

<https://doi.org/10.15407/dopovidi2021.02.071>

УДК 551.581; 551.582; 551.583; 556

В.В. Осипов, Н.М. Осадча, В.І. Осадчий

Український гідрометеорологічний інститут ДСНС України та НАН України, Київ

E-mail: valery_osipov@ukr.net, nosad@uhmi.org.ua

Кліматичні зміни та водні ресурси басейну Десни до середини ХХІ століття

Представлено членом-кореспондентом НАН України В.І. Осадчим

Наведено проєкції зміни температури, опадів, евапотранспірації, запасів вологи ґрунту, компонентів водного стоку та витрат води у водотоках басейну річки Десна в період 2021–2050 рр. відносно 1991–2020 рр. Розрахунки виконано засобами процес-орієнтовної моделі SWAT (Soil and Water Assessment Tool). Прогнозні метеорологічні параметри (щоденні температура повітря, опади, швидкість вітру, вологість повітря, сонячна радіація) отримано за результатами регіональних кліматичних моделей (РКМ) проєкту Euro-CORDEX. Загалом ансамбль містить шість РКМ, які перевірено на спроможність відтворювати річний розподіл температури та опадів за базовий період (1970–2005 рр.). Для майбутнього періоду розглянуто два сценарії викидів парникових газів та аерозолей – RCP4.5 та RCP8.5.

Більшість моделей свідчить про те, що на фоні 5–10 %-го зростання опадів взимку та навесні річні витрати води збільшаться на 5–33 % переважно завдяки зростанню об'єму ґрунтового живлення. Зростає ймовірність посух, на що за результатами трьох із шести РКМ вказує зменшення на 10–20 % запасів вологи в ґрунті влітку.

Результати дослідження мають вагомe значення для складання плану управління басейном річки Дніпро. Особливу увагу варто приділити адаптаційним заходам у сільському господарстві через можливий дефіцит вологи для розвитку рослин.

Ключові слова: кліматичні зміни, водний стік, запас вологи ґрунту, річка Десна, SWAT.

Кліматичні зміни, які в сучасний період є незаперечним фактом, безпосередньо впливають на водні ресурси. Атмосферні опади та випаровування належать до основних компонентів водного балансу водозбірних територій, а коливання температурних характеристик опосередковано впливає на їхній просторовий розподіл і сезонну варіабельність.

Численні літературні джерела свідчать про те, що регіональні зміни водного стоку мають різне спрямування, однак загалом вони відповідають змінам, які простежуються для температури й опадів [1, 2]. Крім безпосереднього впливу на кількісні показники водного

Цитування: Осипов В.В., Осадча Н.М., Осадчий В.І. Кліматичні зміни та водні ресурси басейну Десни до середини ХХІ століття. *Допов. Нац. акад. наук Укр.* 2021. № 2. С. 71–81. <https://doi.org/10.15407/dopovidi2021.02.071>

стоку, кліматичні зміни спричиняють збільшення частоти таких екстремальних гідрологічних явищ, як паводки та посухи, що призводять до значних економічних збитків та соціальних втрат.

У сучасний період для вивчення взаємозв'язку між кліматичними параметрами та водним стоком найчастіше використовують метод моделювання. Вхідними параметрами для гідрологічних моделей слугують результати кліматичних проєкцій для різних сценаріїв суспільно-економічного розвитку. Це дає можливість не тільки визначення кількісних параметрів змін водного стоку, але й аналізу механізмів його прояву.

Водні ресурси в Україні розподілені вкрай нерівномірно, а кліматичні зміни ще більше загострили цю проблему. Основна частина водного стоку формується в північній частині. Так, тільки водні ресурси Десни забезпечують майже четверту частину стоку Дніпра і є джерелом водопостачання значної кількості населених пунктів України, до яких належить і Київ.

На сьогодні зміни водного стоку Десни у перспективі на 2021–2050 рр. розглядалися тільки у двох роботах, одна з яких виконана для басейну Чорного моря [3], а інша — для всієї України [4]. Несумірність масштабів призводить до виникнення на рівні басейну низки невизначеностей, які збільшуються з віддаленістю періоду прогнозування.

Мета цієї роботи — розрахувати зміни водного стоку та запасу вологи ґрунту в басейні Десни до 2050 р. Для розрахунку гідрологічних процесів застосовано процес-орієнтовну модель SWAT (Soil and Water Assessment Tool). Для прогнозу майбутніх змін використано ансамбль із восьми регіональних кліматичних моделей (РКМ) проєкту Euro-CORDEX. Вказані РКМ мають високу просторову роздільну здатність (~12 км) і відкориговані за опадами й температурою [5].

Проєкції зміни температури, опадів, запасу вологи ґрунту та витрат води водотоків (площею >450 км²) розглянуто для всього басейну Десни. Зміни компонентів водного стоку та евапотранспірації наведено для української частини басейну. На підставі одержаних результатів оцінено можливі ризики, пов'язані з кліматичними змінами.

Басейн Десни. Географічний опис та екологічні проблеми басейну Десни докладно описано у звіті щодо підготовки плану управління районом басейну Дніпра [6]. Відкритими залишаються питання щодо ризиків виникнення в майбутньому паводків, ерозійних процесів, евтрофікації, дифузного та точкового забруднення.

За даними E-OBS середня річна температура в межах басейну Десни в період 1991–2020 рр. зросла відносно кліматичної норми 1961–1990 рр. на 1,3 °C і досягла 7,3 °C [7]. На фоні мінімальних змін кількості опадів відзначається їхнє істотне вирівнювання протягом року. У січні, лютому, травні, вересні та жовтні кількість опадів зросла, а у літні місяці — навпаки, зменшилась.

За наявних змін температурних характеристик середній пік весняного водопілля в басейні Десни зменшився вдвічі, що пов'язано з меншим накопиченням снігу. У зимову межень витрати води, навпаки, зросли через часті відлиги і збільшення опадів у жовтні, січні та лютому [8].

Регіональні кліматичні моделі (РКМ). Для вивчення впливу кліматичних змін у межах Європейського континенту найкраще підходять кліматичні моделі проєкту Euro-CORDEX — це регіоналізовані моделі загальної циркуляції атмосфери й океанів (МЗЦАО) із високою

роздільною здатністю, що керуються різними сценаріями викидів парникових газів та аерозолей (RCP — representative concentration pathways) останнього покоління [5, 9].

У цьому дослідженні ми спиралися на сценарії RCP4.5 та RCP8.5. По-перше, за останніми оцінками RCP8.5 найкраще узгоджується з даними щодо викидів вуглекислого газу на період 2005—2020 рр. По-друге, очікується, що у 2050 р., навіть за умови реалізації заходів щодо зменшення викидів парникових газів, об'єм їхніх викидів буде не меншим, ніж це передбачено сценарієм RCP4.5 [10].

Умовою формування ансамблю РКМ була наявність необхідних метеорологічних параметрів для моделювання SWAT. У такий спосіб було відібрано вісім РКМ: RCA4, ініційована МЦЗАО CNRM-CM5, EC-EARTH, IPSL-CM5A-MR, HadGEM2-ES та MPI-ESM-LR; HIRHAM5, ініційована EC-EARTH; RASMO22E, ініційована EC-EARTH та HadGEM2-ES.

Для надійного гідрологічного прогнозу РКМ має адекватно відтворювати річний розподіл температури та опадів за базовий період (1970—2005 рр.). Відхилення багаторічних місячних опадів РКМ від даних спостережень оцінювали на базі 15 метеостанцій, розташованих у межах басейну Десни. У результаті дві моделі (RCA4, ініційована CNRM-CM5 та EC-EARTH) були виключені з дослідження, тому що вони мають найбільші відхилення і продукують суперечливі результати порівняно з іншими моделями. Зокрема, RCA4, ініційована CNRM-CM5, у базовий період системно завищує значення опадів на 3—29 % у період із вересня по травень. У результаті цього вона прогнозує аномальне (понад 100 %) збільшення поверхневого стоку, найімовірніше, через надмірне зволоження ґрунту. Навпаки, RCA4, ініційована EC-EARTH, занижує реальну кількість опадів у середньому на 7 % за рік, а в літні місяці — на 16—29 %. Це призводить до зниження показників поверхневого стоку на 26 % за умови зростання опадів на 6 %, що не характерно, порівнюючи з іншими моделями.

Характеристика моделі SWAT. SWAT — це процес-орієнтовна екогідрологічна модель із розосередженими параметрами, яка широко застосовується у світі для вирішення різноманітних завдань управління водними ресурсами [11]. Модель використовує щоденні метеорологічні параметри (мінімальна та максимальна температура повітря, кількість опадів, вологість повітря, швидкість вітру, сонячна радіація), ландшафт річкового басейну (цифрова модель рельєфу, шар ґрунтів із водно-фізичними параметрами, шар рослинного покриву, річкова мережа) і щорічні дані щодо площ сільськогосподарських культур, сівозмін та застосування добрив.

Калібрування і валідування моделі для басейну Десни виконано для періоду 2008—2019 рр. за даними щоденних витрат 12 гідрологічних постів, висоти снігового покриву на 13 метеостанціях та врожайності сільськогосподарських культур [12].

Для оцінювання впливу кліматичних змін у отриману регіональну модель завантажували щоденні метеорологічні параметри кожної РКМ. Кінцевими параметрами моделі були щомісячні значення шару водного стоку і його компонентів (поверхневий, внутрішньогрунтовий, ґрунтовий), витрати води, евапотранспірації та запасу вологи ґрунту. Результати групували для кожного з 116 суббасейнів.

Результати. На рис. 1 зображено проєкції відносних сезонних змін середніх сум опадів для періоду 2021—2050 рр. відносно кліматичної норми, за яку правив період 1991—2020 рр. Завдяки збільшенню кількості опадів взимку та навесні п'ять із шести РКМ передбачають

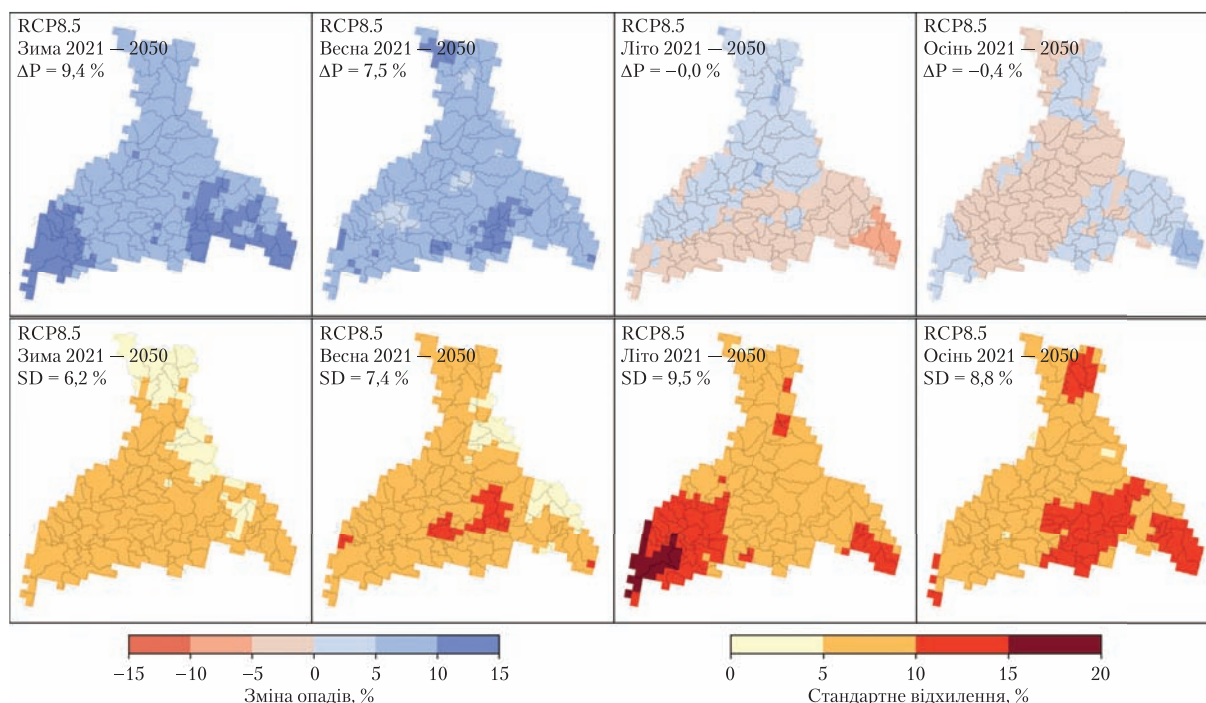


Рис. 1. Проекція зміни кількості опадів у басейні Десни в період 2021–2050 рр. відносно кліматичної норми 1991–2020 рр. за сценарієм RCP8.5: середнє значення (%) та стандартне відхилення (%) ансамблю регіональних кліматичних моделей

зростання їхньої річної суми в середньому на 6 % за обох сценаріїв RCP. Істотних просторових відмінностей не виявлено, але однозначність прогнозу найвища для північної частини басейну.

За ансамблем із шести РКМ прогнозоване зростання середнього значення температури й діапазону її варіабельності становило 1,2 °C (від 0,8 до 1,5 °C) для обох сценаріїв RCP4.5 та RCP8.5. Параметри змін окремо для української частини басейну наведено в таблиці.

Реакцією на прогнозоване зростання кількості опадів ймовірно стане збільшення витрат води. Із шести задіяних моделей чотири вказують, що приріст витрат у замикальному створі Десни досягне 5–26 % за сценарію RCP4.5. За іншого сценарію, RCP8.5, очікується приріст витрат за даними трьох моделей, а його розмах буде дещо більшим – 5–36 % (див. таблицю). Найбільше зменшення прогнозує модель HIRHAM5 за сценарію RCP8.5 – на 23 % на фоні зменшення опадів на 5 % (для всього басейну Десни).

На фоні ймовірного зростання водного стоку Десни за даними більшості моделей спостерігається висока варіабельність і неоднозначність прогнозу поверхневого стоку. За сценарієм RCP8.5 шар поверхневого стоку, найімовірніше, буде зменшуватися, а за сценарієм RCP4.5 однозначності в напрямку його зміни немає (див. таблицю). Натомість об'єм внутрішньогрунтового та ґрунтового живлення річки, з високою ймовірністю, буде зростати.

Витрати води в замикальному створі відображають формування стоку в басейні Десни із запізненням приблизно півтора місяці (рис. 2). Більшість моделей прогнозують, що середньомісячні витрати води в замикальному створі зростуть у січні–квітні, липні–серпні

та грудні. Натомість у травні та жовтні вони зменшуються (див. рис. 2). В інші місяці (червень, вересень, листопад) ймовірності збільшення або зменшення витрат дуже близькі. Такий хід внутрішньорічного розподілу стоку пояснюється зростанням кількості опадів переважно в холодний період року та в травні, а також збільшенням ґрунтового живлення річки протягом усього року і зменшенням снігового покриву перед весняним водопіллям унаслідок підвищення температур.

На фоні створеного ансамблю помітно вирізняються дві моделі: RCA4, ініційована MPI-ESM-LR, прогнозує максимальне збільшення витрат води Десни, а HIRHAM5, ініційована EC-EARTH, навпаки, передбачає найбільше зменшення водності річки. Так, відповідно до результатів першої моделі витрати води кожного місяця зростуть на 20–41 % за обох сценаріїв RCP. У квітні та листопаді зростання витрат за сценарієм RCP8.5 досягне максимального значення 48 %. За результатами моделі HIRHAM5 витрати води зменшаться на 10–18 % у січні–квітні та 18–36 % у травні–грудні за сценарієм RCP8.5 і на 9–26 % у червні–листопаді за сценарієм RCP4.5.

Серед компонентів водного стоку найбільш однозначний результат стосується змін ґрунтового стоку. Із шести прийнятих моделей чотири прогнозують його збільшення в усі

Прогнозована зміна температури (t , °C) та компонентів водного балансу в українській частині басейну Десни в період 2021–2050 рр. відносно 1991–2020 рр. за сценаріями RCP4.5 і RCP8.5 (PCP – опади, SM – сніготанення, ET – евапотранспірація, Q – витрата води в замикальному створі, WYLD – шар водного стоку, SurQ – шар поверхневого стоку, LatQ – шар внутрішньогрунтового стоку, GwQ – шар ґрунтового стоку, SW – запас вологи ґрунту)

Модель загальної циркуляції атмосфери та океанів	Регіональна кліматична модель	Δt , °C	ΔPCP , %	ΔSM , %	ΔET , %	ΔQ , %	$\Delta WYLD$, %	$\Delta SurQ$, %	$\Delta LatQ$, %	ΔGwQ , %	ΔSW , %
RCP4.5											
EC-EARTH	HIRHAM5	0,9	-3	-13	1	-7	-10	-20	-2	-11	-9
EC-EARTH	RACMO22E	1	0	1	3	-6	-4	-8	-1	-3	-6
IPSL-CM5A-MR	RCA4	1,1	8	-15	5	16	18	18	10	23	3
HadGEM2-ES	RACMO22E	1,5	4	-4	3	5	2	-7	4	2	-6
HadGEM2-ES	RCA4	1,3	11	-27	4	15	23	3	17	33	4
MPI-ESM-LR	RCA4	1	11	-14	3	26	33	8	23	52	7
Середнє		1,1	5	-14	3	8	10	-1	9	16	-1
RCP8.5											
EC-EARTH	HIRHAM5	1,4	-6	-24	2	-23	-24	-51	-6	-19	-11
EC-EARTH	RACMO22E	1,1	8	-4	8	0	8	-26	14	17	1
IPSL-CM5A-MR	RCA4	1	2	-20	4	-1	-3	3	1	-8	0
HadGEM2-ES	RACMO22E	1,5	3	4	4	5	3	-22	5	7	-4
HadGEM2-ES	RCA4	1,2	1	-14	1	7	3	-15	2	9	-3
MPI-ESM-LR	RCA4	0,8	10	0	2	33	38	69	18	40	8
Середнє		1,2	3	-10	4	4	4	-7	6	8	-1

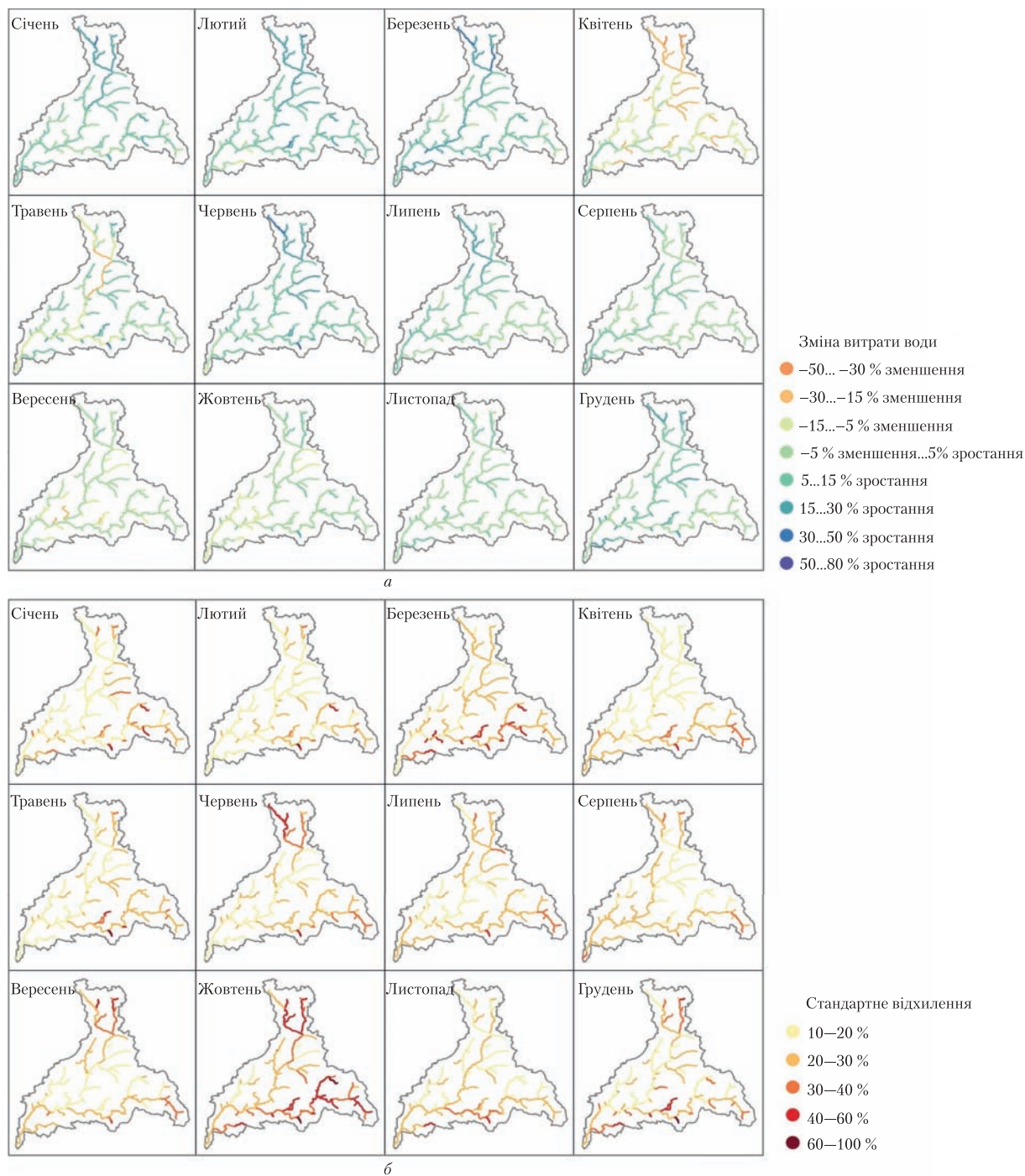


Рис. 2. Прогноз зміни щомісячних витрат води в басейні р. Десни на період 2021–2050 рр. відносно 1991–2020 рр. за результатами моделювання SWAT з використанням сценарію RCP8.5: а – середнє (%), б – стандартне відхилення (%) ансамблю регіональних кліматичних моделей

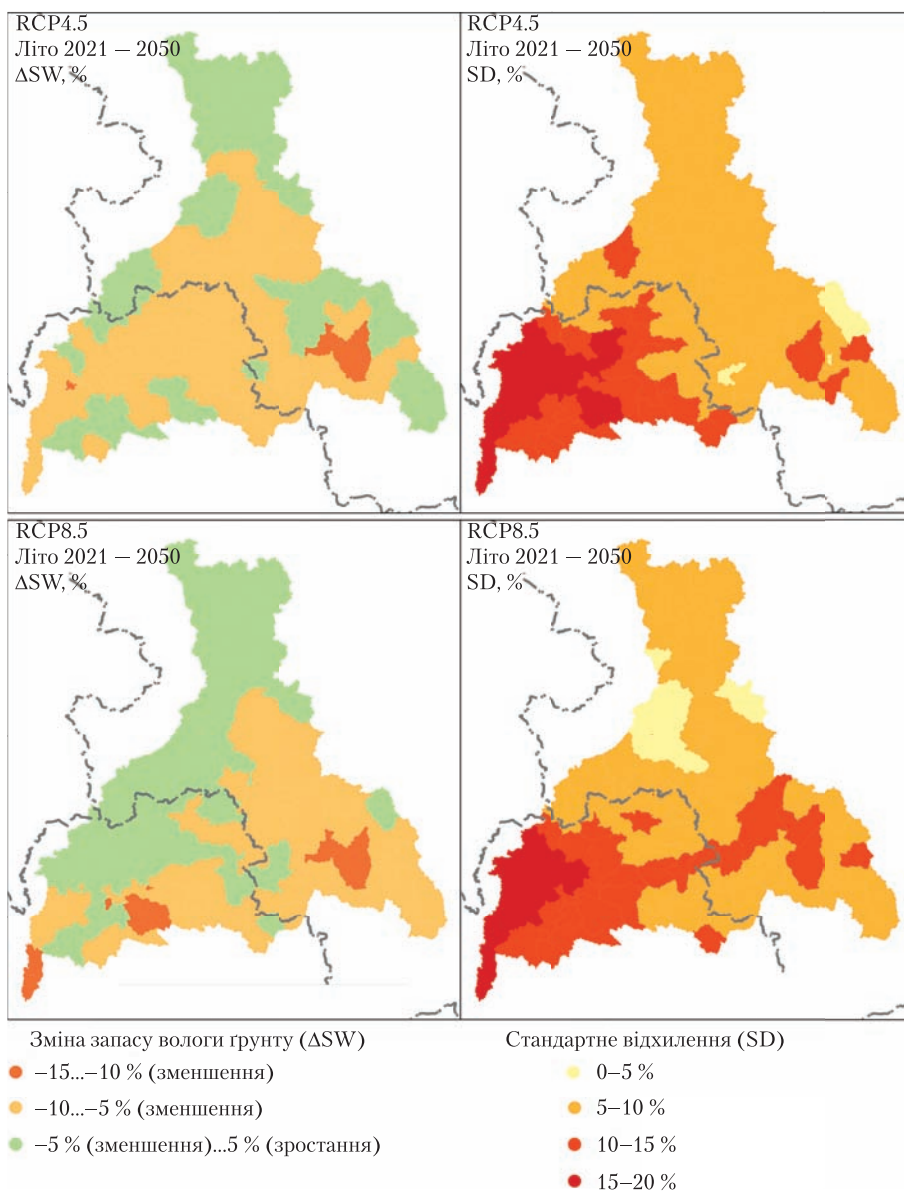


Рис. 3. Прогнозована зміна запасу вологи ґрунту басейну Десни в період 2021–2050 рр. відносно 1991–2020 рр. за сценаріями RCP4.5 та RCP8.5 за результатами моделювання SWAT: середнє (%) та стандартне відхилення (%) ансамблю регіональних кліматичних моделей

місяці, крім серпня–листопада, коли ймовірність збільшення і зменшення ґрунтового живлення буде майже однаковою.

Збільшення внутрішньогрунтового стоку варто очікувати в січні (тільки за сценарієм RCP8.5), лютому, травні, листопаді та грудні, тоді як у квітні він, найімовірніше, зменшиться. В інші місяці невизначеність щодо спрямованості змін внутрішньогрунтового стоку є високою.

Поверхневий шар стоку в українській частині басейну Десни за даними більшості моделей зменшиться в лютому, квітні та серпні–жовтні, а в червні (і липні за сценарієм RCP8.5), навпаки, збільшиться. В інші місяці узгодженість щодо змін поверхневого стоку є низькою.

Серед моделей немає узгодженості щодо змін запасу вологи ґрунту влітку для української частини басейну за обох сценаріїв RCP: половина моделей прогнозує зменшення 10–20 %, інша половина – незначне збільшення, 3–7 % (рис. 3).

Обговорення результатів. Отримані результати показали, що внаслідок впливу змін клімату на водні ресурси басейну Десни, найвірогідніше, не зміниться або навіть знизиться ризик затоплення відносно 1991–2020 рр., коли пікові витрати води вже зменшилися, порівняно з періодом кліматичної норми (1961–1990 рр.). Зменшення максимальних витрат водопілля зумовлено меншим накопиченням снігового покриву внаслідок потепління. Водночас витрати можуть зрости через значне збільшення опадів на початку року та, відповідно, перезволожений ґрунт. Але малоімовірно, що другий чинник переважить перший. Через почастишання відлиг та збільшення кількості опадів у листопаді–березні очікується підвищення середньомісячних витрат води зимової межени.

Приблизно 50 % ймовірності матиме ризик зменшення запасу вологи ґрунту у вегетаційний період. Внаслідок цього виникатимуть агрономічні посухи, що незмінно позначатимуться на врожайності сільськогосподарських культур. Також зменшиться кормова база для молочного тваринництва, на якому спеціалізується економіка регіону.

На підставі результатів моделювання встановлено наявність двох ризиків ймовірністю близько 20 %. По-перше, у період мінімального стоку (серпень–жовтень) можливе зменшення середньомісячних витрат води Десни на 18–36 % (до 50 % для приток). Це посилить навантаження від точкових джерел забруднення. По-друге, можливе помітне зростання поверхневого стоку посилить ерозійні процеси ґрунтів, схильність до яких визначається їхнім переважно легким механічним складом.

Унаслідок кліматичних змін також можна очікувати зміни хімічного складу поверхневих вод басейну Десни. Потепління прискорить процеси мінералізації та гуміфікації в ґрунтах, що за умови зростання водного стоку збільшить емісію сполук нітрогену, фосфору та гумусових речовин із водозбірної території. Раніше ми показали, що сполуки нітрогену надходять у руслову мережу річок переважно в розчинній формі в складі нітратних і нітритних сполук, тоді як фосфор здебільшого транспортується в складі еродованих частинок ґрунту. Гумусові речовини вимиваються в розчинній формі із поверхневим та внутрішньогрунтовим стоком [13, 14]. Можна припустити, що серед найімовірніших змін буде зростання дифузного надходження нітрогену упродовж року через збільшення водного стоку, фосфору в травні та червні у зв'язку зі збільшенням поверхневого стоку, гумусових речовин у листопаді–лютому та травні через збільшення частки внутрішньогрунтового стоку. З іншого боку, відзначається висока ймовірність зменшення поверхневого та внутрішньогрунтового стоку у квітні, коли вноситься значна частина добрив. Підвищення температури води на фоні високого надходження біогенних елементів (нітрогену, фосфору) буде одним із чинників стимулювання евтрофікації водних об'єктів.

Для більш надійного та кількісного прогнозу зазначених у попередньому абзаці наслідків кліматичних змін необхідно безпосередньо оцінити їхній вплив на цикли нітрогену, фосфору та вуглецю. До цього мають бути долучені результати змін у землекористуванні та методах ведення сільськогосподарських робіт, що і стане завданням майбутніх досліджень.

Отримані нами результати можна порівняти тільки з двома роботами. Автори [3] використали одну кліматичну модель (HIRHAM5, RCP8.5), але застосували чотири майбутні

сценарії землекористування. Ними прогнозується зменшення середньорічного водного стоку на 5 % за діапазону варіювання від зменшення на 20 % до зростання на 5 % та зменшення запасу вологи ґрунту на 5 % (від -15 до 0 %), що потрапляє в діапазон наших результатів (див. таблицю). Автори [4] за допомогою балансової моделі “клімат—стік” прогнозують зменшення водного стоку за сценарієм RCP4.5 в середньому на 5 %, за сценарієм RCP8.5 — на 35 %, що виходить за межі нашого прогнозу. На жаль, у цій роботі представлено лише середнє значення ансамблю з 14 РКМ, тому важко зробити припущення щодо причини відмінностей.

Отримані дані допоможуть у розробленні заходів для досягнення екологічних цілей, визначених у плані управління річковим басейном Дніпра, який почне реалізовуватися з 2024 р. У плані експерти мають розробити програму моніторингу виявлення кліматичних змін, вказати очікувані навантаження та наслідки через зміни клімату і запропонувати стратегію адаптації [15]. Одним із вагомих наслідків зміни клімату в басейні Десни є зростання зимових витрат починаючи з кінця XX століття і, найімовірніше, вони й надалі зростатимуть. Ще одним важливим результатом нашого дослідження є прогнозоване підвищення температури й дефіцит вологи в ґрунті у вегетаційний період, що, безумовно, потребуватиме адаптаційних заходів для сільського господарства в басейні Десни.

Висновки. Уперше для басейну Десни наведено проєкції зміни водного стоку та запасу вологи ґрунту для періоду 2021–2050 рр. За ансамблем із шести регіональних кліматичних моделей очікується збільшення відносно 1991–2020 рр. витрати води Десни в середньому на 8 % (можливий діапазон від -7 до 26 %) за сценарієм RCP4.5 і в середньому на 4 % (від -23 до 33 %) за сценарієм RCP8.5. Для української частини басейну Десни половина моделей прогнозує зменшення запасу вологи ґрунту влітку на 10–20 % за обох сценаріїв RCP.

Ґрунтуючись на аналізі змін середньомісячних витрат води та компонентів водного стоку, ми вважаємо, що малоімовірними (< 20 %) є ризики збільшення ерозійних процесів, паводків і зменшення на понад 20 % витрат води в період мінімального стоку (серпень—жовтень). Оцінювання ризиків біогенного забруднення води річок басейну, винесення гумусових речовин і зростання евтрофікації потребує додаткових досліджень впливу кліматичних змін на кругообіг нітрогену, фосфору та вуглецю.

Результати дослідження мають вагомє значення для стратегічного планування водозабезпечення міста Києва, складання плану управління річковим басейном Дніпра та розроблення кращих методів ведення сільськогосподарських робіт. Перед високою небезпекою постане сільськогосподарський сектор Сумської та Чернігівської областей через можливий дефіцит вологи ґрунту у вегетаційний період.

ЦИТОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Climate change, impacts and vulnerability in Europe 2016. An indicator-based report. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2017. 419 p. <https://doi.org/10.2800/534806>
2. Stahl K., Hisdal H., Hannaford J., Tallaksen L. M., van Lanen H. A. J., Sauquet E., Demuth S., Fendekova M., Jódar J. Streamflow trends in Europe: evidence from a dataset of near-natural catchments. *Hydrol. Earth Sys. Sci.* 2010. **14**, № 12. P. 2367–2382. <https://doi.org/10.5194/hess-14-2367-2010>
3. Rouholahnejad Freund E., Abbaspour K.C., Lehmann A. Water resources of the Black Sea catchment under future climate and landuse change projections. *Water*. 2017. **9**, №. 8. <https://doi.org/10.3390/w9080598>

4. Лобода Н.С., Козлов М.О. Оцінка водних ресурсів річок України за середніми статистичними моделями траєкторій змін клімату RCP4.5 та RCP8.5 у період 2021–2050 роки. *Укр. гідрометеорол. журн.* 2020. Вип. 25. С. 93–104. <https://doi.org/10.31481/uhmj.25.2020.09>
5. Jacob D., Petersen J., Eggert B., Alias A., Bøssing Christensen O., Bouwer L.M., Braun A., Colette A., Déqué M., Georgievski G., Georgopoulou E., Gobiet A., Menut L., Nikulin G., Haensler A., Hempelmann N., Jones C., Keuler K., Kovats S., Kröner N., Kotlarski S., Kriegsmann A., Martin E., van Meijgaard E., Moseley C., Pfeifer S., Preuschmann S., Radermacher C., Radtke K., Rechid D., Rounsevell M., Samuelsson P., Somot S., Soussana J.-F., Teichmann C., Valentini R., Vautard R., Weber B., Yiou P. EURO-CORDEX: new high-resolution climate change projections for European impact research. *Reg. Environ. Change.* 2014. **14**, №. 2. P. 563–578. <https://doi.org/10.1007/s10113-013-0499-2>
6. Набиванець Ю.Б., Осадча Н.М., Гребінь В.В., Василенко Є.В., Кошкіна О.В. Розроблення плану управління районом річкового басейну Дніпра в Україні: фаза 1, крок 1 – опис характеристик району річкового басейну. Київ, 2019. URL: https://www.euwipluseast.eu/images/2019/07/PDF/2_UA_EUWI_Dnipro_20190226_web_c.pdf. (Дата звернення: 01.03.2021).
7. Cornes R.C., van der Schrier G., van den Besselaar E.J.M., Jones P.D. An ensemble version of the E-OBS temperature and precipitation data sets. *J. Geophys. Res. Atmos.* 2018. **123**, № 17. P. 9391–9409. <https://doi.org/10.1029/2017JD028200>
8. Чорноморець Ю.О., Гребінь В.В. Внутрішньорічний розподіл окремих елементів водного балансу річок басейну Десни (в межах України) та їх багаторічні коливання. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія.* 2010. **18**. С. 98–106.
9. Moss R. H., Edmonds J.A., Hibbard K.A., Manning M.R., Rose S.K., van Vuuren D.P., Carter T.R., Emori S., Kainuma M., Kram T., Meehl G.A., Mitchell J.F.B., Nakicenovic N., Riahi K., Smith S.J., Stouffer R.J., Thomson A. M., Weyant J. P., Wilbanks T. J. The next generation of scenarios for climate change research and assessment. *Nature.* 2010. **463**, № 7282. P. 747–756. <https://doi.org/10.1038/nature08823>
10. Schwalm C.R., Glendon S., Duffy P.B. RCP8.5 tracks cumulative CO₂ emissions. *Proc. Nat. Acad. Sci.* 2020. **117**, № 33. P. 19656–19657. <https://doi.org/10.1073/pnas.2007117117>
11. Arnold J.G., Moriasi D.N., Gassman P.W., Abbaspour K.C., White M.J., Srinivasan R., Santhi C., Harmel R.D., van Griensven A., Van Liew M.W., Kannan N., Jha M.K. SWAT: Model use, calibration, and validation. *Trans. ASABE.* 2012. **55**, № 4. P. 1491–1508. <https://doi.org/10.13031/2013.42256>
12. Осипов В.В., Спека А.С., Осадчий В.І., Осадча Н.М., Бончковський А.С. Прогнозування гідрографа водного стоку засобами SWAT (Soil and Water Assessment Tool) на прикладі басейну Десни. *Допов. Наук. акад. наук Укр.* 2020. № 9. С. 98–107. <https://doi.org/10.15407/dopovidi2020.09.098>
13. Осадча Н.М. Закономірності міграції гумусових речовин у поверхневих водах України: дис. д-ра геогр. наук / УкрНДГМІ. Київ, 2012.
14. Осадча Н., Набиванець Ю., Гребінь В., Афанасьєв С., Ухань О., Лузовіцька Ю., Осипов В., Клебанов Д., Ярошевич О., Василенко Є., Кошкіна О., Данько К., Мудра К., Білецька С., Рогожина А. Розроблення плану управління басейну Дніпра в межах України: фаза 1, крок 2 – аналіз антропогенного навантаження та його впливу, оцінка ризику, екологічні цілі для масивів поверхневих вод. Київ, 2020. URL: https://www.euwipluseast.eu/en/images/2020/07/PDF/EUWI_UA_RBMP_Dnipro_Risk_Surface_Water_UKR.pdf (Дата звернення: 01.03.2021).
15. Common implementation strategy for the water framework directive (2000/60/EC). Guidance document No. 24. River basin management in a changing climate. European Communities. 2009. URL: https://ec.europa.eu/environment/water/water-framework/facts_figures/guidance_docs_en.htm (Дата звернення: 01.03.2021).

Надійшло до редакції 02.03.2021

REFERENCES

1. European Environment Agency. (2017). Climate change, impacts and vulnerability in Europe 2016. An indicator-based report. Luxembourg. Publications Office of the European Union. <https://doi.org/10.2800/534806>
2. Stahl, K., Hisdal, H., Hannaford, J., Tallaksen, L. M., van Lanen, H. A. J., Sauquet, E., Demuth, S., Fendekova, M. & Jódar, J. (2010). Streamflow trends in Europe: evidence from a dataset of near-natural catchments. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 14, No. 12, pp. 2367–2382. <https://doi.org/10.5194/hess-14-2367-2010>

3. Rouholahnejad Freund, E., Abbaspour, K. C. & Lehmann, A. (2017). Water resources of the Black Sea catchment under future climate and landuse change projections. *Water*, 9, No. 8. <https://doi.org/10.3390/w9080598>
4. Loboda, N. S. & Kozlov, M. O. (2020). Assessment of water resources of the Ukrainian rivers according to the average statistical models of climate change trajectories RCP4.5 and RCP8.5 over the period of 2021 to 2050. *Ukr. Hydrometeorol. J.*, Iss. 25, pp. 93-104 (in Ukrainian). <https://doi.org/10.31481/uhmj.25.2020.09>
5. Jacob, D., Petersen, J., Eggert, B., Alias, A., Bössing Christensen, O., Bouwer, L. M., Braun, A., Colette, A., Déqué, M., Georgievski, G., Georgopoulou, E., Gobiet, A., Menut, L., Nikulin, G., Haensler, A., Hempelmann, N., Jones, C., Keuler, K., Kovats, S., Kröner, N., Kotlarski, S., Kriegsmann, A., Martin, E., van Meijgaard, E., Moseley, C., Pfeifer, S., Preuschmann, S., Radermacher, C., Radtke, K., Rechid, D., Rounsevell, M., Samuelsson, P., Somot, S., Soussana, J.-F., Teichmann, C., Valentini, R., Vautard, R., Weber, B. & Yiou, P. (2014). EURO-CORDEX: new high-resolution climate change projections for European impact research. *Reg. Environ. Change*, 14, No. 2, pp. 563-578. <https://doi.org/10.1007/s10113-013-0499-2>
6. Nabyvanets, Y.B., Osadcha, N.M., Hrebin, V.V., Vasylenko, Y.V. & Koshkina, O.V. (2019). Development of draft river basin management plan for Dnipro river basin in Ukraine: Phase 1, step 1 – description of the characteristics of the river basin. Kyiv. Retrieved from https://www.euwipluseast.eu/images/2019/07/PDF/1_EN_EUWI_Dnipro_20190226_web.pdf
7. Cornes, R.C., van der Schrier, G., van den Besselaar, E.J.M. & Jones, P.D. (2018). An ensemble version of the E-OBS temperature and precipitation data sets. *J. Geophys. Res. Atmos.*, 123, No. 17, pp. 9391-9409. <https://doi.org/10.1029/2017JD028200>
8. Chornomoretz, Yu. & Grebin', V. (2010). Elements of water river balance annual distribution of Desna Basin and their annual fluctuations. *Hidrolohiiia, Hidrokhimiiia i Hidroekolohiiia*, 18, pp. 98–106 (in Ukrainian).
9. Moss, R. H., Edmonds, J. A., Hibbard, K. A., Manning, M. R., Rose, S. K., van Vuuren, D. P., Carter, T. R., Emori, S., Kainuma, M., Kram, T., Meehl, G. A., Mitchell, J. F. B., Nakicenovic, N., Riahi, K., Smith, S. J., Stouffer, R. J., Thomson, A. M., Weyant, J. P. & Wilbanks, T. J. (2010). The next generation of scenarios for climate change research and assessment. *Nature*, 463, No. 7282, pp. 747-756. <https://doi.org/10.1038/nature08823>
10. Schwalm, C. R., Glendon, S. & Duffy, P. B. (2020). RCP8.5 tracks cumulative CO₂ emissions. *Proc. Nat. Acad. Sci.*, 117, No. 33, pp. 19656-19657. <https://doi.org/10.1073/pnas.2007117117>
11. Arnold, J.G., Moriasi, D.N., Gassman, P.W., Abbaspour, K.C., White, M.J., Srinivasan, R., Santhi, C., Harmel, R.D., van Griensven, A., Van Liew, M.W., Kannan, N. & Jha, M.K. (2012). SWAT: Model use, calibration, and validation. *Trans. ASABE*, 55, No. 4, pp. 1491–1508. <https://doi.org/10.13031/2013.42256>
12. Osypov, V. V., Speka, O. S., Osadchyi, V. I., Osadcha, N. M. & Bonchkovskiy, A. S. (2020). Hydrograph forecasting using the SWAT model (Soil and Water Assessment Tool) on the example of the Desna basin. *Dopov. Nac. akad. nauk Ukr.*, No. 9, pp. 98-107 (in Ukrainian). <https://doi.org/10.15407/dopovidi.2020.09.098>
13. Osadcha, N.M. (2011). Regularities of humic substances migration in surface waters of Ukraine (Unpublished Doctoral thesis). *UkrNDGMI*, Kyiv, Ukraine (in Ukrainian).
14. Osadcha, N., Nabyvanets, Y., Grebin, V., Afanasev, S., Ukhan, O., Luzovitska, Y., Osypov, V., Klebanov, D., Yaroshevych, O., Vasylenko, Ye., Koshkina, O., Danko, K., Mudra, K., Biletska, S. & Rogozhyna, A. (2020). Development of draft river basin management plan for Dnipro river basin in Ukraine: Phase 1, step 2 – analysis of pressures & impact, risk assessment, environmental objectives for surface water bodies. Kyiv. Retrieved from https://www.euwipluseast.eu/en/images/2020/07/PDF/EUWI_UA_RBMP_Dnipro_Risk_Surface_Water_UKR.pdf
15. European Communities. (2009). Common implementation strategy for the water framework directive (2000/60/EC). Guidance document No. 24. River basin management in a changing climate. Retrieved from https://ec.europa.eu/environment/water/water-framework/facts_figures/guidance_docs_en.htm

Received 02.03.2021

V.V. Osypov, N.M. Osadcha, V.I. Osadchyi

Ukrainian Hydrometeorological Institute SES of Ukraine and NAS of Ukraine, Kyiv

E-mail: valery_osipov@ukr.net, nosad@uhmi.org.ua

CLIMATE CHANGE AND WATER RESOURCES
OF THE DESNA RIVER BASIN TILL
THE MIDDLE OF THE XXI CENTURY

This study presents the projections of temperature, precipitation, evapotranspiration, soil water, water flow components, and discharge changes in the streams across the Desna river basin in 2021-2050 against 1991-2020. Hydrological processes were simulated by the process-based SWAT (Soil and Water Assessment Tool) model. The predicted weather parameters (daily air temperature, precipitation, wind speed, humidity, and soil radiation) were loaded from regional climate models (RCMs) of the Euro-CORDEX initiative. The ensemble includes six RCMs, each was evaluated to represent the annual cycle of temperature and precipitation for the historical period (1970-2005). For the future period, we simulated two representative concentration pathway (RCP) scenarios – RCP4.5 and RCP8.5.

Most of the scenarios project the precipitation increase by 5-10 % in winter and spring that causes the annual water discharge increase by 5-33 %, mostly due to the higher groundwater flow. We expect the same level or decrease of spring maximum discharge because of warming and a lower snow cover accumulation. The probability of droughts increases, because three of six RCMs project soil water loss by 10-20 % in summer.

The results are useful for the Dnipro river basin management plan. Particular attention should be paid to adaptation measures in agriculture due to the possible lack of moisture for the plant growth.

Keywords: *climate change, water flow, soil water, Desna river, SWAT.*