

ВПЛИВ ЗМІН КЛІМАТУ НА ВОДНІ РЕСУРСИ УКРАЇНИ У СУЧАСНИХ ТА МАЙБУТНІХ УМОВАХ (ЗА СЦЕНАРІЄМ ГЛОБАЛЬНОГО ПОТЕПЛІННЯ А1В)

Установлені основні тенденції зміни водних ресурсів України на основі моделі «клімат-стік» з використанням гілки сценаріїв А1В (М10). Представлені карти ізоліній коефіцієнтів зволоження, середніх багаторічних величин річного стоку та їх змін.

Ключові слова: модель «клімат-стік», сценарій глобального потепління.

Актуальність. Водні ресурси визначають стан навколишнього середовища, вони пов'язані із соціальним становищем суспільства і здоров'ям людини. 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 й певні зміни водних ресурсів.

Поєднання змін кліматичних умов з існуючими водогосподарськими заходами може привести до перегляду стратегії розвитку промисловості, сільського господарства та природоохоронних заходів в Україні [9]. Кліматичні умови впливають не тільки на формування стоку річок України, а й на окремі складові водогосподарських балансів, величини яких залежать від коливань клімату (норми зрошування, осушування тощо). Із зміною клімату можуть змінитися доцільність та допустимі масштаби водогосподарських заходів.

Актуальність досліджень зумовлена необхідністю визначення можливого стану водних ресурсів України в умовах змін глобального клімату.

Об'єктом дослідження є водні ресурси України, предметом – характеристики водних ресурсів в умовах змін клімату.

Метою дослідження є встановлення характеристик стоку різних географічних зон України за сценаріями глобального потепління на основі моделі «клімат-стік». Робота виконана в рамках науково-дослідної роботи «Вразливість та адаптація галузей економіки України до змін клімату».

Стан проблеми. 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 зміни клімату.

Дослідження наслідків змін клімату у зв'язку зі станом поверхневих водних ресурсів України виконувались у кінці минулого та на початку нового сторіччя рядом українських науковців, серед яких слід відзначити роботи В.І. Вишневецького 2000,2003; А.І. Шерешевського та Л.К. Синицької, 2000; В.О. Войцехович та Л.І. Лузан, 1999; Є.Д. Гопченка, В.А. Овчарук, Ж.Р. Шакирзанової, М.Є Романчук, 2005. Установлено, що у наш час відбувається зменшення максимальних витрат весняного водопілля та зростання меженного стоку. У праці В.С. Мельника та Н.С. Лободи (2009) доведено, що зменшення максимального стоку весняного водопілля може впливати на режим наносів, величина яких також зменшується. Вивчали зміни складових водного балансу за фактичними даними та водно-балансовим методом Тюрка С.І.Сніжко та І.В.Куприков [10].

Просторово-часове узагальнення змін кліматичних та гідрологічних характеристик у межах усієї України виконав В.В. Гребінь [3] на основі проведеного ним ландшафтно-гідрологічного районування. В.В. Гребінь виділив 1989 рік як межу, з якої почалися значущі зміни у коливаннях стоку. Показано, що для річок Причорноморської низовини з 1989 по 2008 рр. відбулося збільшення середніх багаторічних величин опадів на 3%, середні багаторічні температури повітря зросли на 0,8 °С. При цьому визначено зменшення середніх багаторічних величин річного стоку до 10% та максимального стоку до 60-70%. Показники мінімального стоку річок навпаки зростають у 1,5-2,0 рази.

Надійних прогнозів глобальних, а тим більш регіональних змін клімату на цей час не існує, тому для кількісної оцінки їх наслідків, як правило, використовуються кліматичні сценарії, в яких наведені можливі зміни атмосферних опадів ($\Delta\bar{X}$) та температур повітря ($\Delta\bar{T}$). До таких сценаріїв належать: GISS - модель Інституту Годдарда по космічних дослідженнях, чутливість до подвоєння CO₂ - 4,2° С, рік розрахунків – 1982; GFDL - модель Лабораторії геофізичної гідродинаміки США, чутливість до подвоєння CO₂ - 4° С, рік розрахунків – 1989; CCCM - модель Канадського кліматичного центру, чутливість до подвоєння CO₂ - 3,5°С, рік розрахунків – 1989. За вказаними моделями виконувалися оцінки водних ресурсів України, наведені в [2].

В 2000 р. МГЕЗК опублікувала «Спеціальну доповідь по сценаріях викидів» (СДСВ). Описані в доповіді сценарії відображають різні варіанти розвитку подій. Вони враховують демографічні, економічні та науково-технічні фактори, а також зумовлені цими факторами викиди парникових газів. Сценарії СДСВ згруповані у чотири сценарні лінії (A1, A2, B1 і B2).

Сюжетна лінія A1 характеризується світом з дуже швидким економічним розвитком, світовим населенням, кількість якого досягає максимуму у середині XXI століття, швидким впровадженням нових та більш ефективних технологій. Лінія A1 поділяється на три групи, які описують альтернативні напрямки технологічного прогресу: інтенсивне використання викопних видів палива (A1FI), енергетичні ресурси без викопних видів палива (A1T) та баланс за усіма джерелами (A1B). Лінія B1 описує конвергентний світ з тим же світовим народонаселенням, що й у A1, але з більш швидкими змінами в економічних структурах у напрямку сфер обслуговування та інформаційних технологій. B2 характеризується світом з проміжним народонаселенням та економічним зростанням, в якому наголос робиться на локальних вирішеннях проблем економічної, соціальної та екологічної стійкості. A2 описує неоднорідний світ зі швидким економічним розвитком, але повільним технологічним прогресом.

Сценарій зміни клімату A1B реалізований в регіональній кліматичній моделі REMO, яка розроблена в Інституті метеорології ім. Макса Планка в Гамбурзі. REMO об'єднує колишню чисельну модель прогнозу погоди EUROPA-MODEL для розрахунків термодинамічних характеристик і блоку глобальної кліматичної моделі ECHAM4 [12]. У межах сценарію A1B було розроблено декілька різних сценаріїв M1-M15, кожен із своїми особливостями. Сценарій M10 обрано із числа 15 запропонованих, як такий, що дав найбільш задовільний збіг розрахункових і фактичних значень метеорологічних характеристик (середньомісячної температури повітря та опадів) для періоду 1998-2007 рр..

Із 1997 р. Україна є Стороною Рамкової конвенції Організації Об'єднаних Націй про зміну клімату, а з 2004р. – Стороною Кіотського протоколу, в яких визначається система заходів, спрямованих на стабілізацію концентрації парникових газів з метою уникнення антропогенного впливу на кліматичну систему.

Розпорядженням Кабінету Міністрів України від 18 серпня 2005 р. № 346-р був затверджений Національний план заходів щодо реалізації положень Кіотського протоколу та Рамкової Конвенції ООН про зміну клімату, а указом Президента України від 12.09.2005 р. № 1239 Міністерство охорони навколишнього середовища України було визначено координатором діяльності, пов'язаної з виконанням зобов'язань, передбачених цією конвенцією.

Матеріали та методи дослідження. Основним методом дослідження є модель «клімат-стік». Базисом моделі «клімат-стік» є рівняння водно-теплового балансу у модифікації В.С. Мезенцева (1969 р.). Цей метод був реалізований для території України в ОДЕКУ під керівництвом проф. Є.Д. Гопченка та проф. Н.С. Лободи [4,5]. Річний стік визначався за даними метеорологічних станцій на основі методу водно-теплового балансу і дістав назву «кліматичного». В результаті були побудовані карти ізоліній норм річних опадів, максимально можливого випаровування та кліматичного стоку для рівнинних територій на топографічній основі 1:500000, а також регіональні залежності цих характеристик від висоти місцевості для гірських територій (Українські Карпати та Гірський Крим).

Апробація моделі "клімат-стік" як способу визначення характеристик природного (непорушеного водогосподарською діяльністю) річного стоку була виконана на основі даних водозборів різних природних зон України [6], а також на даних великих річок [8]. Установлено, що точність визначення статистичних параметрів річного стоку за описаною моделлю знаходиться у межах точності розрахунків цих параметрів за даними гідрометричних спостережень і складає $\pm 10\%$.

Модель «клімат-стік» успішно застосовувалась при оцінках водних ресурсів України за сценаріями глобального потепління [1,7,11].

У дослідженні використані карти ізоліній норм річних опадів, максимально можливого випаровування та кліматичного стоку, побудовані за даними до 1989 р. Також розрахунки проводилися з використанням даних про опади, температуру повітря, зміну вологості у ґрунті за сценарієм змін глобального клімату М10 для 28 метеорологічних станцій на території України за періоди 1986-2005 рр., 2011-2030 рр., 2031-2050 рр..

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 найкращим чином відображає зміни клімату.

Характеристикою зволоженості (посушливості) території може бути співвідношення між ресурсами вологи і тепла:

$$\beta_X = \frac{\bar{X}}{E_m}, \quad (1)$$

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

При цьому

$$\beta_X \geq 1,0 - \text{зона надмірного зволоження}, \quad (2)$$

$$0,8 < \beta_X < 1,0 - \text{зона достатнього зволоження}, \quad (3)$$

$$0,5 \leq \beta_X < 0,8 - \text{зона недостатнього зволоження}, \quad (4)$$

$$0,20 < \beta_X < 0,50 - \text{напіваридна зона}, \quad (5)$$

$$0,03 < \beta_X < 0,20 - \text{аридна зона,} \quad (6)$$

$$\beta_X < 0,03 - \text{гіпераридная зона.} \quad (7)$$

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

У сучасних математичних моделях загальної циркуляції атмосфери і океану, які пов'язуються із типом розвитку суспільства, надається просторовий розподіл у вузлах регулярної сітки, яка з роками стає більш детальною. За сценаріями для кожного вузла надаються 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-теплового балансу, яке для умов змін клімату набере вигляду [5,9]

$$Y'_K = X' + (w_1 - w_2)' - E'_m \left[1 + \left(\frac{X' + (w_1 - w_2)'}{E'_m} \right)^{-n} \right]^{-\frac{1}{n}}, \quad (8)$$

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.

Для багаторічного періоду

$$Y'_K = X' - E'_m \left[1 + \left(\frac{X'}{E'_m} \right)^{-n} \right]^{-\frac{1}{n}}, \quad (9)$$

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

Аналіз результатів. Середні багаторічні величини кліматичного стоку та показника зволоженості β_X , розраховані за даними по 28 метеорологічних станціях України картувалися [6]. На рис.1-4 показано просторовий розподіл показника зволоженості β_X у вихідних умовах (до 1989р.) та за періоди 1986-2005 рр., 2011-2030рр., 2031-2050 рр. Аналізуючи зміни у просторовому розподілі ізоліній β_X у часі, можна зробити висновки, що ізолінія $\beta_X=0,5$ піднімається з півдня до півночі, що вказує на розширення напіваридної зони. Збільшення водних ресурсів спостерігається на півночі країни у 1986-2005 рр., про що свідчить положення ізолінії 0,9. Практично не зазнає змін зона надлишкового зволоження, розташована в Українських Карпатах.

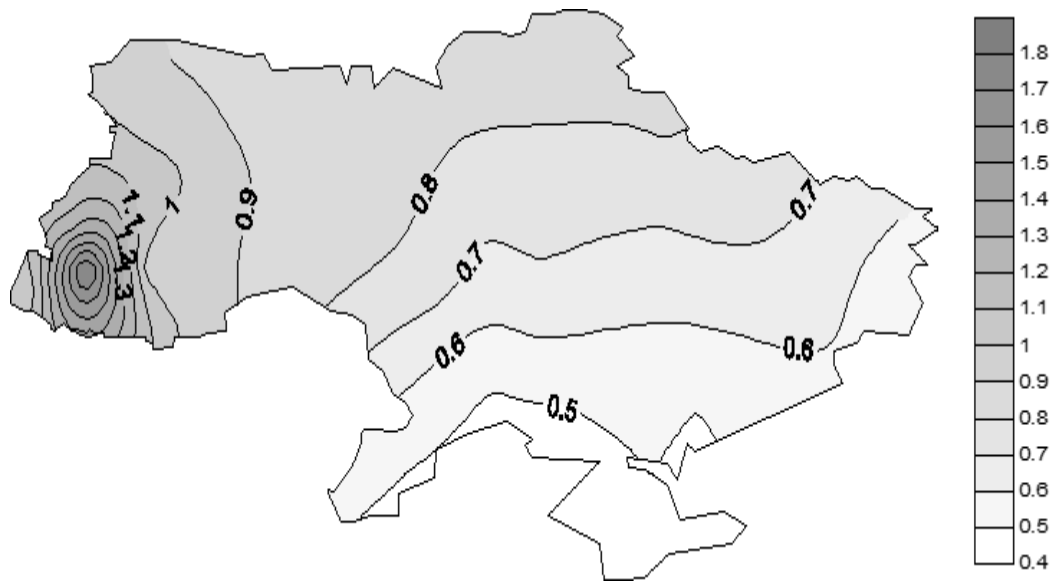


Рис. 1 – Просторовий розподіл показника зволоженості β_X , визначений за даними до 1989 року (до початку значущого впливу глобального потепління)



Рис. 2 – Просторовий розподіл показника зволоженості β_X за даними 1986-2005 рр.

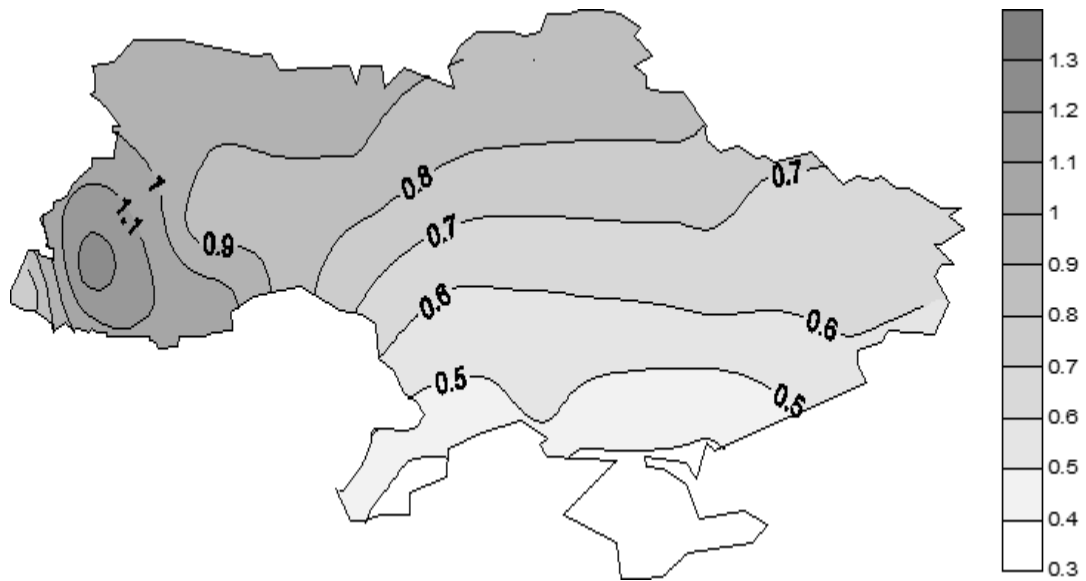


Рис. 3 – Просторовий розподіл показника зволоженості β_X за даними 2011- 2030 рр.

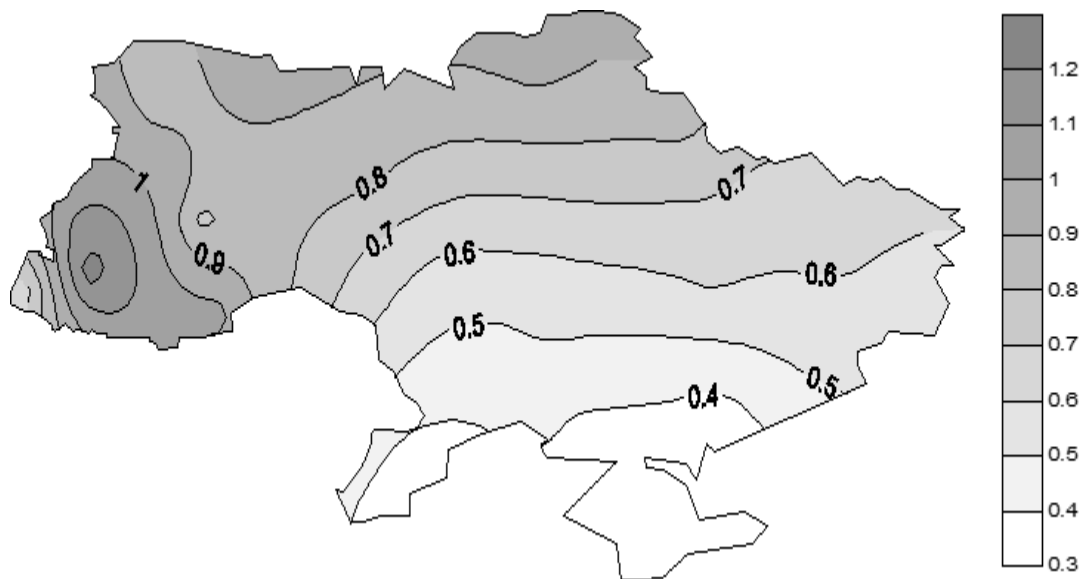


Рис. 4 – Просторовий розподіл показника зволоженості β_X за даними 2031-2050 рр.

Норми кліматичного річного стоку рівнинної частини України у минулому сторіччі (до початку глобального потепління) змінювалися від 140 мм на північному заході до 20 мм на півдні (рис.5). У XXI столітті відбувається поступове розширення до півночі зони степу, межею якого може бути взята ізолінія норми річного кліматичного стоку, яка дорівнює 30 мм. Ізолінія норм річного кліматичного стоку, яка дорівнює 10мм, знаходилася у минулому сторіччі на території степового Криму. У період 2031-2050 рр. ця ізолінія буде розташовуватися на території Причорномор'я (рис. 8). На півночі країни норма річного кліматичного стоку буде зростати (рис. 6-8).

На наведених рисунках добре видно, як “спускаються” до південного степу ізолінії 100мм.



Рис. 5 – Просторовий розподіл норм річного кліматичного стоку за даними до 1989 р.

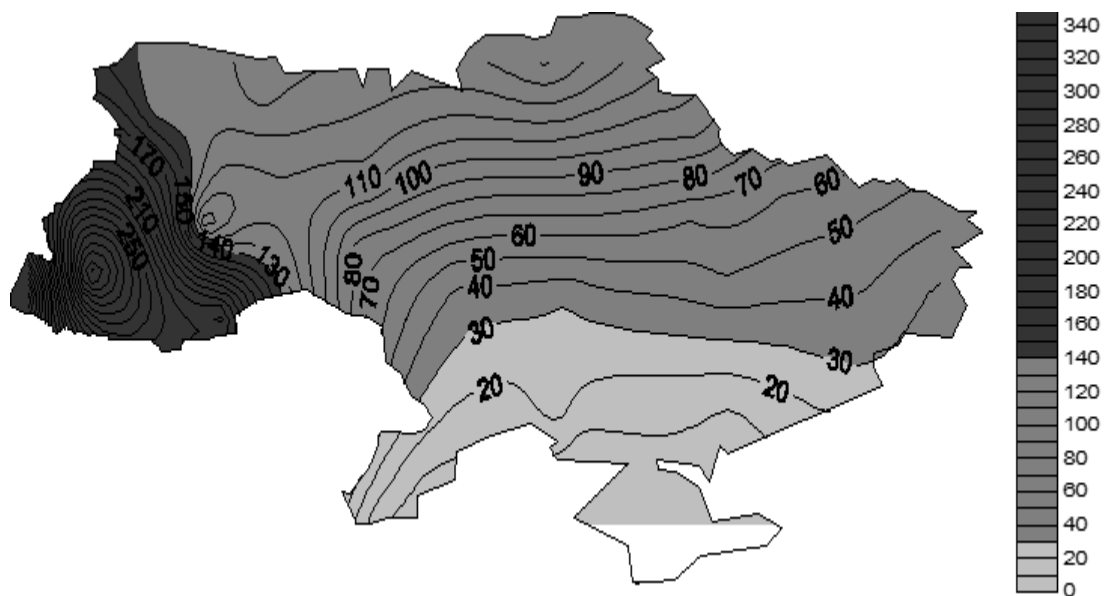


Рис. 6 – Просторовий розподіл норм річного кліматичного стоку за даними 1986-2005рр.

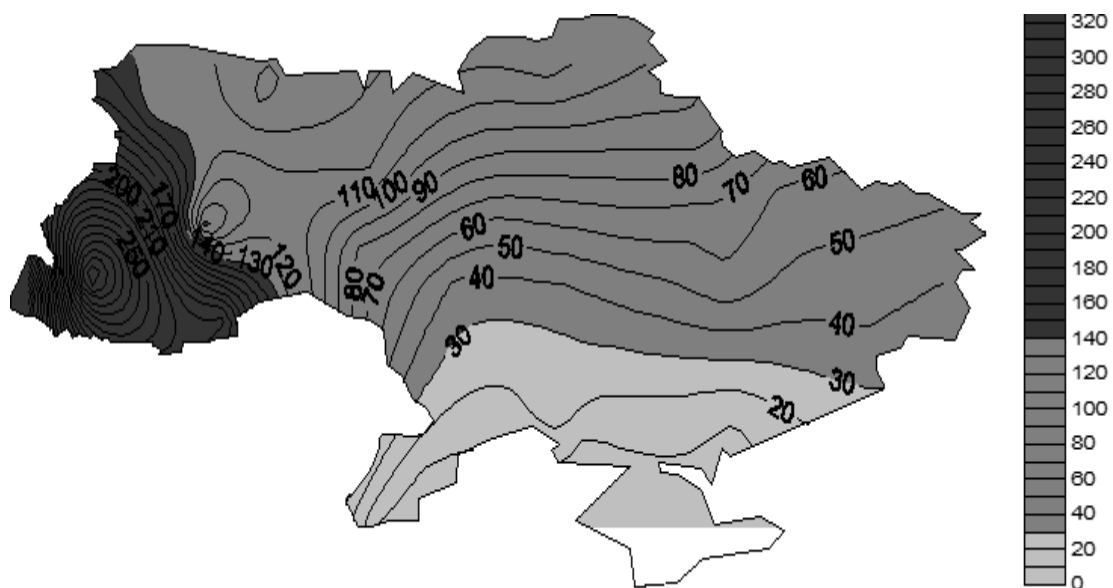


Рис. 7 – Просторовий розподіл норм річного кліматичного стоку за даними 2011-2030рр.



Рис. 8 – Просторовий розподіл норм річного кліматичного стоку за даними 2031-2050рр.

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

$$\delta = \frac{\overline{Y_K'} - \overline{Y_K}}{\overline{Y_K}}, \quad (10)$$

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

У період 1986-2005 рр. відбувалося зменшення норм річного кліматичного стоку на півдні України та Закарпатті. Воно досягло -40% у південній частині Одеської області та -50% - у Херсонській. У північній та північно-західній частинах навпаки встановлено зростання річного стоку від 10 до 50% (рис. 9).

У період 2011-2030 рр. розподіл ізоліній норм річного кліматичного стоку буде змінюватися: нульова ізолінія має «спуститися» до південного сходу (рис.10).

У період 2031-2050 рр. зменшення водних ресурсів на півдні України буде посилюватись і досягне 60-70%. Збільшення стоку відбуватиметься у межах водозборів річок Прип'ять та Десна, а також у межах Українських Карпат. Закарпаття та Західний Буг, лівобережні притоки Дністра увійдуть у область зменшення річного стоку (рис.11).

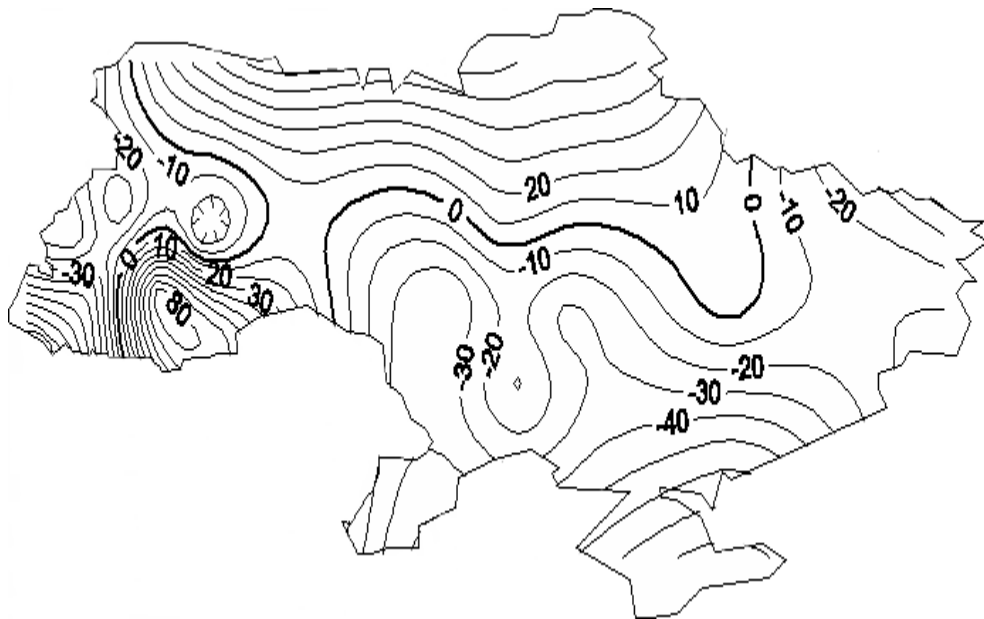


Рис. 9 – Просторовий розподіл відносних відхилень норм річного кліматичного стоку за період 1986-2005 рр. у порівнянні із даними до 1989 р.

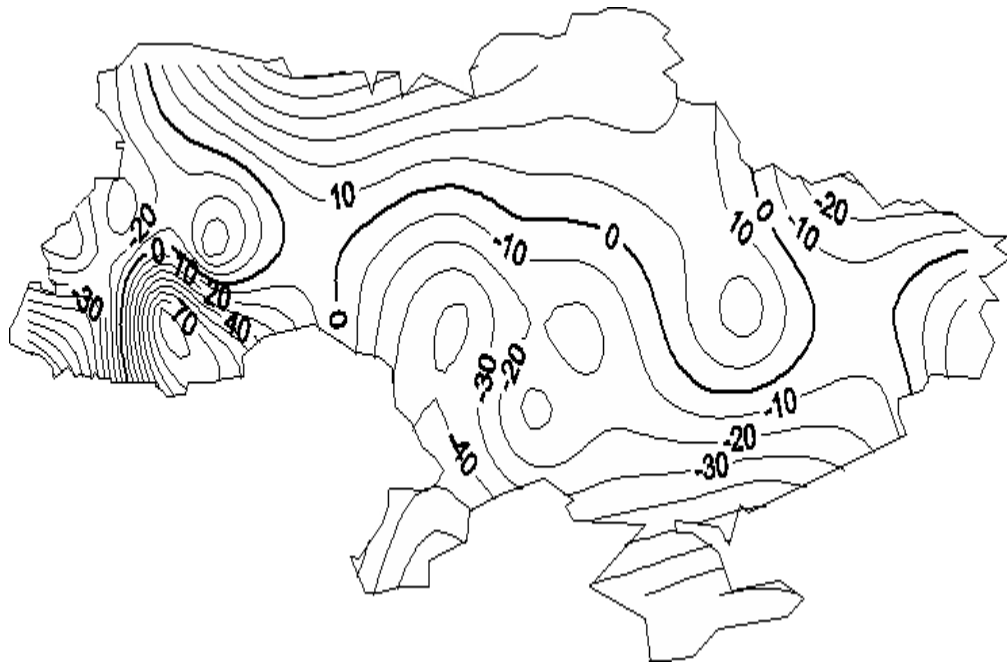


Рис. 10 – Просторовий розподіл відносних відхилень норм річного кліматичного стоку за період 2011-2030 рр. у порівнянні із даними до 1989 р.

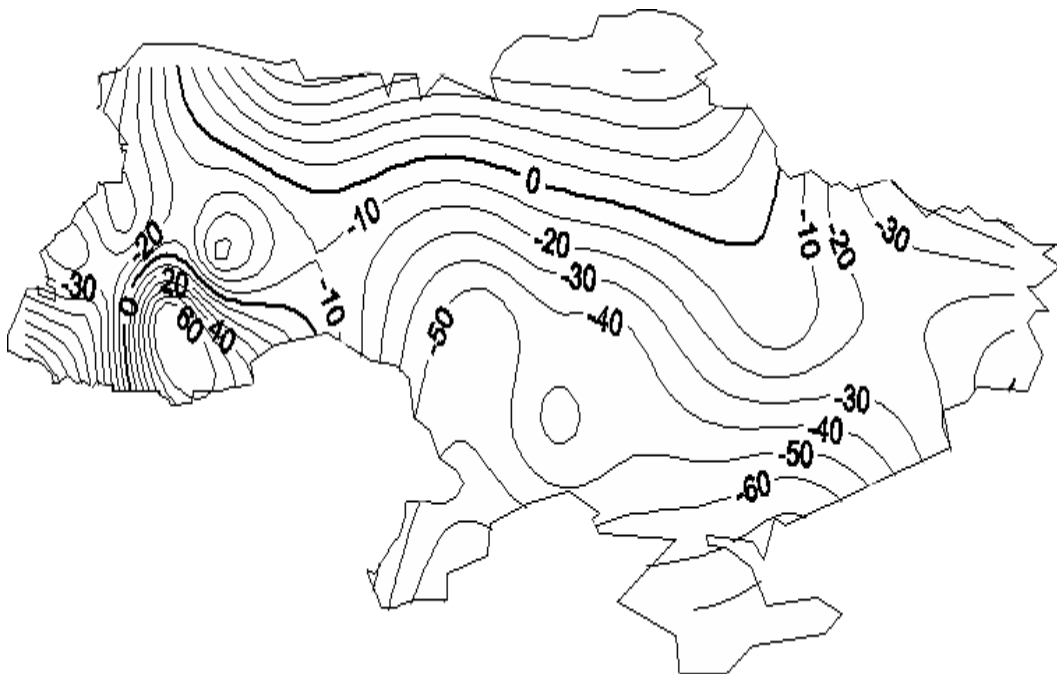


Рис. 11 – Просторовий розподіл відносних відхилень норм річного кліматичного стоку за період 2031-2050 рр. у порівнянні із даними до 1989 р.

Висновки. Згідно із сценарієм М10 з гілки сценаріїв А1В за періоди 2011-2030рр. та 2031-2050 рр. буде поступово розширюватися область зменшення водних ресурсів (у напрямку з півдня на північ). У Одеській області це зменшення становитиме 50% у 2011-2030 рр. та досягне 70% у 2031-2050 рр.

Таким чином, лише за рахунок зміни клімату у середині ХХІ сторіччя можливе руйнування водних ресурсів зони степу. Зростання водних ресурсів за обраним сценарієм буде відбуватися у Карпатах та Українському Поліссі.

Список літератури

1. Актуальные проблемы лиманов северо-западного Причерноморья / Под ред. Ю.С. Тучковенко, Е.Д. Гопченко). - Одесса: ТЭС, 2012.-223с.
2. Букиша І.Ф., Гожик П.Ф., Ємельянова Ж.Л., Трофімова І.В., Шерешевський А.І. Україна та глобальний парниковий ефект. Книга 2. Вразливість і адаптація екологічних та економічних систем до зміни клімату. – Київ, 1998.– 210 с.
3. Гребінь В.В. Сучасний водний режим річок України (ландшафтно-гідрологічний аналіз). –К.: Ніка-центр, 2010. -316 с.
4. Гопченко Є.Д., Лобода Н.С. Оцінювання природних водних ресурсів України за методом водно-теплового балансу // Наук. Праці УкрНДГМІ. –2001. – Вип.249. – С.106-120.
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. Лобода Н.С. Расчеты и обобщения характеристик годового стока рек Украины в условиях антропогенного влияния: Монография. – Одесса: Экология, 2005. – 208 с.
7. 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.
8. 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 № 3 (44). -2010. – С. 143-145
9. Оцінка впливу кліматичних змін на галузі економіки України / Під ред. Степаненко С.М., Польового А.М. – Одеса: Екологія, 2011. – 605с.
10. 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.
11. Loboda N.S. The assessment of present and future Ukrainian water resources on meteorological evidence // Climat and Water.-1998.-Vol.1.-P.1486-1494.
12. Roeckner E., K. Arpe L. Bengtsson M. Cristoph M. Claussen L. Dumenil M. Esch, U. Schlese, U. Schulzweida. The atmospheric general circulation model ECHAM4: Model description and simulation of present-day climate // Max-Planck-Institute fur Meteorologie, Report. – 1996. – No.218

Влияние изменений климата на водные ресурсы Украины в современных и будущих условиях (по сценарию глобального потепления А1В). Лобода Н.С., Сербова З.Ф., Божок Ю.В.

Установлены основные тенденции изменения водных ресурсов Украины на основе модели «климат-сток» с использованием ветви сценариев А1В (М10). Представлены карты изолиний коэффициентов увлажнения, средних многолетних величин годового стока и их изменений.

Ключевые слова: модель «климат-сток», сценарий глобального потепления.

Impact of climate change on water resources of Ukraine in present and future conditions (under scenarios of global warming А1В). Loboda N., Serbova Z., Bozhok Y.

On the base of "climate-runoff" model main trends in change of water resources of Ukraine are established. In the investigation data of global warming scenario А1В (branche М10) are used. Isoline maps of precipitation-evaporation ratios, average long-term values of annual runoff and its changes are shown..

Keywords: "climate-runoff" model, scenario of global warming.