2.7	-3.4	-0.2
Зона Лісостепу	-0.3	6.6	-6.3	0
Зона Степу	0.4	-3.4	1.8	1.3

Таблиця 8.8. Зміни внутрішньорічного розподілу стоку (%) за період 2031-2050 рр. у порівнянні із періодом 1986-2005 рр. (сценарій A2)

Географічна зона	Сезони			
	Зима XII-II	Весна III-V	Літо VI-IX	Осінь X-XI
Гірська зона Українських Карпат	-0.3	3.3	-2.9	-0,2
Зона мішаних лісів	0.1	4.6	-4.3	-0.3
Зона Лісостепу	-1.2	9.9	-8.3	-0.4
Зона Степу	1.3	-1.1	-1.6	1.4

Висновки

Моделювання впливу змін клімату на характеристики стоку річок України виконано на основі моделі “клімат-стік”, розробленої в ОДЕКУ під керівництвом проф. Є.Д. Гопченка та проф. Н.С. Лободи. Модель передбачає розрахунки зонального (кліматичного) стоку за метеорологічними даними, урахування впливу підстильної поверхні, оцінки впливу водогосподарської діяльності на стік в залежності від кліматичних умов та масштабів водогосподарської діяльності. Модель пройшла апробацію за даними малих, середніх та великих водозборів річок України, розташованих в різних географічних зонах. Методики розрахунків природного (непорушеного водогосподарською діяльністю) стоку та побутового річного стоку при відсутності даних гідрологічних спостережень, визначені в результаті застосування моделі “клімат-стік”, увійшли до нової редакції нормативних документів ДБН «Визначення розрахункових гідрологічних характеристик України» та ДБН “Определение гидрологических характеристик для условий республики Молдова. СР D.01.05-2012.”

На основі моделі “клімат-стік” виконані оцінки змін водних ресурсів за метеорологічними даними сценаріїв змін глобального клімату A1B та A2. У роботі використані матеріали 28 метеорологічних станцій та відповідних вузлів сітки наведених сценаріїв.

При оцінці змін водних ресурсів України розглянуті матеріали спостережень про стік та метеорологічні дані до 1989 р., а також сценарні дані за періоди 1986-2005 рр.; 2011-2030 рр.; 2031-2050 рр.

Оцінка змін водних ресурсів України виконувалася на базі співставлення характеристик середніх багаторічних величин річного стоку за різні періоди спостережень. Ступінь змін водних ресурсів визначався за рекомендаціями ООН, згідно з якими зменшення середньої багаторічної величини річного стоку на 10 % класифікується як значущі зміни водних ресурсів; на 50 % – як руйнація водних ресурсів, на 70 % – як необоротна руйнація.

Установлено, що за сценарієм *A1B* руйнація водних ресурсів можлива на півдні України у період 2031-2050 рр. Показано, що до середини ХХІ сторіччя площа напіваридної зони буде розширюватись на північ. Область дії зони недостатнього зволоження поширюватиметься на заході, до неї увійдуть Закарпаття та водозбір Західного Бугу, лівобережні притоки Дністра у його верхній течії. На півночі України та в Українських Карпатах водні ресурси будуть зростати.

Згідно із результатами розрахунків, отриманими за сценарієм *A2*, до 2050р. Україну очікує зростання водних ресурсів від 80% на півночі до 20 % у центрі. У Закарпатті та Буковині можливе зменшення водних ресурсів на 20-30 %. На півдні України як і у сценарії *A1B* буде відбуватися зменшення водних ресурсів, яке у Одеській області досягне 60%, що знов таки означатиме їх руйнацію.

137. Witt C.T .de, Joudrian J. Simulation of ecological process.-Wageningen: Pudoc, (Simulation Monographs), 1974.– 159 p.
138. World Bank. Adapting to Climate Change in Europe and Central Asia. 2008. Доступно в інтернеті: http://siteresources.worldbank.org/ECAEXT/Resources/258598-1243892418318/ECA_CCA_Full_Report.pdf

До розділу 8

1. Актуальные проблемы лиманов северо-западного Причерноморья / Под ред. Ю.С. Тучковенко, Е.Д. Гопченко. - Одесса: ТЭС, 2012. - 223 с.
2. Бойко О.В., Железняк М.Й. Оцінка ефективності протипаводкових заходів на малих річкових водозборах Закарпаття як основа розрахунків розподіленої моделі “опади –стік” // Математичні машини і системи. - 2011. №4.
3. Виноградов Ю.Б. Математическое моделирование процессов формирования стока. Критический анализ. Л.: Гидрометеиздат, 1988- 312 с.
4. Водні ресурси та гідроекологічний стан Тилігульського лиману: Монографія /за ред. Ю.С. Тучковенко, Н.С. Лободи. Одеський державний екологічний університет, – Одеса ТЕС, 2014. – 278 с.
5. Гопченко Е.Д., Лобода Н.С. Оценка возможных изменений водных ресурсов Украины в условиях глобального потепления // Гидробиологический журнал. - Киев: Институт гидробиологии НАН Украины. - т.36, №3. - 2000. - С. 67 - 78.
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. Водные ресурсы северо-западного Причерноморья (в естественных и нарушенных хозяйственной деятельностью условиях). – Київ: КНТ. – 2005. – 188 с.
8. Грани гидрологии: Пер. с англ. / Под ред. Джона К. Родда - Л.: Гидрометеиздат, 1987. – 535 с.
9. Гребінь В.В. Сучасний водний режим річок України (ландшафтно-гідрологічний аналіз). –К.: Ніка-центр,2010. -316 с.
10. Гребінь В.В., Лук’янець О.І., Андрела С.П. Характер змін режиму водності та повторюваності паводків в холодний і теплий періоди року в басейні р.Тиса (у межах України) // Український гідрометеорологічний журнал. – Одеса., ТЕС, 2013.- С. 147-154.
11. Гушля А.В., Мезенцев В.С. Водно-балансовые исследования.К.:Вища школа, 1982. – 229 с.
12. Лобода Н.С., Гопченко Є.Д. Нормування характеристик природного річного стоку України // Наукові праці УкрНДГМІ. – Вип.252. – К.:Ніка –Центр. –2003. – С. 5 - 10.

13. Лобода Н.С. Расчеты и обобщения характеристик годового стока рек Украины в условиях антропогенного влияния. – Одесса: Экология, 2005. – 208 с.
14. Лобода Н.С. Шляхи оцінювання, передбачення та управління станом водних ресурсів Кримського півострова у природних та порушених антропогенною діяльністю умовах // Наукові записки. Серія – біологія. Спеціальний випуск: гідроекологія. – Тернопіль. – Тернопільський педуніверситет. – 2005. – № 3(26). – С. 256 – 258.
15. Лобода Н.С. Ландшафтна різноманітність та районування характеристик стоку Українських Карпат // Науковий Вісник Чернівецького університету. – Вип.305. , Географія. – 2006. - С. 12-19.
16. Лобода Н.С., Гопченко Е.Д. Нормирование характеристик естественного годового стока рек Украины // Доклады Всероссийского гидрологического съезда (28 сентября – 1 октября, 2004г.). Секция 5. Гидрофизические явления и процессы. Формирование и изменчивость годового стока, гидрологические и водохозяйственные расчеты. Часть 2. – Метеоагентство Росгидромета. – Москва. – 2006. - С. 134-137.
17. Лобода Н.С. Проблемы гидрологических расчетов в условиях антропогенного воздействия и модель "климат -сток"// Метеорологія, кліматологія та гідрологія. - Одеса. - 2007. – Вип. 50. частина друга – С. 14 – 19.
18. Лобода Н.С. Оцінка припливу прісних вод до північно-західної частини Чорного моря. Постановка проблеми та шляхи вирішення. // Причорноморський екологічний бюлетень. 2010. - №2 (36) (червень). – С. 63-67.
19. 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. Спеціальний випуск: гідроекологія.- № 3 (44). -2010. – С. 143-145.
20. Лобода Н.С. Влияние изменений климата на водные ресурсы Украины (моделирование и прогнозы по данным климатических сценариев) // Глобальные и региональные изменения климата под ред. Шестопалова В.М., Логинова В.Ф., Осадчего В.И. и др. – К.: Ніка-Центр, 2011. – С. 340-352.
21. Лобода Н.С., Божок Ю.В. Мінливість клімату та водних ресурсів Закарпаття // Вісник Одеського державного екологічного університету. – Вип.12. - Одеса:ТЕС. – 2011. - С. 161-167.
22. Лобода Н.С., Дорофєєва В.П. Стан водних ресурсів р.Дністер за сценаріями глобального потепління // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. Гол. Ред.. Хільчевський В.К. – К. Видавництво Київського національного університету. - 2011. -Т.3(24). – С. 36-44.

23. 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. Гол. Ред.. Хільчевський В.К. – К. Видавництво Київського національного університету. - 2011. -Т.2(23). – С. 51-59.
24. Лобода Н.С., Сербова З.Ф., Куза А.М.,Божок Ю.В. Вплив змін клімату на живлення лиманів північно-західного Причорномор'я прісними водами за сценаріями глобального потепління // Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції “Лимани північно-західного Причорномор'я: актуальні гідро екологічні проблеми та шляхи їх вирішення”, 12-14 вересня 2012р., Україна, м. Одеса. – Одеса:ТЕС, 2012. – С. 24-27.
25. Лобода Н.С., Божок Ю.В. Визначення внутрішньорічного розподілу при розрахунках стоку за метеорологічними даними сценаріїв глобального потепління (басейн Тилігульського лиману, сценарій М10 на базі моделі “клімат-стік” // Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції “Лимани Північно-західного Причорномор'я: сучасний гідро екологічний стан; проблеми водного та екологічного менеджменту, рекомендації щодо їх вирішення”. Одеса, ТЕС, 2014. – С. 25-27.
26. 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.
27. 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. Одеса, ТЕС, №15, 2014. – С. 149-159.
28. Лук'янець О.І., Балабух Оцінка взаємозв'язку елементів водного балансу в сучасних умовах та впливу кліматичних змін на річковий стік в Закарпатській області // Матеріали VI Всеукраїнської наукової конференції з міжнародною участю "Проблеми гідрології, гідрохімії, гідроекології". - м. Дніпропетровськ: ТОВ «Акцент ПП», 2014 р. – С. 187-190.
29. Мезенцев В.С., Карнацевич И.В. Увлажненность Западно-Сибирской равнины - Л.: Гидрометеоздат,1969. – 75 с.
30. Мезенцев В.С. Расчеты водного баланса:Учебное пособие. - Омск,1976. – 76 с.
31. Определение гидрологических характеристик для условий республики Молдова. СР D.01.05-2012. (у співавторстві). – 180 с.

32. Оцінка впливу кліматичних змін на галузі економіки України. Під ред. Степаненко С.М., Польового А.М. – Одеса.: Екологія. – 2011. –С. 566-605.
33. Режимы влагообеспеченности и условия гидромелиораций степного края / Мезенцев В.С., Карнацевич И.В., Белоненко Г.В., Плотников Ю.Н., Полисадов С.Д. (Под ред. В.С.Мезенцева). – М.Колос, 1974. – 240 с.
34. Сніжко С. Оценка изменения водного стока рек Украины на основе водно-балансовых моделей / С. Сніжко, І.Купріков, О.Шевченко // Фізична географія та геоморфологія. – 2012. – Вип..2 (66). – С. 157-161.
35. Сніжко С., Яцюк М., Купріков І., Шевченко О., Струтинська В. Зміна клімату і ресурси місцевого стоку в Україні у ХХІ столітті // Україна:географія цілей та можливостей. Зб. наук.праць. – Н.:ФОП “Лисенко М.М.”, 2012.-Т.1 – С. 77-80.
36. Удовенко О.И., Кивва С.Л.,Бойко А.В., Ковалец И.В., Железняк М.И. Моделирование изменений климатических характеристик экстремальных паводков в Украинских Карпатах // Матеріали VI Всеукраїнської наукової конференції з міжнародною участю "Проблеми гідрології, гідрохімії, гідроекології". - м. Дніпропетровськ: ТОВ «Акцент ПП», 2014 р. – С. 275-278.
37. Україна та глобальний парниковий ефект. Вразливість і адаптація екологічних та економічних систем до зміни клімату. За редакцією В.В. Васильченка, М.В. Рапцуна, І.В. Трофімової. –Т.2. - Київ. Агентство з раціонального використання енергії та екології. - 1998. – 206 с.
38. Шакірзанова Ж.Р. Визначення основних факторів весняного водопілля річок Лівобережжя Дніпра при довгострокових прогнозах його характеристик // Український гідрометеорологічний журнал. – Одеса., ТЕС, 2013.- С. 99-109.
39. Arnold J.G., Allen P.M., Bernhardt G.. A comprehensive surface-groundwater flow model / Journal of Hydrology. - 1993. - v. 142. - P. 47-69.
40. ESPON. The spatial effects and management of natural and technological hazards in Europe. Schmidt-Thome P. 2007.
41. Hattermann FF, Krysanova V, Post J, Dworak Th, Leipprand, A, Kadner S, Kabat P, (2008) Understanding consequences of Climate Change. In “The Adaptiveness of IWRM, an Analysis of European IWRM Research”, IWA Publishing, London, UK. P. 89-112.
42. Krysanova, V. & Luik, H. (eds.), Simulation modelling of a system watershed - river - sea bay. - Tallinn, Valgus, 1989. - 428 p.

43. Krysanova, V., Meiner, A., Roosaare, J., Vasilyev, A., Simulation modelling of the coastal waters pollution from agricultural watershed / Ecological Modelling. - 1989. – v. 49. - P. 7-29.
44. Krysanova, V., Wechsung, F., SWIM (Soil and Water Integrated model) User Manual. - 2000. – 239 p.
45. Krysanova, V., Wechsung F. & Hattermann F. Development of the ecohydrological model SWIM for regional impact studies and vulnerability assessmen / Hydrological Proceses. - 2005. – v.19. – P. 763-783.
46. Krysanova, V., F. Hattermann, Sh. Huang, C. Hesse, T. Vetter, S. Liersch, H. Koch and Z. W. Kundzewicz. Modelling climate and land use change impacts with SWIM: lessons learnt from multiple applications. Submitted to Hydrological Sciences Journal.- 2013.
47. Loboda N.S. The assessment of present and future Ukrainian water resources on meteorological evidence // Climat and Water.-1998.-Vol1. - P. 1486-1494.
48. Piani C., Haerter J.O., Coppola E., 2010. Statistical bias correction for daily precipitation regional climate models over Europe. Theoretical and Applied Climatology, Volume 99, Issue 1-2, P. 187-192.
49. World Meteorological Organization, 2003. 2003: Integration and Coupling of Hydrological Models with Water Quality Models: Applications in Europe (B. Arheimer and J. Olsson). WMO Technical Reports in Hydrology and Water Resources, No. 75. WMO/TD-No. 1174. Geneva.

7. Вплив змін клімату на агрокліматичні умови вирощування сільськогосподарських культур	325
7.1. Сучасний стан моделювання продукційного процесу посівів сільськогосподарських культур в умовах зміни клімату	326
7.2. Методичні підходи до оцінки впливу кліматичних змін на продуктивність посівів сільськогосподарських культур	338
7.3. Оцінка впливу змін клімату на ріст, розвиток та формування урожаїв озимої пшениці	339
7.3.1. Оцінка впливу змін клімату на продукційний процес озимої пшениці	339
7.3.2. Вплив змін клімату на формування зимостійкості озимої пшениці на Півдні України	347
7.4. Моделювання впливу зміни клімату на продуктивність ярого ячменю	356
7.5. Вплив зміни клімату на продукційний процес кукурудзи.....	369
7.6. Оцінка продукційного процесу проса в умовах зміни клімату	380
7.7. Оцінка зміни агрокліматичних умов вирощування соняшнику в зв'язку зі зміною клімату.....	393
7.8. Оцінка зміни агрокліматичних умов вирощування цукрового буряку в зв'язку зі зміною клімату	407
7.9. Оцінка продукційного процесу картоплі в умовах зміни клімату.....	421
7.10 Вплив зміни клімату на продуктивність винограду в Україні.....	435
8. Моделювання впливу змін клімату на характеристики стоку річок України.....	451
8.1. Огляд сучасного стану проблеми.....	452
8.2. Теоретичні основи моделювання водних ресурсів за моделлю “клімат-стік”.....	456
8.3. Теоретичні основи моделювання водних ресурсів за сценаріями глобального потепління на основі моделі “клімат-стік”.....	461
8.4. Оцінка змін водних ресурсів України за сценарієм глобального потепління A1B.....	467
8.5. Оцінка змін водних ресурсів України за сценарієм глобального потепління A2.....	476
Післямова.....	483
Список літератури.....	485

6.2.	Impact of climate change on the moisture probability of the vegetation period.....	287
6.2.1.	Technique of assessment of moisture probability of the vegetation period.....	287
6.2.2.	Description of moisture probability of territory of Ukraine under different scenarios.....	292
7.	Impact of climate change on agro-climate conditions of growth of the crops.....	325
7.1.	Modern state of modelling productive processes of crops under climate change conditions.....	326
7.2.	Methodological approach to assessment of impact of climate change on productivity of crops.....	338
7.3.	Assessment of impact of climate change on growth, development and forming of crops.....	339
7.3.1.	Assessment of impact of climate change on productive process of winter wheat.....	339
7.3.2.	Impact of climate change on forming winter resistance of winter wheat in the Southern Ukraine.....	347
7.4.	Modelling impact of climate change on productivity of spring barley.....	356
7.5.	Impact of climate change on productive process of maize.....	369
7.6.	Assessment of productive process of panic grasses under climate change conditions.....	380
7.7.	Assessment of agro-climate conditions of growth of sunflower under climate change.....	393
7.8.	Assessment of agro-climate conditions of growth of sugar beet under climate change conditions.....	407
7.9.	Assessment of productive processes of potato plant under climate change conditions.....	421
7.10	Impact of climate change on grape productivity in Ukraine.....	435
8.	Modelling impact of climate changes on river runoff characteristics.....	451
8.1.	Review of state-of-the art of the issue.....	452
8.2.	Theoretical foundations of modelling water resources on the basis of the “climate-runoff” model.....	456
8.3.	Theoretical foundations of modelling water resources under scenarios of global warming on the basis of the “climate-runoff” model.....	461
8.4.	Assessment of changes in water resources of Ukraine under scenario of global warming A1B.....	467
8.5.	Assessment of change of water resources of Ukraine under scenario of global warming A2.....	476
	Summary.....	483
	References.....	485

Наукове видання

СТЕПАНЕНКО С. М.,
ПОЛЬОВИЙ А. М.,
ЛОБОДА Н. С., та ін.

КЛІМАТИЧНІ ЗМІНИ ТА ЇХ ВПЛИВ НА СФЕРИ ЕКОНОМІКИ
УКРАЇНИ

Монографія

За редакцією
С. М. Степаненка, А. М. Польового

Надруковано в авторській редакції
з готового оригінал -макета

Підписано до друку 27.10.2015. Формат 60x84/16. Папір офсетний. Гарнітура
Друк офсетний. Ум. друк. арк. ??????
Тираж 157 прим. Вид. № . Зам. №

Одеський державний екологічний університет
65016, м. Одеса, вул. Львівська, 15

Друкарня видавництва