

ПРОСТОРОВО-ЧАСОВІ ЗАКОНОМІРНОСТІ ФОРМУВАННЯ КЛІМАТИЧНИХ УМОВ НА ТЕРИТОРІЇ БАСЕЙНУ РІЧКИ СЛУЧ

Пічура В.І., Потравка Л.О.

Херсонський державний аграрно-економічний університет

вул. Стрітенська, 23, 73006, м. Херсон

pichuravitalii@gmail.com

Зміни клімату є важливим глобальним викликом людства, який потребує міждисциплінарного підходу у його подоланні. Кліматичні зміни проявляються в інтенсивності та частоті кліматичних аномалій, екстремальних погодних явищ на різних рівнях ієрархії у просторі і часі. Зокрема, аналіз наявних джерел показав, що питання вивчення та моделювання можливих змін клімату й оцінки його впливу на функціонування екосистем річкових басейнів із метою розроблення та ведення нових адаптаційних заходів на різних рівнях господарювання залишаються актуальними та недостатньо дослідженими. Тому метою досліджень було є багаторічне дослідження та встановлення просторово-часових закономірностей формування кліматичних умов на території басейну річки Случ. Дослідження ґрунтувалися на даних аналізу кліматичних змін за 1901–2022 рр. та дешифруванні актуальних супутникових знімків космічного апарату Landsat 2. Встановлено, що в останні 120 років річна сума атмосферних опадів у межах водозбірної басейну варіювала від 487 мм до 716 мм. Зокрема, за останні 40 років середньорічна температура на території водозбору у середньому збільшилася на 1,9°C, що призвело до значного підвищення евапотранспіраційних процесів (ET_0) від 1,79 мм/день до 2,25 мм/день, зниження вологозабезпеченості басейнових ландшафтних і аквально-територіальних структур. Просторово-часова варіація ET_0 є важливим індикатором посухи, показником змін у формуванні водного режиму, вологозабезпечення басейнових ландшафтних структур, рівня споживання води рослинами, об'єму водного сліду на вирощування агрокультур тощо. Встановлено, що басейн річки Случ на теперішній час залишається добре вологозабезпеченим природним регіоном, але тенденції глобального потепління засвідчують про неминучість збільшення площі водозбору із сухим субгумідним кліматом у верхній частині басейну річки, що обумовить зменшення водності та призведе до імовірного пересихання малих водотоків у верхів'ї русла річки Случ. Зокрема, кліматичні проблеми верхньої частини водозбору посилюються високим рівнем антропогенно-порушених земель (сільськогосподарські угіддя і населені пункти) на рівні 68,9% та обмеженістю природних угідь (лісовкриті землі та інша природна рослинність, водно-болотні угіддя) – 31,1%. Тому одержані результати є необхідними для встановлення просторово-часових закономірностей формування водно-балансової стійкості басейну річки та обґрунтування збалансованого природокористування за умов змін клімату та антропогенного навантаження. *Ключові слова:* клімат, евапотранспірація, індекс аридності, басейн річки, моделювання, річка Случ.

Spatio-temporal patterns of the formation of climate conditions in the Sluch river basin. Pichura V., Potravka L.

Climate change is a critical global challenge requiring an interdisciplinary approach to address. These changes manifested in the intensity and frequency of climate anomalies and extreme weather conditions across different hierarchical levels in space and time. An analysis of available sources has shown that the study and modeling of potential climate change and its impact on the functioning of river basin ecosystems, along with the development and implementation of adaptation measures at various levels of governance, remain pertinent and inadequately researched. Therefore, the aim of this research was to conduct a long-term study and establish the spatial-temporal patterns in the formation of climate conditions within the territory of the Sluch River basin. The research was based on an analysis of climate changes from 1901 to 2022 and the interpretation of current satellite images from the Landsat 2. The findings reveal that over the past 120 years, the annual sum of atmospheric precipitation within the water basin has varied from 487 mm to 716 mm. Specifically, over the last 40 years, the average annual temperature in the watershed area increased by 1.9 °C, leading to a significant rise in evapotranspiration processes (ET_0) from 1.79 mm/day to 2.25 mm/day and a decrease in the moisture supply of basin landscape and aquatic territorial structures. The spatial-temporal variation of ET_0 is a crucial indicator of drought, changes in water regime formation, moisture supply of basin landscape structures, plant water consumption levels, and water footprint for crop cultivation. It was established that, the Sluch River basin remains well-supplied with natural moisture, however, global warming trends suggest an inevitable increase of the catchment area with a dry subhumid climate in the upper part of the river basin, which will result the reduction of water availability and potential drying of small streams in the upper reaches of the Sluch River. Climate problems in the upper part of the catchment area are exacerbated by a high level of anthropogenically disturbed lands (agricultural land and settlements) at 68.9% and the limitation of natural lands (forest-covered lands and other natural vegetation, wetlands) at 31.1%. Therefore, the obtained results are essential for establishing the spatial-temporal patterns in the formation of water balance stability in the Sluch River basin and for justifying balanced natural resource management under the conditions of climate change and anthropogenic pressure. *Key words:* climate, evapotranspiration, aridity index, river basin, modeling, Sluch River.

Постановка проблеми. Спрямована зміна клімату являється один із найважливіших сучасних глобальних викликів, який виходить за рамки наукових досліджень і представляє собою комплексну міждисциплінарну проблему, що охоплює екологічні, економічні, соціальні аспекти сталого розвитку країн світу

[1, 2]. За останні 30 років значно збільшилася частота та інтенсивність небезпечних погодних явищ [3–5], які є причиною суттєвих економічного збитку [6, 7], загрожують існуванню басейнових ландшафтних [8–10] і аквально-територіальних екосистем [11–12], здоров'ю та життю людей [13–15]. Висновки багатьох учених

свідчать про те, що кліматичні зміни, які частішають, можуть у майбутньому призвести до ще більш непередбачуваних наслідків, якщо людство не буде вживати відповідні попереджувальні заходи. Тому, актуальності набуває збалансоване управління природними ресурсами у розбудові кліматично орієнтованого господарювання [16, 17], розбудова якого потребує вибору особливої просторової одиниці біосфери. У цьому контексті для визначення просторово-часових закономірностей організації та взаємозв'язків стабілізуючих (природне середовище) та дестабілізуючих (антропогенне середовище) компонентів екосистем обрано басейн річки [18–20]. Зокрема, визначальним фактором формування та гідрофункціонування басейнів є рельєф місцевості та кліматичні характеристики території [21]. Перевищення кількості надходження атмосферних опадів над величиною випаровування та фільтрації води у ґрунті обумовлюють баланс поверхневого стоку води з території водозбору та її акумуляції у руслових системах [22, 23].

На басейновому рівні здійснюється найважливіша функція взаємозв'язків складових (біотичних і абіотичних) екосистем, між якими існують генетичні, історичні та функціональні зв'язки, виражені безперервним обміном речовин, енергії та інформації [24]. Закономірності фізичної організації функціонування басейнів визначаються стоком поверхневих вод і стоком твердої речовини, які залежать від кліматичних характеристик та антропогенним навантаженням на водозбір [25, 26]. До основних антропогенних чинників, які визначають рівень гідрофункціонування басейну річки, відносять промисловий комплекс [27], сільське господарство [28] та комунальну галузь [29]. Провідне й найпотужніше за масштабами проявів природокористування є сільське господарство, яке зумовлює масштабну агрогенну трансформацію басейнових ландшафтних структур і значне підвищення ґрунтово-ерозійної міграції високотоксичних і біогенних речовин, погіршує екологічний стан водозбору та ерозійно-руслових систем за межами первинних осередків забруднення [30, 31].

Проблеми сьогодення, зумовлені дефіцитом прісної води, можуть посилитися у майбутньому по причині зростання потреб у водних ресурсах, обмеженні їх доступності та зниженні якості. Зокрема, тривалий дефіцит опадів на водозбірній території спричиняє метеорологічну посуху [32], в подальшому проявляється зниженням вологості ґрунту, що посилюється випаровуванням стоку [33], що порушує стан екологічної системи басейну річки. Тому, в умовах змін клімату і нестабільного волого забезпечення, важливим питанням є забезпечення збалансованого функціонування водогосподарської галузі, що виражатиметься удосконаленням системи оцінювання та раціонального використання наявних водних ресурсів як складової цілісної системи у структурі басей-

нового природокористування, охорони довкілля та якості життєзабезпечення на основі сучасних методологій.

Аналіз наявних джерел показав, що питання вивчення та моделювання можливих змін клімату й оцінки його впливу на функціонування екосистем річкових басейнів із метою розроблення та ведення нових адаптаційних заходів на різних рівнях господарювання залишаються актуальними та недостатньо дослідженими. Зокрема, забезпечення збалансованого водокористування на агроландшафтах водозбірної території річки повинно ґрунтуватися на розрахунках співвідношенні надходження атмосферних опадів та обсягів водних ресурсів [34, 35].

Метою дослідження є багаторічне дослідження та встановлення просторово-часових закономірностей формування кліматичних умов на території басейну річки Случ.

Матеріали і методи досліджень

Матеріали досліджень. Для виділення водотоків, визначення їх порядків і встановлення меж водозбірної території басейну річки Случ була використана цифрова модель рельєфу (ЦМР) на основі даних *SRTM-90* із просторовою роздільною здатністю 90×60 м/пік сель, яка була представлена на офіційному сайті геологічної служби США (<https://earthexplorer.usgs.gov/>). Дослідження виконано за допомогою програми *ArcGIS* на основі ЦМР з використанням удосконаленого алгоритму [18, 36] гідрологічного геомоделювання робочого модуля *Hydrologytools of Spatial Analyst Tools*. Для поділу річкового басейну на групи, в залежності від порядку головного русла, використано підхід Стралера-Філософова [37].

Структура земель басейну Случ розрахована на основі даних супутникового знімку космічного апарату *Landsat 2* (роздільна здатність 10 м/піксель) станом на 15–16.10.2022 р. із застосуванням методу “land use land cover (LULC)” of *ArcGIS*. Просторово-часові закономірності зміни кліматичних умов на водозбірній території басейну річки у період 1901–2022 рр. встановлені на основі даних *Climatic Research Unit of the University of East Anglia* (<https://crudata.uea.ac.uk/cru/data/hrg/>) і даних *NASA POWER* (<https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>).

Характеристика території досліджень. Річка Случ бере початок з невеликого озера, що живиться підземними водами, розташованого в балці і 1 км на схід села Червона Случ Хмельницької області України на висоті 320 м над рівнем моря (рис. 1). Річка Случ впадає з правої притоки до річки Горинь у межах села Лютинськ Рівненської області. Загальна довжина річки складає 451 км, площа водозбірного басейну становить 13,83 тис. км², падіння русла 183 м (рис. 1б).

Висоти рельєфу у межах басейн річки від її витoku до гирла змінюється від 376 м до 137 м (рис. 1в), середній ухил водної поверхні рівний, 0,4%. Верхня частина басейну являє собою підвищену рівнину,

розчленовану врізаними річковими долинами довжиною 50–100 м та густою ярово-балковою мережею. Середня густина річкової мережі складає 0,39 км/км², у верхній частині басейну Случ, густина річкової мережі сягає 0,7 км/км². Морфометрія басейну має витягнуту з півдня на північ форму, довжиною 300 км, із середньою та найбільшою шириною відповідно 46 км та 110 км. Територія водозбору річки розташована у двох геоморфологічних областях, а саме: верхня і середня частини басейну знаходяться на Волинсько-Подільській височині та її відрогах, яка має назву Волинське полісся; нижня частина водозбору знаходиться у межах великої рівнини Полісся (Прип'ятське Полісся).

Русло річки звивисте, подекуди має круті береги з висотами від 20–40 м до 50 м, місцями береги помірно круті, рідше пологі з висотами 5–15 м. Долина сягає ширини 1,5–5,0 км у нижній

течії. Заплава двостороння, поросла лучною рослинністю, місцями заболочена. Лісистість басейну становить – 30,8%, інша рослинність (луки, ремізи, позахисні лісосмуги, рослинність на ярово-балкових землях) – 10,7%, заболоченість – 13,0%, водойми – 0,3%, сільськогосподарські угіддя – 39,7%, населені пункти – 5,4% (рис. 1з).

На річці Случ, у місті Новоград-Волинському, побудоване водосховище з об'ємом води 1,8 млн м³ (площею 95,5 га), яке використовується для господарської діяльності і комунального господарства. Споживання води становить 1,96 млн м³/рік [38]. Річка Случ використовується як джерело гідроенергії (Миропільська ГЕС, Любарська ГЕС, Пединківська ГЕС). Ставки у межах басейну Случ мають рибогосподарське призначення. Розподіл стоку протягом року нерівномірний, залежить від кількості надходження атмосферних опадів та тем-

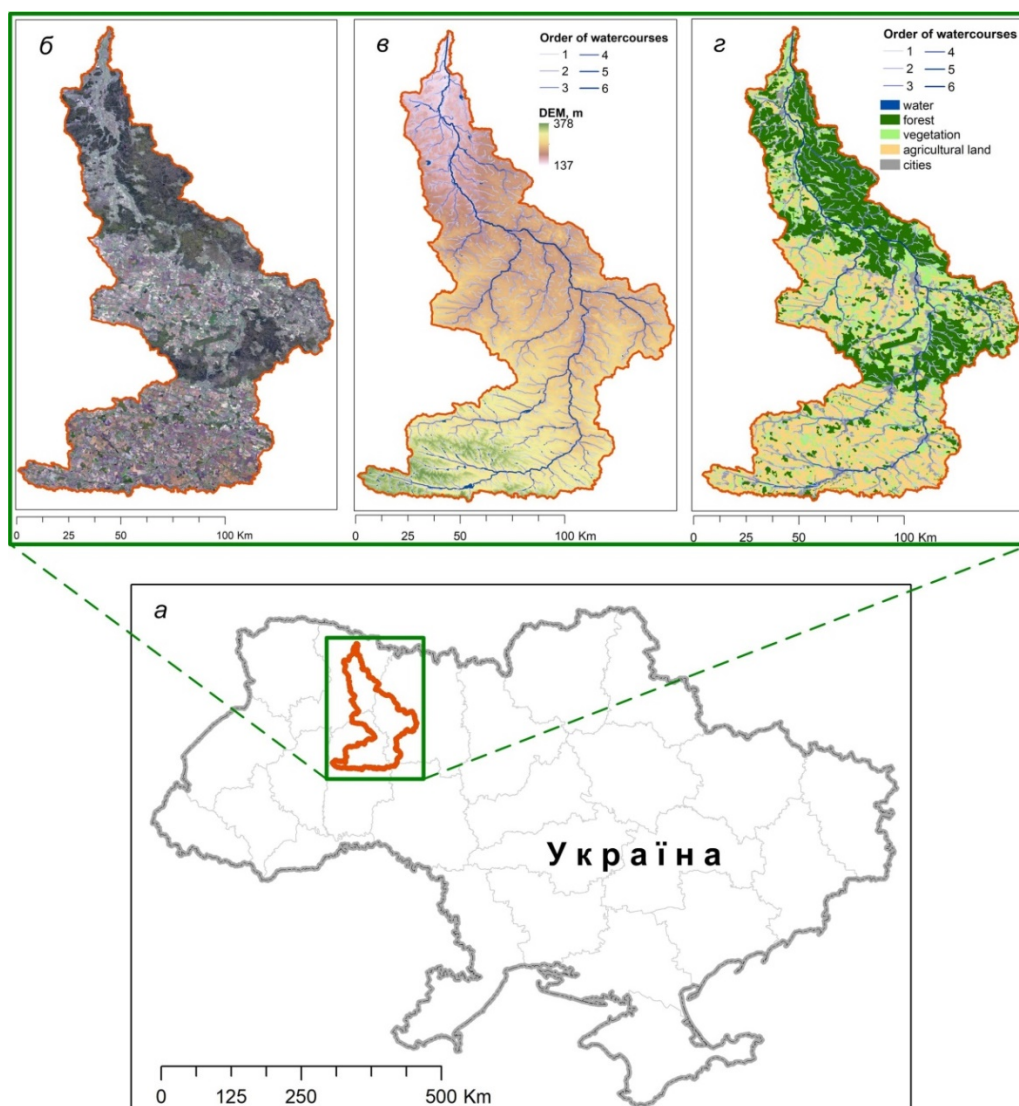


Рис. 1. Просторове розміщення та характеристика басейну річки Случ: а – розміщення на території України; б – супутниковий знімок з космічного апарату Landsat 2 станом на 15–16.10.2022 р.; в – цифрова модель рельєфу та розподіл гідромережі в межах басейну; г – структура земельних угідь

пературного режиму повітря. Більша частина стоку фіксується у період весняної повені, у межах 40–80% річкового стоку. У літню межень річка переважно живиться підземними водами [39]. У літньо-осінній період часто спостерігаються дощові паводки. Найбільший запас води у снігу рівний 102 мм, середній – 47 мм, забезпечений на 10% – 86 мм, на 25% – 65 мм. Сума річних опадів для 50% років досліджень становить 562 мм, для 75% – 481 мм, для 95% років – 401 мм. Швидкість течії річки при проходженні максимальних втрат води досягає 1,0–1,4 м/с, в межень середні швидкості складають 0,3–0,5 м/с. Мінералізація поверхневих вод у середньому становить: у весняну повінь – 313 мг/дм³; літньо-осінню межень – 321 мг/дм³; зимову межень – 349 мг/дм³. За комплексною екологічною оцінкою в період 2005–2021 років, якість поверхневих вод р. Случ у більшості випадків відбору проб вода віднесено до II класу – стан «добрий», з перевищенням вмісту азоту нітратного, показника БСК₅ (біохімічного споживання кисню в продовж п'яти днів) та фосфору фосфатів [40], що свідчить про присутність у складі води досліджуваної річки біогенних елементів антропогенного походження.

Метод розрахунку Aridity Index (AI). AI є показником посушливості, який визначається на основі співвідношення щорічних опадів (P) до щорічних значень еталонної евапотранспірації (ET_0) за формулою [41]:

$$AI = P / ET_0 \quad (1)$$

Індекс AI можна визначити як біокліматичний індекс, оскільки він враховує як фізичні явища (опади та випаровування), так і біологічні процеси (транспірацію рослин). Крім того, індекс є одним із найбільш актуальних показників для вивчення процесів опустелювання [42]. Як правило, значення AI нижче 0,5 визначають посушливі або напівпосушливі території, тоді як значення понад 0,65 засвідчує вологі та гіпервологі зони, як наведено у таблиці 1.

Aridity Index використовується United Nations Environment Programme (<http://www.unep.org/>), Food and Agriculture Organization (<http://www.fao.org/>) і United Nations Convention to Combat Desertification (<http://www.unccd.int/main.php>) для класифікації клімату, оцінки забезпеченості атмосферними опадами та управління зрошенням на певній території досліджень.

Обробку космічних знімків, створення картограм, просторово-часовий аналіз проводили із використанням ліцензійного програмного продукту ArcGis 10.6 та Microsoft Excel 2010.

Виклад основного матеріалу. Швидкість розвитку рослинного покриву та час досягнення ним ефективного повного покриву залежать від погодних умов в цілому та атмосферних опадів і температури повітря зокрема. Тому, тривалість часу між посівом та ефективним повним покриттям агроценозів, рівень водоспоживання, тривалість окремих фенологічних фаз рослин та урожайність, змінюється залежно від клімату, фізико-географічних умов місцевості (широти, висоти), дати висіву, сортових особливостей культури та рівня агротехнологічних заходів. Після досягнення ефективного повного покриття рослинного покриву швидкість фенологічного розвитку (цвітіння, розвиток насіння або зерна, дозрівання та відмирання) залежить від генотипу рослини та пластичності агроценозів до кліматичних умов. Відсутність атмосферних опадів та високі температури скорочують термін фенологічних фаз, прискорюють дозрівання та відмирання рослин. Зокрема, тривала висока температура повітря (>35°C) та нестача вологи прискорюють швидкість дозрівання, скорочують тривалість середнього і пізнього періодів вегетації рослин, що є причиною зростання рівня значень евапотранспіраційних процесів, зниження продуктивності агроценозів та дефіциту ґрунтової вологи. Тому, комплексна оцінка умов зволоження будь-якої території, прогнозування урожайності, розрахунок водоспоживання та вологозабезпечення сільськогосподарських культур, здійснюється з урахуванням агрометеорологічних показників, зокрема: атмосферні опади, температура повітря, швидкість вітру, а також похідних показників (енергія клімату, вологість повітря, евапотранспірація, кліматичні коефіцієнти та індекси тощо).

Водозбірна територія басейну річки Случ входить до зони оптимального рівня зволоження та добрими умовами одержання високих урожаїв сільськогосподарських культур. За останні 120 років (рис. 2) річна сума атмосферних опадів у межах водозбірного басейну варіювала від 487 мм до 716 мм. Відносно низьке значення атмосферних опадів фіксується у районі витоку річки (487–586 мм), у середній частині головного русла значення становить від

Таблиця 1

Значення Aridity Index (AI)

Класифікація клімату	Aridity Index (AI)
Hyper-arid (гіперпосушливий)	≤0,05
Arid (посушливий)	0,05-0,20
Semi-arid (напівзасушливий)	0,20-0,50
Dry sub-humid (сухий субгумідних)	0,50-0,65
Humid (вологий)	0,65-0,75
Hyper-humid (гіпервологий)	>0,75

580 мм до 716 мм, у гирловій частині коливається в межах 590–630 мм. За період спостережень фіксувалося чотири десятилітніх періоди із максимальним значенням надходження атмосферних опадів і три із мінімальним значенням атмосферного вологозабезпечення (рис. 5а).

Фактором формування водності гідромережі, запасів ґрунтової вологи, величини водного сліду

при вирощуванні сільськогосподарських культур, тривалості фенологічних фаз рослин, активності евапотранспіраційних процесів є температура повітря. З 80-х років ХХ століття (рис. 5б) спостерігається поступове підвищення температурного режиму на території басейну річки Случ. За останні 40 років середньорічна температура на території водозбору у середньому збільшилася на 1,9 °С, що призвело до

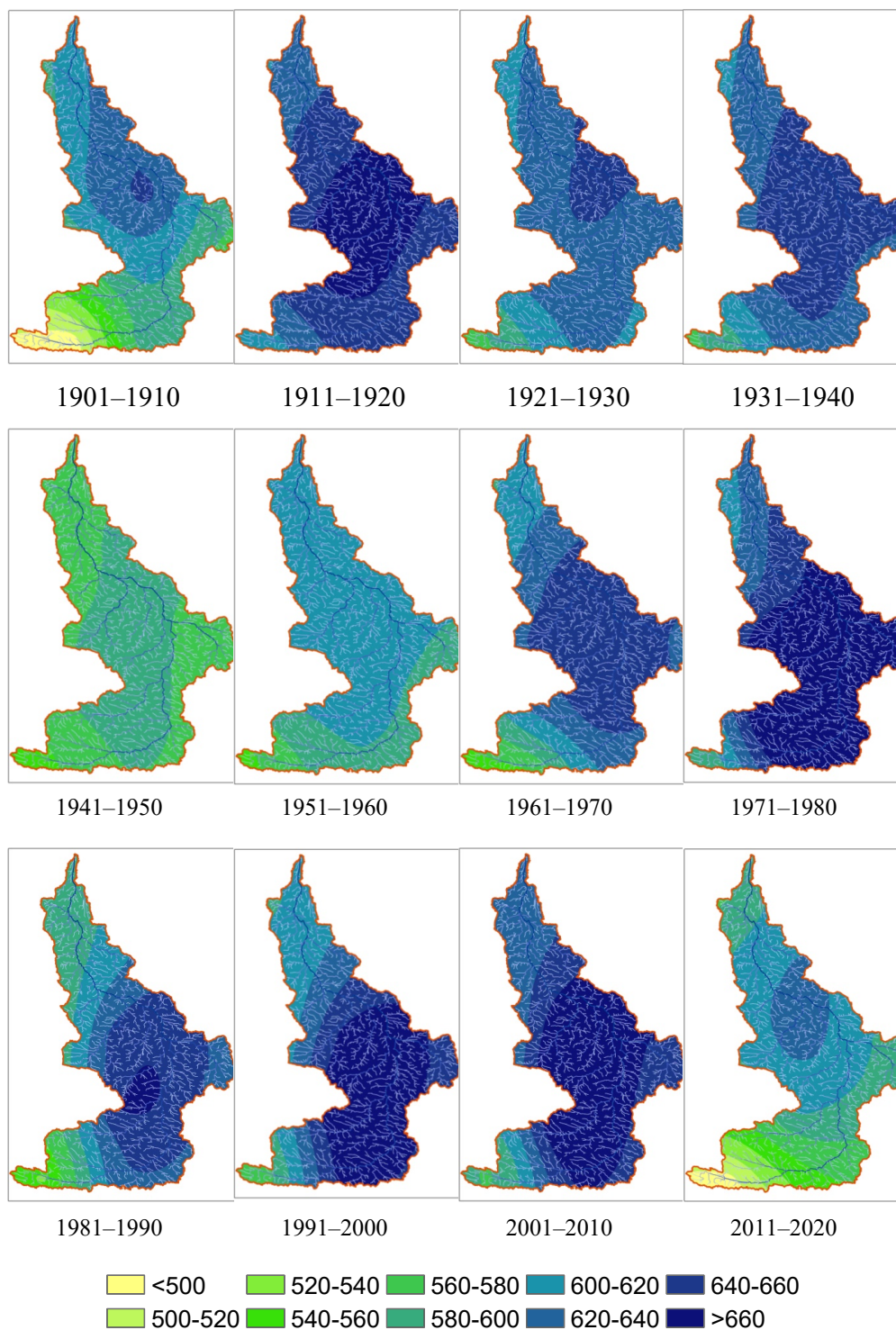


Рис. 2. Просторово-часова диференціація суми атмосферних опадів в межах басейну річки Случ в період 1901–2020 рр.

значного підвищення евапотранспіраційних процесів, зниження вологозабезпеченості басейнових ландшафтних і аквально-територіальних структур. Це також обмовило збільшення витрат водоспоживання агроценозів на формування однієї одиниці продукції (та/га).

Значення еталонної евапотранспірації (ET_0) на водозбірній площі річки Случ за останні 120 років

варіювало у межах 1,72–2,25 мм/день (рис. 3), його мінімальне значення фіксувалося у період вологих років: 1921–1930 рр – 1,79–1,94 мм/день і 1971–1980 рр – 1,72–1,88 мм/день (рис. 5б).

Максимальне значення ET_0 фіксується в останні 30 років, в межах 1,86–2,25 мм/день, що є закономірністю підвищення значення температури повітря і асинхронного зниження надходження атмосфер-

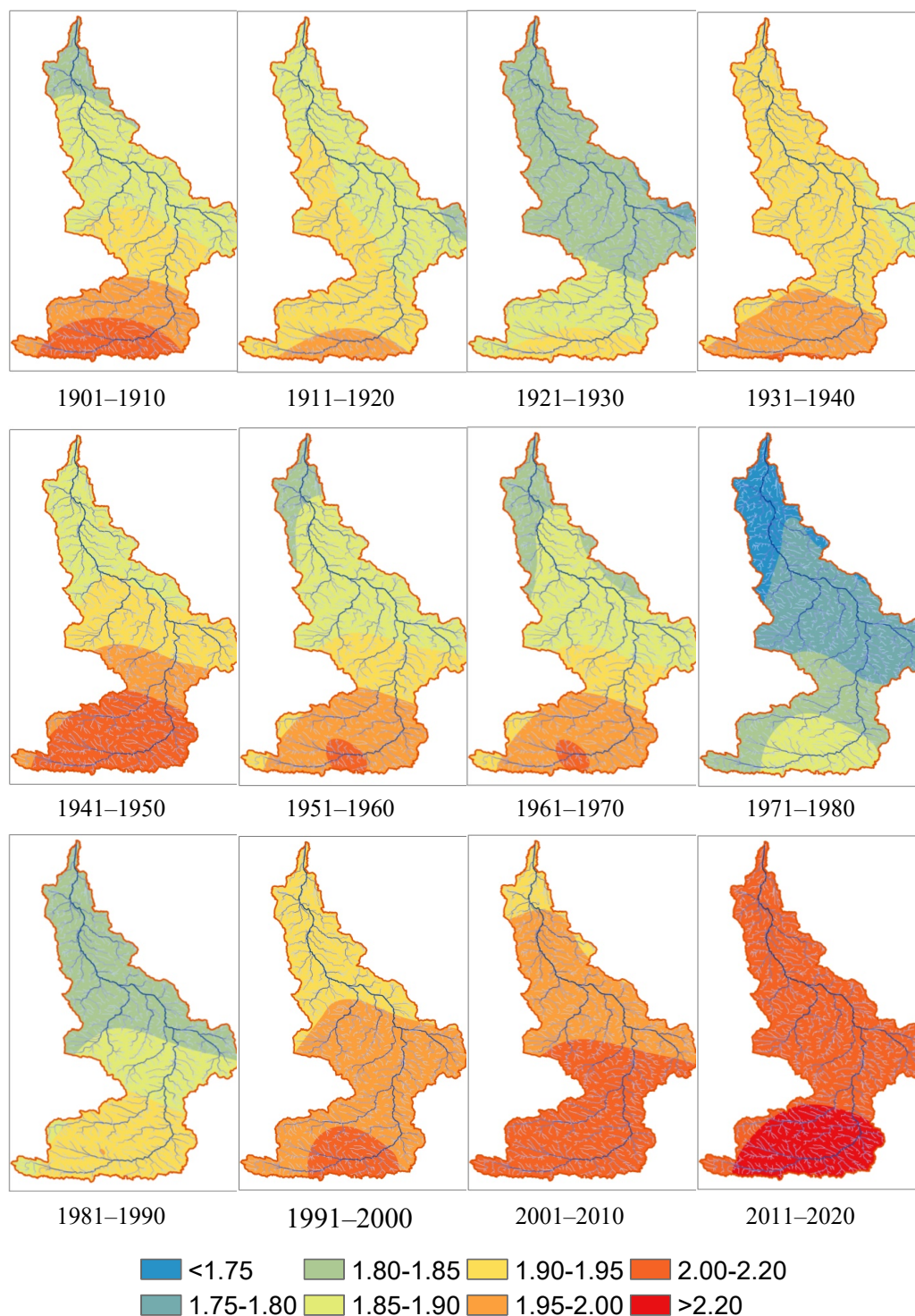


Рис. 3. Просторово-часова диференціація значення еталонної евапотранспірації (ET_0 , мм/день) в межах басейну річки Случ в період 1901–2020 рр.

них опадів. Високі значення еталонної евапотранспірації фіксувалися у межах басейнових ландшафтних і аквальних територіальних структур верхньої частини течії річки Случ – від 1,87 мм/день (вологий рік) до 2,25 мм/день (сухий рік). В межах басейну середньої течії річки значення ET_0 варіювало у межах 1,80–2,15 мм/день, у гирловій частині від 1,72 мм/день до 2,00 мм/день.

Просторово-часова варіація ET_0 є важливим індикатором посухи, показником змін у формуванні водного режиму, вологозабезпечення басейнових ландшафтних структур, рівня споживання води рослинами, об'єму водного сліду на вирощування

агроценозів тощо. Зокрема, посуха є кліматичним явищем стохастичної природи, що виникає внаслідок значного дефіциту опадів та екстремального підвищення температури повітря, які негативно впливають на функціонування басейнових ландшафтних і аквальних територіальних структур, зниження продуктивності агроценозів.

Посуха є частиною природного кліматичного циклу, яка може тривати кілька місяців або років, це складне явище, частота проявів якої в останні роки суттєво збільшилася і несе негативні екологічні та соціально-економічні наслідки для регіонів її прояву. Посуха, є результатом поєднання природ-

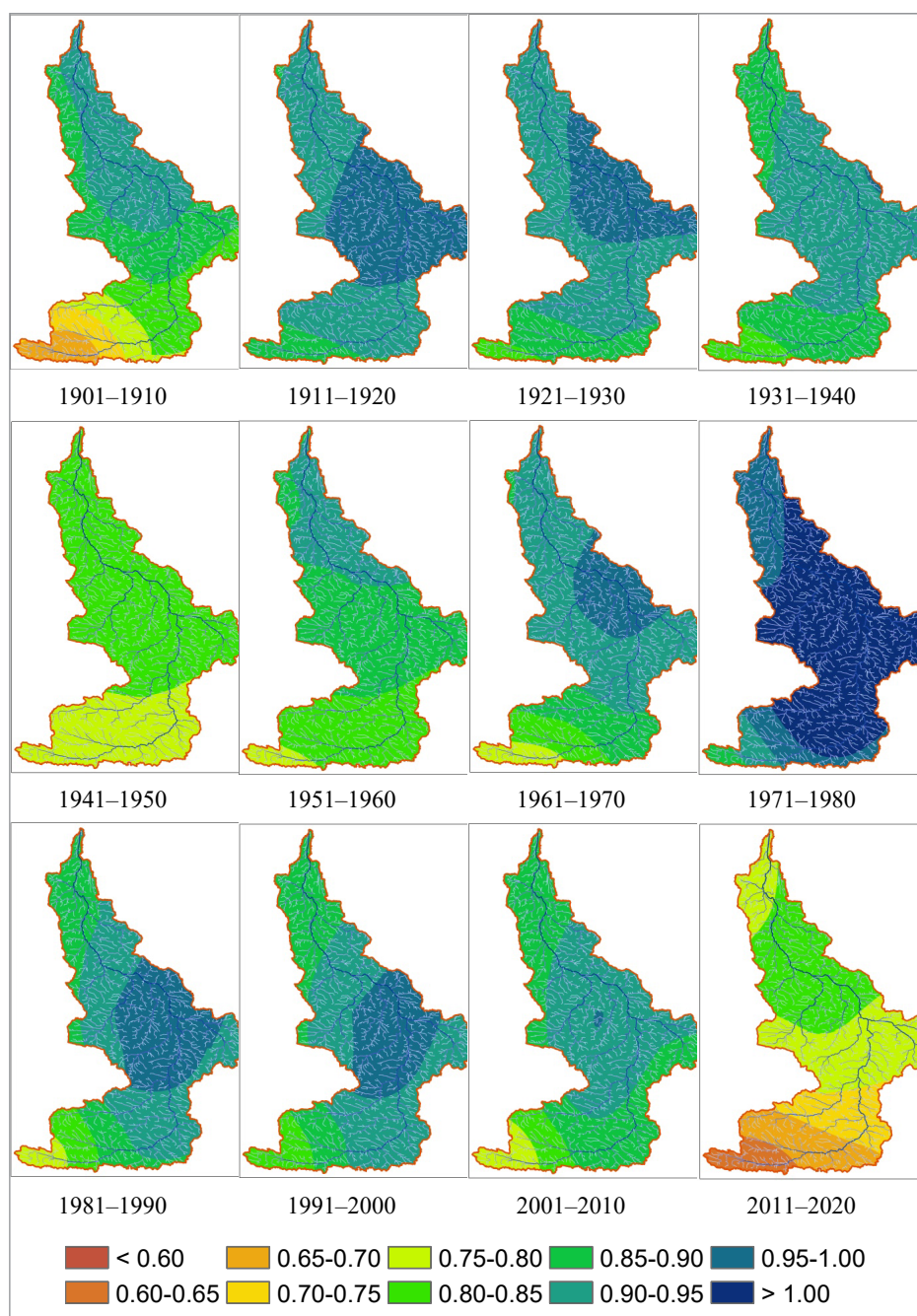


Рис. 4. Просторово-часова диференціація значення Aridity index (AI) в межах басейну річки Случ у період 1901–2020 рр.

них і антропогенних факторів, яка спричиняє дефіцит води, погіршення властивостей обігу речовин у природних екосистемах та функціонування соціально-економічної сфери. Тому, визначення періодів та характеристик посухи дозволяють встановити рівень посухи, її циклічність і тенденції, встановити ризику від проявів, що допомагає окреслити коло заходів щодо протидії кліматичним змінам, що будуть реалізовуватися шляхом впровадження адаптивно-кліматичних технологій у різних сфери господарювання. У кліматології визначення різних типів посухи здійснюється за допомогою Індексу посухи, який характеризує рівень посухи на основі однієї або декількох кліматичних показників. Для цього використовується співвідношення кількості атмосферних опадів та еталонної евапотранспірації. Індекси посухи відображають просторово-часові закономірності та умови змін клімату, прояви аномалій сухості клімату, затримку гідрологічних впливів (втрати вологи з ґрунту та води з акваторій). Рівень посухи впливає на зменшення продуктивності агроценозів (т/га) та збільшення коефіцієнту водоспоживання ($\text{м}^3/\text{т}$), що характеризують просторово-часові зміни у водному сліді на вирощування сільськогосподарських культур.

Розрахунок Aridity Index (AI) дає можливість встановити просторово-часові закономірності зміни клімату, класифікувати їх, визначити періоди або років можливих проявів посухи та визначити тренд комплексної оцінки умов зволоження водозбірної території річки та надати агрометеорологічні характеристики урожаїв сільськогосподарських культур. За результатами просторово-часових розрахунків AI за останні 40 років на водозбірній території басейну річки Случ фіксується значне потепління та зниження вологозабезпеченості (рис. 4, рис. 5).

За 120 років спостережень значення AI варіювало від 0,61 до 1,08, клімат у межах басейну річки у переважну кількість років характеризувався як «Гіпервологий». Але зміни клімату у останні 10–15 років привели до значної просторової диференціації вологозабезпечення на водозбірній території річки Случ, зокрема: 33,5% території водозбору, яка знаходиться у межах верхньої течії річки, характеризується сухим субгумідним (6,5%) і вологим кліматом (27,0%). Хоча басейн річки Случ на теперішній час залишається добре вологозабезпеченим природним регіоном, але тенденції глобального потепління засвідчують про неминучість збільшення площі водозбору із сухим субгумідним кліма-

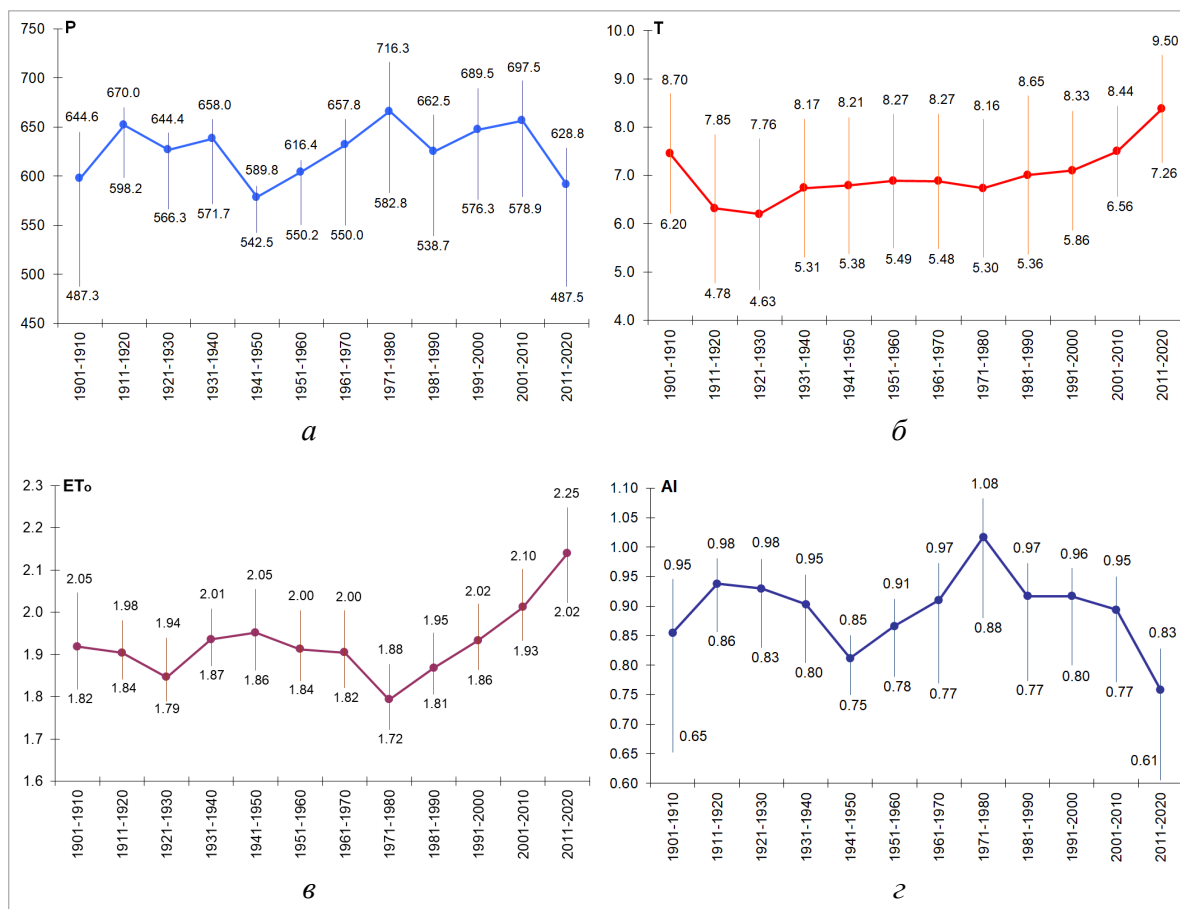


Рис. 5. Кліматичні характеристики водозбірної території річки Случ за період 1901–2020 рр.: а – сума атмосферних опадів за рік (P), мм; б – середньорічна температура повітря (T), °C; в – еталона евапотранспірація (ET_0 , mm/day); г – значення Aridity index (AI)

том у верхній частині басейну річки, що обумовить зменшення водності та призведе до імовірного пересихання малих водотоків у верхів'ї русла річки Случ. Зокрема, кліматичні проблеми верхньої частини водозбору посилюються високим рівнем антропогенно-порушених земель (сільськогосподарські угіддя і населені пункти) на рівні 68,9% та обмеженістю природних угідь (лісовкриті землі та інша природна рослинність, водно-болотні угіддя) – 31,1%. Варто зазначити, що природна рослинність виконує стабілізуючу та кліматично-регулюючу функцію для навколишнього середовища, сприяє зменшенню евапотранспіраційних процесів та проявів посух. У відповідності співвідношення «антропогенно-порушених земель і природних угідь» верхня частина водозбору характеризується «руйнівним» типом стану басейнових ландшафтних структур.

Висновок. На основі аналізу даних Climatic Research Unit of the University of East Anglia, NASA POWER та дешифрування космічних знімків супутникового апарату Sentinel 2 встановлено просторово-часові закономірності зміни клімату в межах басейну

річки Случ. Встановлено, що за останні 120 років сума атмосферних опадів за рік в межах водозбірної басейну річки Случ варіювала від 487 мм до 716 мм. За останні 40 років середньорічна температура на території водозбору в середньому збільшилася на 1,9 °C, що призвело до значного підвищення евапотранспіраційних процесів від 1,79 мм/день до 2,25 мм/день, зниження вологозабезпеченості басейнових ландшафтних і аквальних територіальних структур на 20–25%. Хоча басейн річки Случ на теперішній час залишається добре вологозабезпеченим природним регіоном, але тенденції глобального потепління засвідчують про неминучість збільшення площі водозбору із сухим субгумідним кліматом у верхній частині басейну річки, що обумовить зменшення водності та призведе до імовірного пересихання малих водотоків у верхів'ї русла річки Случ. Тому одержані результати є необхідними для встановлення просторово-часових закономірностей формування водно-балансової стійкості басейну річки та обґрунтування збалансованого природокористування за умов змін клімату та антропогенного навантаження.

Література

1. Пічуря В.І. Зональні закономірності вікових змін клімату на території басейну Дніпра. *Дніпропетровського державного аграрно-економічного університету*. 2017. № 2. С. 43–52.
2. Пічуря В.І., Потравка Л.О., Білошкурченко О.С., Вознюк Н.М. Закономірності багаторічних змін клімату у зоні Степу України. *Науковий збірник Національного університету водного господарства та природокористування*. 2022. № 3(99). С. 89–104.
3. Lisetskii F., Pichura V. Steppe Ecosystem Functioning of East European Plain under Age-Long Climatic Change Influence. *Indian Journal of Science and Technology*. 2016. Vol 9(18). P. 1–9. DOI: 10.17485/ijst/2016/v9i18/93780
4. Pichura V., Potravka L., Vdovenko N., Biloshkurenko O., Strachuk N., Baysha K. Changes in Climate and Bioclimatic Potential in the Steppe Zone of Ukraine. *Journal of Ecological Engineering*. 2022. Vol. 23(12). P. 189–202. <https://doi.org/10.12911/22998993/154844>
5. Asgarizadeh Z., Gifford R., Colborne L. Predicting climate change anxiety. *Journal of Environmental Psychology*. 2023. Vol. 90. 102087. <https://doi.org/10.1016/j.jenvp.2023.102087>
6. Mei H., Li Y.P., Suo C., Ma Y., Lv J. Analyzing the impact of climate change on energy-economy-carbon nexus system in China. *Applied Energy*. 2020. Vol. 262. 1144568. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.114568>
7. Koasidis K., Koutsellis T., Hexas G., Nikas A., Doukas H. Understanding expectations from and capabilities of climate-economy models for measuring the impact of crises on sustainability. *Journal of Cleaner Production*. 2023. Vol. 414. 137585. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.137585>
8. Lisetskii F., Polshina M., Pichura V., Marinina O. Climatic factor in long-term development of forest ecosystems. *International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM*. 2017. Vol. 17(32). P. 765–774.
9. Zhang Y., Wu T., Song C., Hein L., Shi F., Han M., Ouyang Z. Influences of climate change and land use change on the interactions of ecosystem services in China's Xijiang River Basin. *Ecosystem Services*. 2022. Vol. 58. 101489. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2022.101489>
10. Prajapati R.N., Ibrahim N., Thapa B.R. Climate change impact on water availability in the Himalaya: Insights from Sunkoshi River basin, Nepal. *HydroResearch*. 2023. <https://doi.org/10.1016/j.hydres.2023.10.002>
11. Pichura V.I., Potravka L.A., Skrypchuk P.M., Strachuk N.V. Anthropogenic and climatic causality of changes in the hydrological regime of the Dnieper river. *Journal of Ecological Engineering*. 2020. Vol. 21 (4). P. 1–10. DOI: <https://doi.org/10.12911/22998993/119521>
12. Yingshuo Lyu Y., Chen H., Cheng Z., He Y., Zheng X. Identifying the impacts of land use landscape pattern and climate changes on streamflow from past to future. *Journal of Environmental Management*. 2023. Vol. 345. 118910. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.118910>
13. Chowdhury A., Hasan K., Hasan R., Younos T.B. Climate change impacts and adaptations on health of Internally Displaced People (IDP): An exploratory study on coastal areas of Bangladesh. *Heliyon*. 2020. Vol. 6 (9). e05018. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e05018>
14. Paquin V. 78.1 Mental Health Impacts of Climate Change on Circumpolar Indigenous Peoples. *Journal of the American Academy of Child & Adolescent Psychiatry*. Vol. 61 (10). S109. <https://doi.org/10.1016/j.jaac.2022.07.445>
15. Ma T., Moore J., Cleary A. Climate change impacts on the mental health and wellbeing of young people: A scoping review of risk and protective factors. *Social Science & Medicine*. 2022. Vol. 301. 114888. <https://doi.org/10.1016/j.socscimed.2022.114888>
16. Coleman M.A., Wernberg T. A Glass Half Full: Solutions-Oriented Management under Climate Change. *Trends in Ecology & Evolution*. 2021. Vol. 36 (5). P. 385–386. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2021.02.009>

17. Yin J., Xue Y., Li Y., Zhang C., Xu B., Liu Y., Ren Y., Chen Y. Evaluating the efficacy of fisheries management strategies in China for achieving multiple objectives under climate change. *Ocean & Coastal Management*. 2023. Vol. 245. 106870. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2023.106870>
18. Pichura V.I., Domaratsky Y.A., Yaremko Yu.I., Volochnyuk Y.G., Rybak V.V. Strategic Ecological Assessment of the State of the Transboundary Catchment Basin of the Dnieper River Under Extensive Agricultural Load. *Indian Journal of Ecology*. 2017. Vol. 44(3). P. 442–450.
19. Han Z., Wei Y., Meng J., Zou Y., Wu Q. Integrated water security and coupling of social-ecological system to improve river basin sustainability. *Science of the Total Environment*. 2023. Vol. 905. 167182. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.167182>
20. Liu H., Wang Z., Zhang L., Tang F., Wang G., Li M. Construction of an ecological security network in the Fenhe River Basin and its temporal and spatial evolution characteristics. *Journal of Cleaner Production*. 2023. Vol. 417. 137961. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.137961>
21. Zhang M., Wang K., Liu H., Yue Y., Ren Y., Chen Y., Zhang C., Zhenhua Deng Z. Vegetation inter-annual variation responses to climate variation in different geomorphic zones of the Yangtze River Basin, China. *Ecological Indicators*. 2023. Vol. 152. 110357. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2023.110357>
22. Pichura V.I., Malchukova D.S., Ukrainskij P.A., Shakhman I.A., Bystriantseva A.N. Anthropogenic Transformation of Hydrological Regime of The Dnieper River. *Indian Journal of Ecology*. 2018. Vol. 45 (3). P. 445–453.
23. Rivaes R.P., Feio M.J., Almeida S.F.P., Calapez A.R., Sales M., Gebler D., Lozanovska I., Aguiar F.C. River ecosystem endangerment from climate change-driven regulated flow regimes. *Science of the Total Environment*. 2022. Vol. 818. 151857. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.151857>
24. Bai Y., Zhang S., Mu E., Zhao Y., Cheng L., Zhu Y., Yuan Y., Wang Y., Ding A. Characterizing the spatiotemporal distribution of dissolved organic matter (DOM) in the Yongding River Basin: Insights from flow regulation. *Journal of Environmental Management*. 2023. Vol. 325 (B). 116476. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.116476>
25. Pichura V., Potravka L., Skok S., Vdovenko N. Causal Regularities of Effect of Urban Systems on Condition of Hydro Ecosystem of Dnieper River. *Indian Journal of Ecology*. 2020. Vol. 47 (2). P. 273–280.
26. Kim S., Kim S., Green C.H.M., Jeong J. Multivariate polynomial regression modeling of total dissolved-solids in rangeland stormwater runoff in the Colorado River Basin. *Environmental Modelling & Software*. 2022. Vol. 157. 105523. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2022.105523>
27. Xiong L., Ning J., Wang J., Dong Y. Coupling degree evaluation of heavy metal ecological capacity and enterprise digital transformation in river basins. *Ecological Indicators*. 2021. Vol. 133. 108358. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.108358>
28. Madeira C.L., Acayaba R.D., Santos V.S., Villa J.E.L., Jacinto-Hernández C., Azevedo J.A.T., Elias V.O., Montagner C.C. Uncovering the impact of agricultural activities and urbanization on rivers from the Piracicaba, Capivari, and Jundiaí basin in São Paulo, Brazil: A survey of pesticides, hormones, pharmaceuticals, industrial chemicals, and PFAS. *Chemosphere*. 2023. Vol. 341. 139954. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2023.139954>
29. Prasood S.P., Mukesh M.V., Rani V.R., Sajinkumar K.S., Thrivikramji K.P. Urbanization and its effects on water resources: Scenario of a tropical river basin in South India. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*. 2021. Vol. 23. 100556. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2021.100556>
30. Dudiak N.V., Pichura V.I., Potravka L.A., Strachuk N.V. Geomodelling of Destruction of Soils of Ukrainian Steppe Due to Water Erosion. *Journal of Ecological Engineering*. 2019. Vol. 20, Iss. 8. P. 192–198.
31. Santos F.M., Pelinson N.S., Oliveira R.P., Lollo J.A.D. Using the SWAT model to identify erosion prone areas and to estimate soil loss and sediment transport in Mogi Guaçu River basin in Sao Paulo State, Brazil. *CATENA*. 2023. Vol. 222. 106872. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2022.106872>
32. Wu X., Feng X., Wang Z., Chen Y., Deng Z. Multi-source precipitation products assessment on drought monitoring across global major river basins. *Atmospheric Research*. 2023. Vol. 295. 106982. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2023.106982>
33. Chen Y., Marek G.W., Marek T.H., Moorhead J.E., Heflin K.R., Brauer D.K., Gowda P.H., Srinivasan R. Simulating the impacts of climate change on hydrology and crop production in the Northern High Plains of Texas using an improved SWAT model. *Agricultural Water Management*. 2019. Vol. 221. P. 13–24. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.04.021>
34. Pichura V., Domaratskiy Ye., Potravka L., Biloshkurenko O., Dobrovol'skiy A. Application of the Research on Spatio-Temporal Differentiation of a Vegetation Index in Evaluating Sunflower Hybrid Plasticity and Growth-Regulators in the Steppe Zone of Ukraine. *Journal of Ecological Engineering*. 2023. Vol. 24(6). P. 144–165. <https://doi.org/10.12911/22998993/162782>
35. Pichura V., Potravka L., Domaratskiy Ye., Petrovas S. Spatiotemporal patterns and vegetation forecasting of sunflower hybrids in soil and climatic conditions of the Ukrainian Steppe zone. *Ukrainian Black Sea Region Agrarian Science*. 2023. Vol. 27(3). P. 31–45. doi: 10.56407/bs.agrarian/3.2023.31.
36. Пічуря В.І. Басейнова організація природокористування на водозбірній території транскордонної річки Дніпро. *Херсон: «ОЛДІ-ПЛЮС»*, 2020. 380 с.
37. Strahler A.N. Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topography. *Geol. Soc. Amer. Bull.* 1952.
38. Приймаченко І.В. Екологічний моніторинг басейну річки Случ. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: Агронімія*. 2013. Вип. 183(2). С. 241–248.
39. Biedunkova O.O. 2013. Ecological assessment of modern state of river Sluch surface water basin principle. *Вісник національного університету та природокористування*. 2013. Вип. 4 (64). С. 74–82. (in Ukrainian)
40. Biedunkova O.O., Statnyk I.I., Boliaryn M.V. 2023. Selection of indicators of surface water quality monitoring of Sluch river. *Water bioresources and aquaculture*. 2023. Vol. 1 (13). P. 109–123. DOI <https://doi.org/10.32851/wba.2023.1.9> (in Ukrainian)
41. Stadler S.J. Aridity indexes. In *Encyclopedia of World Climatology*. Oliver, J.E., Ed. *Springer: Heidelberg, Germany*. 2005. P. 89–94.
42. Sgroi F., Di Trapani A.M., Testa R., Tudisca S. Economic sustainability of early potato production in the Mediterranean area. *American Journal of Applied Sciences*. 2014. Vol. 11. P. 1598–1603. DOI: 10.3844/ajassp.2014.1598.1603.