

Вплив часткового знеліснення на режим зволоження: кількості опадів та загального вмісту вологи в ґрунті за даними чисельного експерименту LUMIP для території України

Л.А. Писаренко¹, С.В. Краковська^{1,2}, 2022

¹Український гідрометеорологічний інститут ДСНС України та НАН України,
Київ, Україна

²Державна установа Національний антарктичний науковий центр МОН України,
Київ, Україна

Надійшла 17 травня 2022 р.

У статті проаналізовано вплив часткового зменшення лісистості на суму опадів, частку опадів, затриманих рослинністю, загального вмісту вологи в ґрунті за умови мінімального антропогенного впливу для території України. Використано дані експерименту Land Use Model Intercomparison Project (LUMIP), який реалізовано за допомогою глобальних кліматичних моделей (ГКМ). Метою експерименту LUMIP було виявлення закономірностей зміни кліматичних характеристик унаслідок глобального поступового зменшення лісового покриву приблизно на 1 % щорічно та його заміною на пасовища або траву у період з 1850 по 1899 р., що визначено як умовно доіндустріальний період, а також встановлення відсутності суттєвих змін у лісовому покриві для наступного проміжку 1900—1929 рр. Вплив часткового зменшення лісового покриву визначено за методикою знаходження аномалій порівняно з першим двадцятиріччям (1850—1869) і використанням 5-річних ковзних середніх для згладження міжрічної мінливості. Знайдено лінійну залежність між ковзними аномаліями визначеного показника та відсотка лісового покриву.

Чіткого зв'язку між глобальним зменшенням лісистості та місячною сумою опадів для помірних широт на території України не встановлено. Проте виявлено, що поступове знеліснення зменшує частку опадів, затриманих рослинністю як у холодний, так і в теплий сезон з трендом до $-2,6 \dots -1,5 \%$ /10 років у середньому по широтних зонах у тих вузлах сітки ГКМ, де зменшився лісовий покрив. При цьому зниження частки затриманих опадів становило до $-14,5 \%$ у вузлі сітки як різниця між 50-річним періодом часткового знеліснення і наступним 30-річним періодом сталого лісового покриву. Зменшення затримки рослинністю опадів унаслідок часткового знеліснення призводить до потрапляння більшої частки опадів на підстильну поверхню, що спричиняє зростання вологовмісту ґрунту з трендом $0,1 \text{—} 4,9 \%$ /10 років залежно від місяця року і ГКМ з найбільшими змінами протягом літнього та осіннього сезонів.

Отже, виявлено і кількісно оцінено зменшення частки затриманих рослинністю опадів через часткове зменшення лісового покриву, яке за більшістю оцінок моделей сприяло зростанню загального вмісту вологи у ґрунті, що, вочевидь, впливатиме на вологісний режим території, може зумовлювати зміни гідрологічного режиму й сприяти зростанню повторюваності паводків

та інших пов'язаних між собою небезпечних і стихійних гідрометеорологічних явищ в Україні.

Ключові слова: LUMIP, знеліснення, сума опадів, частка опадів, затриманих рослинним покривом, загальний вміст вологи в ґрунті.

Вступ. Постановка проблеми. Опади як прихідна частина водного балансу відіграють важливу роль і визначають функціонування різних секторів економіки, зокрема аграрного сектора, лісового господарства, гідроенергетики, житлово-комунального господарства тощо [Польовий, 2012, 2015; Хохлов, Єрмоленко, 2015; Кліматичні ..., 2018; Шевченко та ін., 2018; Затула, Затула, 2020; Балабух та ін., 2018; Карамушка, Бойченко, 2019; Кулик, Кириленко, 2019; IPCC..., 2019; Хільчевський, 2021]. Кількість опадів є важливою складовою для зволоження ґрунту та річкового стоку [Гребінь, 2010; Горбачова, 2014; IPCC..., 2019; Хільчевський, 2020; Osypov et al., 2021], а запаси продуктивної вологи в ґрунті та їх достатня кількість — для росту та розвитку сільськогосподарських культур і лісів [Польовий, 2012; Польовий, Божко, 2015; Олійник, Ткачук, 2014; Круківська, 2014; Швиденко та ін., 2018; Олійник, Рак, 2018]. Важливість опадів для екосистем і розвитку секторів економіки разом з їх природною просторово-часовою неоднорідністю сприяли їх активному дослідженню з урахуванням зміни клімату в минулому, за поточних умов і в майбутньому [Хохлов, Єрмоленко, 2015; Краковська та ін., 2017; Кліматичні..., 2018]. Водночас разом із кількістю опадів на режим зволоження впливає й інтерцепція або частка опадів, що перехоплюється рослинним покривом [Рахманов, 1984; Олійник, Ткачук, 2014; Олійник, Рак, 2018].

Вплив лісів на регіональні кліматичні умови вивчався для різних кліматичних зон [Bonan, 1992, 2008; Groisman, Ivanov, 2009]. Проте, як зазначалося в наших попередніх публікаціях, вплив лісів помірної широтної зони на регіональний клімат ще містить багато недосліджених питань [Писаренко, Краковська, 2020; Писаренко, Краковська, 2021а,б]. Зокрема, значна ува-

га дослідників приділяється проблематиці вирубки лісів, що надалі може видозмінювати поля кліматичних параметрів [Bonan, 1992, 2008; IPCC..., 2019; Huang et al., 2020]. Незважаючи на державні та регіональні програми відновлення лісів та заліснення, зокрема і в Україні [Стратегія..., 2019; Повідомлення..., 2021], проблема вирубки лісів досі залишається актуальною у світі. Як результат, відкритим залишатиметься і питання наслідків знеліснення для регіональних кліматичних умов.

Дослідження впливу зменшення лісистості на розподіл кліматичних показників реалізовано як напрямок у глобальному проєкті Coupled Model Intercomparison Project Phase 6 (CMIP6) [CMIP6..., 2022]. Основна ідея напрямку полягає в розгляді впливу глобального знеліснення на розподіл кліматичних характеристик і на біогеохімічні цикли з використанням глобальних кліматичних моделей (ГКМ). Це реалізовано в ретроспективному експерименті Land Use Model Intercomparison Project (LUMIP), який полягає у поступовому глобальному зменшенні лісового покриву з поступовою його заміною на трав'яний з лінійним трендом приблизно 1 % на рік або 400 тис. км² щороку [Lawrence et al., 2016]. Лише в останні роки стали доступними результати опрацювання експерименту [Boysen et al., 2018, 2020; Brovkin, 2020 et al.], але вони описувалися в глобальному масштабі без детального фокусу на окремі регіони, в них проаналізовано річні характеристики лише середньої температури повітря та суми опадів без переходу на місячні чи сезонні характеристики. У двох наших попередніх публікаціях вперше представлено аналіз експерименту LUMIP для території України, зокрема показників відбивної здатності, температури повітря та підстильної поверхні [Писаренко, Краковська, 2021а], і витратної частини

водного балансу (випаровування з ґрунту і рослинного покриву) [Писаренко, Краковська, 2021б]. Ця стаття є логічним продовженням попередніх досліджень і присвячена прихідній частині водного балансу території України.

Мета статті — дослідити кількісний вплив часткового знеліснення на показники режиму зволоження, що описують прихідну частину водного балансу (сума опадів; частка опадів, затриманих рослинним покривом) і загальний вміст вологи в ґрунті на території України на основі даних ретроспективного чисельного експерименту LUMIP.

Матеріали та методи. Аналіз змін характеристик зволоження території України здійснено з використанням ГKM. Надалі для позначення моделей в тексті будуть використані порядкові номери ГKM з табл. 1. Вхідні дані для обробки отримані з бази даних The Earth System Grid Federation [ESGF..., 2022] з охопленням історичного проміжку часу 1850—1929 рр.

Експеримент LUMIP реалізовано з метою дослідження впливу глобального поступового знеліснення на розподіл кліматичних характеристик, а також біогеохімічні цикли за період умовно мінімального антропогенного навантаження. Період

дослідження поділяється на два етапи: 1850—1899 рр. (доіндустріальний період часткового знеліснення) і 1900—1929 рр. (стабілізація лісового покриву) [Писаренко, Краковська, 2021б].

Аналіз кліматичних показників здійснено за методикою, описаною у публікаціях [Писаренко, Краковська, 2021а,б]. Зокрема, використано попередньо обґрунтоване умовне районування України на північну, центральну та південну широтні зони, що приблизно узгоджуються з основними фізико-географічними зонами — поліссям, лісостепом і степом. Просторово-часові дані про початкову лісистість, її зміни та кінцевий стан розглянуті у публікації [Писаренко, Краковська, 2021б]. Оскільки сітки моделей мають різні горизонтальні кроки та різну лісистість, аналіз виконувався окремо для кожної моделі.

У табл. 2 наведено максимальне значення тренду, з яким відбулося зменшення лісового покриву серед усіх вузлів сітки по території України. Максимальний крок зміни характерний для ГKM 5.

Для аналізу використано помісячні дані про суми опадів, суми затриманих опадів, загального вмісту вологи в ґрунті.

Для всіх показників визначалися багаторічні середні за базовий період — першу

Таблиця 1. Список ГKM, що використано у дослідженні [Писаренко, Краковська, 2021б]

Номер ГKM	Модель	Організація-розробник, країна	Сітка (за довготою та широтою)
1	CanESM5	The Canadian Centre for Climate Modelling and Analysis (CCCma), Канада	2,8125×2,76727
2	IPSL-CM6A-LR	The Institute Pierre-Simon Laplace (IPSL), Франція	2,5×1,26761
3	UKESM1-0-LL	The Met Office Hadley Centre (MOHC), Великобританія	1,875×1,25
4	CNRM-ESM2-1	National Centre for Meteorological Research and Centre Européen de Recherche et de Formation Avancée en Calcul Scientifique (CNRM-CERFACS), Франція	1,40625×1,38903
5	BCC-CSM2-MR	The Beijing Climate Center (BCC), Китай	1,125×1,11209
6	CESM2	The National Center for Atmospheric Research, США	1,25×0,9424

двадцятирічку 1850—1869 рр. для кожного місяця або теплового/холодного сезонів.

Т а б л и ц я 2. Значення лінійного тренду зменшення лісистості (%/рік) за кожною ГКМ для вузлів сітки на території України

Номер ГКМ	Максимальна зміна лісистості
1	0,74
2	0,64
3	0,52
4	0,62
5	1,60
6	0,83

Наступним кроком було знаходження різниці або співвідношення до базового показника кожного місяця чи сезону для отримання аномалій та розрахунків 5-річних ковзних середніх аномалій. Далі знаходили кореляційні зв'язки між 5-річним ковзними середніми аномалій показників і часткового знеліснення за період 46 років. Для визначення статистичної значущості результатів застосовувався коефіцієнт Фішера ($F > 3,13 \div 3,18$) з 95%-им рівнем забезпеченості. Додатково визначалася різниця або співвідношення між 30-річним періодом усередненого значення показника за період стабілізації лісового покриву

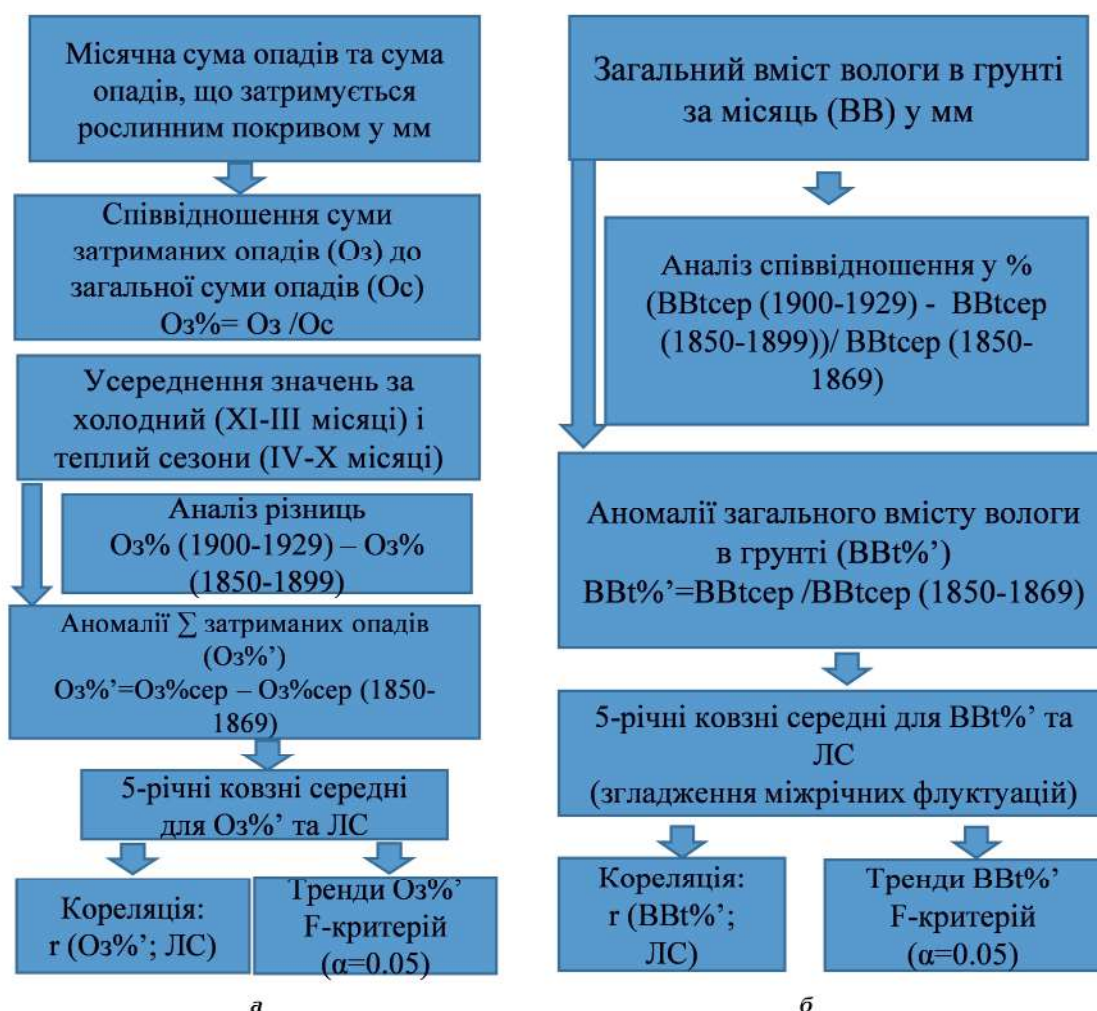


Рис. 1 Алгоритм обробки даних для аналізу аномалій багаторічної усередненої частки затриманих опадів за холодний та теплий сезони (а) та загального вмісту вологи в ґрунті (б) (t — місяць року, сер — середнє, ЛС — лісистість).

Fig. 1. The algorithm of data processing for the anomaly analysis of the multi-year season fraction of precipitation intercepted by the canopy for the cold and the warm seasons (a) and total soil moisture content (b) (t — month of the year, ser — mean, ЛС — forest cover).

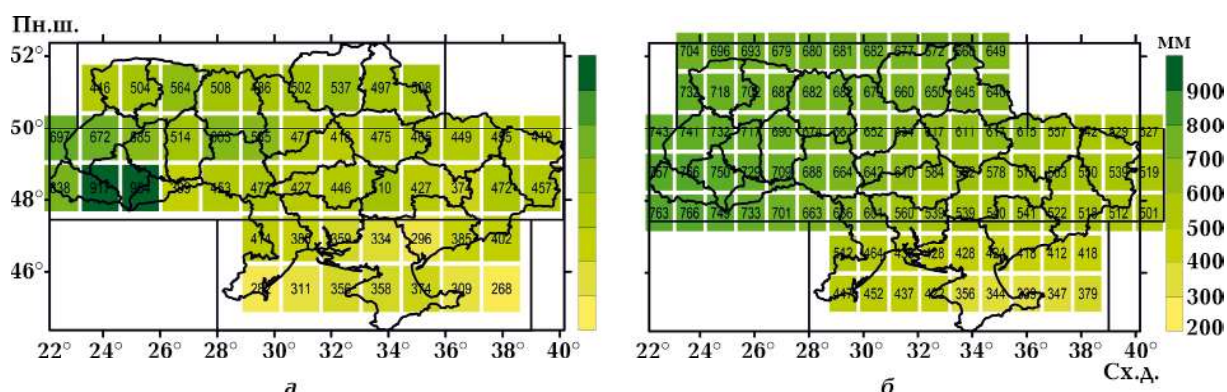


Рис. 2. Просторовий розподіл багаторічної суми опадів за ГKM 4 (а) та 5 (б) за базовий період 1850—1869 рр.
Fig. 2. The spatial distribution of sums of precipitation for GCM4 (a) and GCM5 (b) for base period 1850—1869.

1900—1929 рр. та попереднім 50-річним періодом поступового знеліснення.

Частку затриманих опадів (рис. 1, а) знаходилася як співвідношення між сумою затриманих опадів до загальної суми опадів за холодний (листопад—березень) і теплий (квітень—жовтень) сезони. Це зроблено, щоб умовно виділити сезон вегетації, коли є листя у широколистяних дерев, і сезон спокою. Для опадів, затриманих рослинним покривом, дані недоступні за ГKM 3. ГKM 2 була відкинута через те, що зміни відбувалися лише у трьох вузлах сітки, і вони не узгоджувалися з тенденціями за іншими моделями. Отже, оцінювання ефекту зменшення лісового покриву на досліджуваній показник проводилася лише за чотирима моделями: 1, 4, 5, 6 (див. табл. 1).

Загальний вміст вологи в ґрунті проаналізовано за схемою, показаною на рис. 1, б. Оскільки моделі характеризувалися значним розкидом значень у міліметрах між собою через різну глибину охоплення шарів ґрунту, було вирішено уніфікувати методіку і використати значення відносної аномалії, тобто розрахувати відношення показника до першої базової двадцятирічки. Серед усіх моделей ГKM 4 мала протилежні тенденції через невідомі причини, і тому її було видалено з оцінок.

Загальна кількість опадів і частка опадів, що затримується рослинним покривом. Присутність рослинності, зокрема крон дерев, безпосередньо впливає на те, яка кількість опадів досягне земної по-

верхні, а яка буде затримана рослинним покривом. Цей процес називають також інтерцепцією. Ця частка затриманих опадів варіює залежно від таких факторів, як сезони року, фазовий стан опадів, наявність/відсутність листя, видова різноманітність дерев, від якої залежить щільність крон. Але насамперед кількість затриманих опадів залежатиме від їх загальної кількості. Тому проаналізуємо можливий вплив часткового знеліснення на річні та місячні суми опадів.

Просторовий розподіл річної суми опадів за базовий період (1850—1869 рр.) для двох моделей з дрібнішою сіткою (ГKM 4 і 5) наведено на рис. 2. Для північної широтної зони річні суми опадів становлять 500—730 мм, для центральної — 450—1000 мм, максимальні значення виявлені в районі Карпат, та 300—450 мм для південної широтної зони. Оскільки ці моделі мають різний крок сітки, багаторічна кількість опадів в моделях може бути різною. Необхідно зазначити, що ГKM 4 (рис. 2, а) має менші значення річної суми опадів на рівнинній частині України порівняно з ГKM 5 (рис. 2, б). Але слід зауважити, що ГKM 4 має більшу річну кількість опадів у районі Карпат, що відповідає сучасним значенням, ніж ГKM 5.

На рис. 3 більш детально показано розподіл багаторічної середньої кількості опадів за центральними місяцями сезонів, де відповідно до кліматичних умов у всі сезони року максимальні суми опадів спо-

стерігали у Карпатах, а мінімальні — на півдні. Взимку, у січні (рис. 3, а), кількість опадів становить 40—60 мм для північної широтної зони, 40—72 мм для центральної і 30—47 мм для південної. Знову ж таки, максимальні суми опадів характерні для карпатського регіону. Навесні, у квітні (рис. 3, б), суми опадів становлять 42—58 мм для північної широтної зони, 40—88 мм для центральної і 22—43 мм для південної. Влітку, у липні (рис. 3, в), у карпатському регіоні спостерігається збільшення кількості опадів до 110 мм. Для північної широтної зони вони становлять 32—38 мм, для центральної 16—110 мм і 15—30 мм для південної. Восени, у жовтні (рис. 3, г), для півночі характерні значення 36—50 мм, для центральної частини 33—74 мм, максимальні значення 30—45 мм зафіксовані в Карпатах і на півдні.

Аналіз аномалій річних сум опадів не виявив значущих трендів упродовж періоду моделювання для всіх моделей у всіх широтних зонах. Для місячної кількості

опадів значущих лінійних трендів за ГКМ також не встановлено за весь період моделювання. Проте отримані тенденції змінюються залежно від моделі та місяця лише в окремих вузлах сітки. Очевидно, що кількість опадів у помірних широтах значною мірою залежить від чинників глобальних масштабів, зокрема загальної циркуляції атмосфери та кругообігу води. За результатами експерименту LUMIP [Boysen et al., 2018, 2020; Brovkin, 2020 et al.] виявлено вплив знеліснення на річну суму опадів у тропічних і бореальних зонах лісів, а також «нульову» широту, що знаходиться в північних субтропіках, на якій біогеофізичний вплив лісу відсутній. Ефект у помірних широтах і можливий перерозподіл опадів продовж року в публікаціях [Boysen et al., 2018, 2020; Brovkin, 2020 et al.] на сьогодні не наведено. Ці результати дослідження для України не виявили значущих змін як у річних, так і у місячних сум опадів впродовж чисельного експерименту LUMIP.

Присутність рослинності має прямий

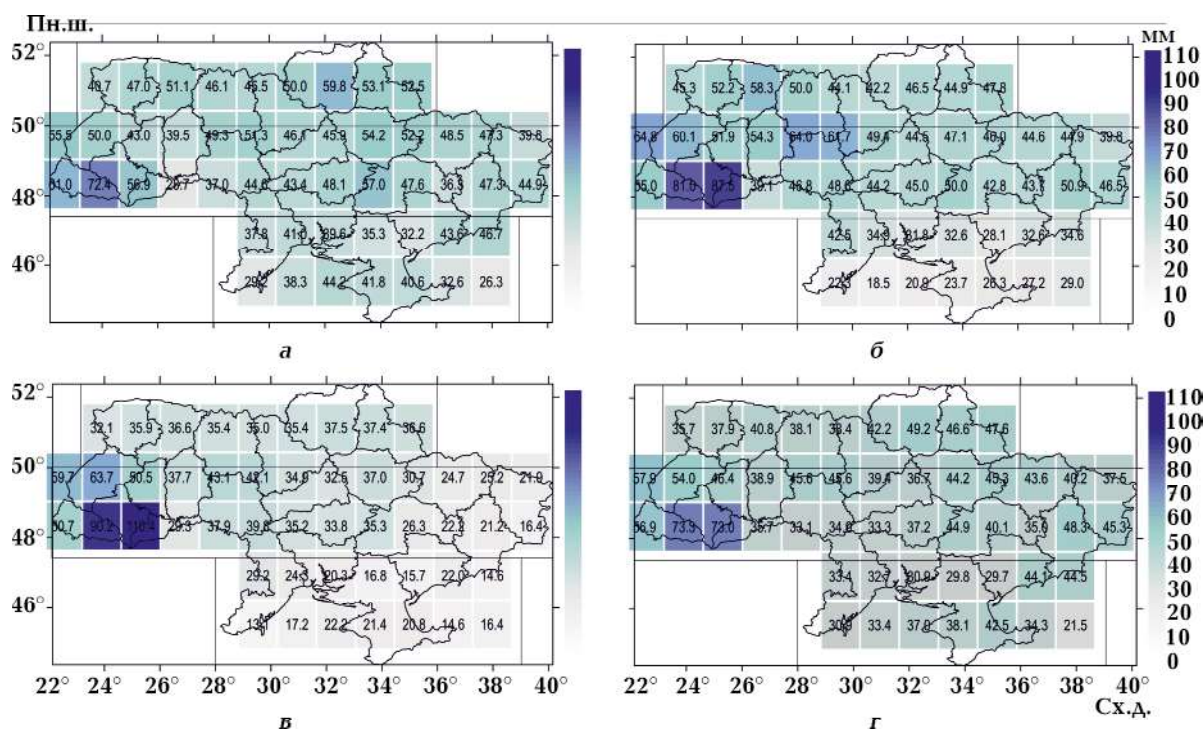


Рис. 3. Просторовий розподіл суми опадів для січня (а), квітня (б), липня (в), жовтня (г) за ГКМ 4 за базовий період 1850—1869 рр.

Fig. 3. Spatial distribution of monthly sums of precipitation for January (a), April (b), July (v), October (r) GCM4 for the base period 1850—1869.

вплив на суму опадів, що досягають земної поверхні, оскільки вона затримує певну її частку. Слід зазначити, що в цілому ГKM демонструють фізично обґрунтовані співвідношення між затриманими опадами в холодний і теплий сезони.

Протягом холодного періоду листяний покрив на деревах відсутній і відповідно частка затриманих опадів зменшується порівняно з теплим сезоном. Ця характеристика має вищі значення в північній широтній зоні через більший лісовий покрив. Це узгоджується з просторовим розподілом зони лісів в Україні.

Встановлено, що загалом протягом холодного і теплої періодів затримані опади становлять 20—50 та 30—70 % у північній і центральній широтних зонах відповідно. Для південної ці значення є меншими — до 40 % у холодний сезон за ГKM 4 з найвищим відсотком лісового покриву у цій зоні та 20—60 % у теплий. Отже, встановлено, що у ГKM дещо завищені значення затриманих рослинністю опадів порівняно

з даними вимірів мікрокліматичних спостережень, які максимально сягають 40 % у широколистяних дерев [Рахманов, 1984; Олійник, Ткачук, 2014; Олійник, Рак, 2018]. З-поміж всіх моделей ГKM5 має найбільш наближену частку затриманих опадів зі значеннями 20—30 % від загальної кількості опадів для північної та центральної широтних зон і до 20 % для південної у холодний період. Зауважимо, що ГKM мають доволі грубу сітку, тому вони відображають узагальнені регіональні особливості зміни затриманих опадів у середньому за холодний та теплий сезони та за умовно доіндустріальний період. До того ж за мікрокліматичними спостереженнями [Рахманов, 1984] встановлено, що крона дерев може повністю перехопити опади, якщо вони слабкої інтенсивності.

На рис. 4 наведено лінійну залежність між частковим знелісненням і затриманими опадами для холодного сезону (листопад—березень), коли широколистяні дерева не мають листя, в той час як хвойні

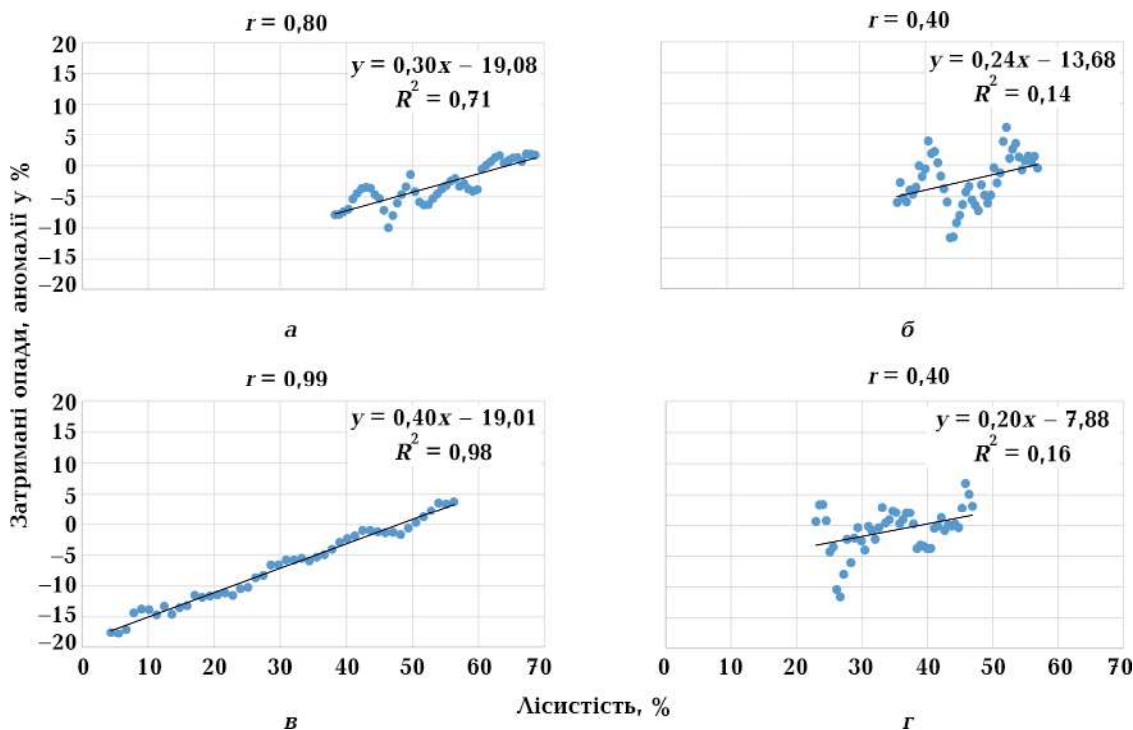


Рис. 4. Кореляція між частковим знелісненням (%) та аномаліями затриманих опадів (%) для північної широтної зони за ГKM 1 (а), 4 (б), 5 (в), 6 (г) у холодний сезон.

Fig. 4. The correlation between the partial deforestation (%) and anomalies of precipitation intercepted by the canopy (%) for the northern latitudinal zone for GCMs 1 (a), 4 (б), 5 (в), 6 (г) for the cold season.

мають голки. Встановлені позитивні середні та сильні кореляції зі значеннями 0,40...0,99 у північній та 0,37...0,94 у центральній широтних зонах за всіма ГKM. Варто зауважити, що такі зміни спостерігаються у вузлах сітки з поступовим зменшенням лісового покриву.

Максимальні значення коефіцієнтів кореляції отримано за ГKM 5, за якою спостерігається найбільш швидко зменшення лісистості (1,5—1,6 % на рік).

Таке поступове знеліснення, як наслідок, спричинить зменшення частки опадів, які затримуються рослинним покривом, до -2,6 %/10 років для північної (рис. 5) і до -2,4 %/10 років для центральної широтних зон. Натомість, за ГKM 6 виявлено найменші зміни затриманих опадів для обох широтних зон: тренд становить -0,4...-0,3 %/10 років відповідно з нижчими коефіцієнтами кореляції. Лісистість для пів-

денної широтної зони змінювали лише за ГKM 4, проте там також спостерігається зменшення частки опадів до -0,6 %/10 років. Статистична значущість трендів підтверджується коефіцієнтами Фішера ($F > 3,13$).

Для теплого сезону (квітень—жовтень) встановлено середні та високі значення кореляцій між зменшенням лісистості та кількістю затриманих опадів (рис. 6), значення яких становлять 0,40...0,95 у північній і центральній широтних зонах. Для теплого і для холодного сезону ГKM 5 показала найсильніший зв'язок із $r = 0,90$ та $r = 0,95$ для північної та центральної широтних зон відповідно через інтенсивнішу зміну лісового покриву (див. табл. 2). Натомість за ГKM 6 така залежність не виявлена.

На нашу думку, незважаючи на поступове зменшення лісистості, у теплий сезон присутній листяний покрив, що все-таки затримує певну частку опадів порівняно з

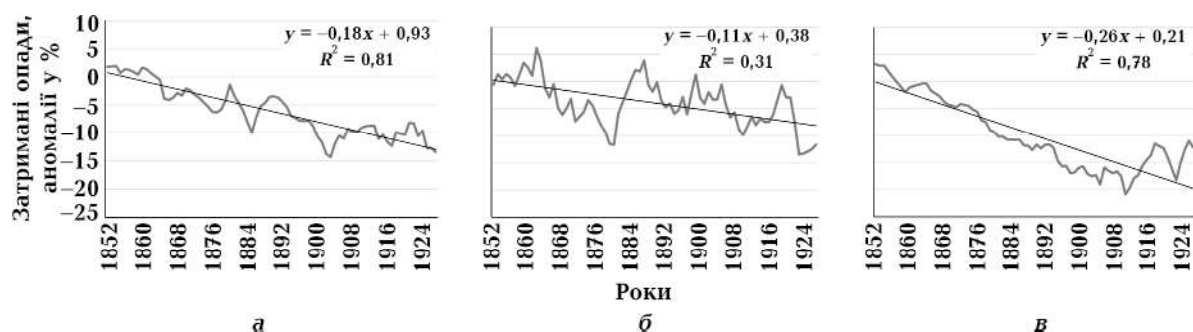


Рис. 5. Лінійний тренд зміни аномалій затриманих опадів у % для північної широтної зони за ГKM 1 (а), 4 (б), 5 (в) у холодний сезон.

Fig. 5. The linear trend of anomalies of precipitation intercepted by the canopy (%) for the northern latitudinal zone for GCMs 1 (a), 4 (b), 5 (v) for the cold season.

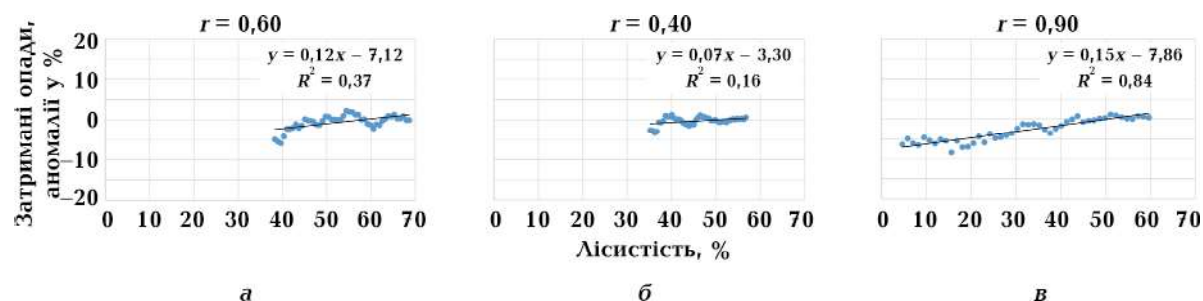


Рис. 6. Кореляція між частковим знелісненням (%) та аномаліями затриманих опадів (%) для північної широтної зони за ГKM 1 (а), 4 (б), 5 (в) у теплий сезон.

Fig. 6. The correlation between the partial deforestation (%) and anomalies of precipitation intercepted by the canopy (%) for the northern latitudinal zone for GCMs 1 (a), 4 (b), 5 (v) for the warm season.

холодним сезоном і таким чином частково компенсує зменшення лісистості. Можливо через це такі зв'язки краще виявляються протягом холодного сезону, оскільки накладаються ефекти від часткового знеліснення та відсутності листя. Іншою причиною цього може бути те, що протягом холодного сезону (за п'ять місяців) сумарно випадає менша сума опадів, ніж протягом теплого (за сім місяців).

Лінійний тренд частки опадів, що затримуються рослинним покривом, у теплий сезон становить до $-1,5...-0,3\%$ /10 років у північній широтній зоні (рис. 7), та дещо нижчими значеннями у центральній.

На рис. 8 наведено різницю у відсотках між часткою затриманих опадів усереднених за 30-річний період стабільного лісового покриву і 50-річний період поступового знеліснення за холодний і теплий сезони для ГКМ 1, 4 і 5 з найгрубішою та дрібнішою сітками відповідно. Виявлено, що зменшення показника частки затриманих опадів є більшим у холодний сезон (рис. 8, а, в, д), коли до часткового знеліснення додається ще й відсутність листяного покриву в широколистяних дерев. Це призводить, як зазначено вище, до практично відсутньої затримки опадів у холодний сезон у моделюванні. Загалом, найінтенсивніші зміни показника характерні для вузлів сітки північної широтної зони та в східних і західних вузлах центральної широтної зони.

Протягом холодного сезону максималь-

на різниця або зміна може становити до $-14,5\%$ в окремих вузлах сітки за ГКМ 5, де з більшим кроком досліджували зменшення лісового покриву ($1,5-1,6\%$ /рік). Водночас за ГКМ 1 і 4 ці зміни були до -12 і до -6% відповідно. Найбільші зміни спостерігалися в північній широтній зоні та дещо менші — на заході центральної широтної зони. За ГКМ 4 знеліснення відбувалося по всій території України, але з меншим кроком — максимально $0,62\%$ /рік. Тому отримані зміни показника виявилися пропорційно меншими порівняно з ГКМ 5, де процес відбувався більшими темпами (див. табл. 2).

Протягом теплого сезону (рис. 8, б, г, е), порівняно з холодним, різниці у частці затриманих опадів менші, можливо через неповне знеліснення і все ще наявну листяну крону дерев, через що значна частина опадів продовжує затримуватися. Найменш виражені, але статистично значущі зміни визначено також за ГКМ 4 і для холодного сезону, де максимальні значення зменшення затриманих опадів становлять до $-1,4\%$ на північному сході центральної широтної зони. Для порівняння у ГКМ 5 у тому ж регіоні зміни становлять до $-12,7\%$, можливо через зміну лісистості з більшим кроком.

Таким чином, у моделях зменшення частки затриманих опадів відповідає та очікувано є пропорційним зменшенню лісового покриву у вузлах сітки. Цей вплив краще проявляється в холодний сезон у вузлах сітки із зменшенням лісистості, а у

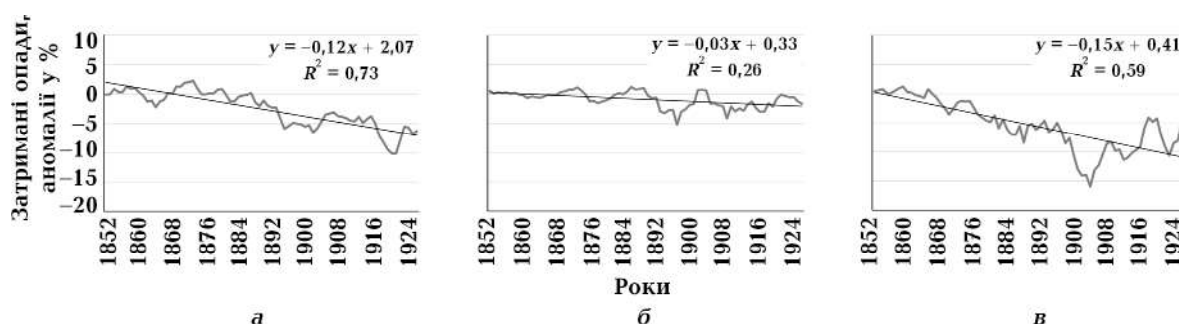


Рис. 7. Лінійний тренд зміни аномалій затриманих опадів у % для північної широтної зони за ГКМ 1 (а), 4 (б), 5 (в) у теплий сезон.

Fig.7. The linear trend of anomalies of precipitation intercepted by the canopy (%) for the northern latitudinal zone for GCMs 1 (a), 4 (b), 5 (v) for the warm season.

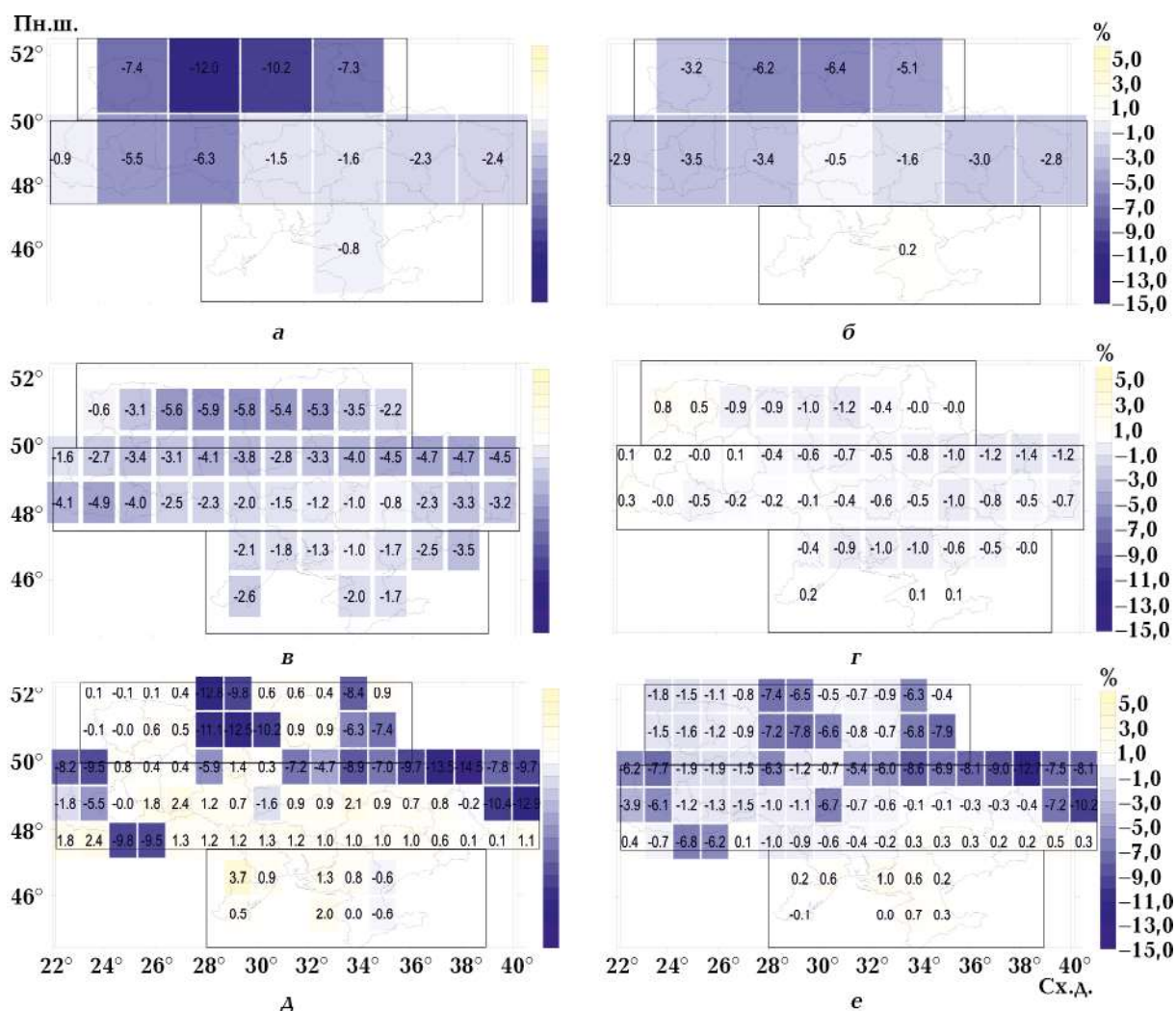


Рис. 8. Просторовий розподіл різниці між часткою затриманих опадів (%) у вузлах сітки за період після та до часткового знеліснення за ГКМ 1, 4, 5 (а, в, д — холодний сезон; б, г, е — теплий сезон).

Fig. 8. The spatial distribution of the difference of precipitation intercepted by the canopy (%) between the periods of steady forest cover and the partial deforestation for GCMs 1, 4, 5 (а, в, д — the cold season; б, г, е — the warm season).

теплий помітний дещо менший тренд зміни у частці затриманих опадів рослинністю.

Загальний вміст вологи в ґрунті. Оскільки зменшення лісистості призводить до зменшення опадів, які затримуються рослинним покривом, то більша кількість вологи потраплятиме до ґрунту і відповідно зростатиме її загальний вміст. Це було підтверджено результатами більшості моделей. У ГКМ, результати яких проаналізовано, загальний вміст вологи визначався в різній товщі шарів ґрунту, через що значення дуже різнилися між собою. Тому вирішено було перевести значення

загального вмісту вологи у ґрунті у відсотки відносно базового періоду (1850—1869) і аналізувати багаторічні щомісячні значення, як показано на рис. 1, б. За ГКМ 1 не виявлено значних кореляцій та значущих трендів у зміні цього показника, оскільки ця модель має найкрупнішу сітку (див. табл. 1), що зі свого боку викликає деякі труднощі у виявленні зміни вмісту загальної вологи в ґрунті. Результати ГКМ 4 повністю не узгоджуються з більшістю моделей і показують зменшення загального вмісту вологи в ґрунті внаслідок часткового знеліснення. Тренд зміни загального

вмісту вологи в ґрунті має невелику між-місячну варіативність для кожної моделі, яка знаходиться приблизно в межах 1 %, а загальний міжмодельний розкид становить від 0,1 до 4,9 %/10 років. За ГKM 6 виявлено найвищий вміст вологи в ґрунті та найменший відносний показник збільшення вологи.

Протягом зимового сезону, на прикла-

ді січня, спостерігаються середні та високі значення кореляцій між знелісненням і загальним вмістом вологи в ґрунті, що зазвичай становлять $-0,86 \dots -0,40$ для північної широтної зони (рис. 9). Для центральної ці зв'язки можуть як посилюватися, так і послаблюватися, проте характерними є середні та високі кореляції. Найсильніший зв'язок спостерігається за ГKM 5, де

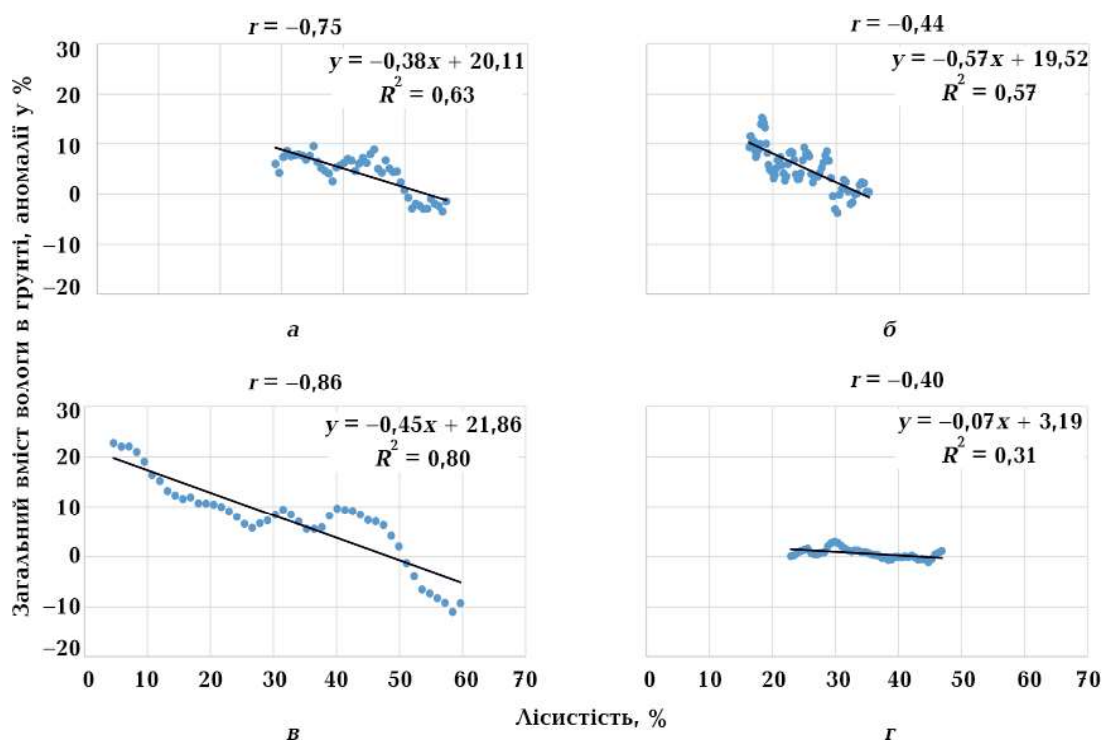


Рис. 9. Кореляція між частковим знелісненням (%) та аномаліями загального вмісту вологи в ґрунті (%) у січні для північної широтної зони за ГKM 2 (а), 3 (б), 5 (в), 6 (г).

Fig. 9. The correlation between the partial deforestation (%) and anomalies of total soil moisture content (%) in January for the northern latitudinal zone for GCMs 2 (a), 3 (б), 5 (в), 6 (г).

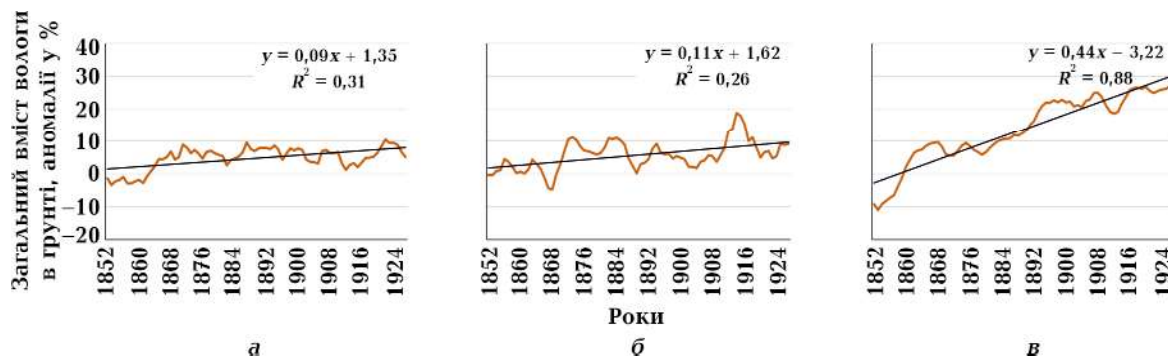


Рис. 10. Лінійний тренд зміни аномалій загального вмісту вологи (%) у ґрунті у січні для північної широтної зони за ГKM 2 (а), 3 (б), 5 (в).

Fig. 10. The linear trend of anomalies of total soil moisture content changes (%) in January for the northern latitudinal zone for GCMs 2 (a), 3 (б), 5 (в).

з більшим кроком зменшували лісовий покрив (до 1,5—1,6 %/рік), а найслабший — за ГKM 6. Варто зауважити, що в цьому аналізі не розглядалися показники снігового покриву та глибини промерзання ґрунту, що може бути предметом подальших досліджень.

Поступове зменшення лісового покриву спричиняє збільшення загального вмісту

вологи в ґрунті на 0,1—4,4 %/10 років у двох широтних зонах (рис. 10) для січня. Для ГKM 6 в цілому характерний вищий вміст вологи в ґрунті, проте за нею помітні найнижчі тренди росту і слабші кореляції серед усіх моделей. Натомість за ГKM 5, де з більшим кроком на рік зменшували лісистість (до 1,5—1,6 %/рік), спостерігалися найвищі тренди збільшення загальної

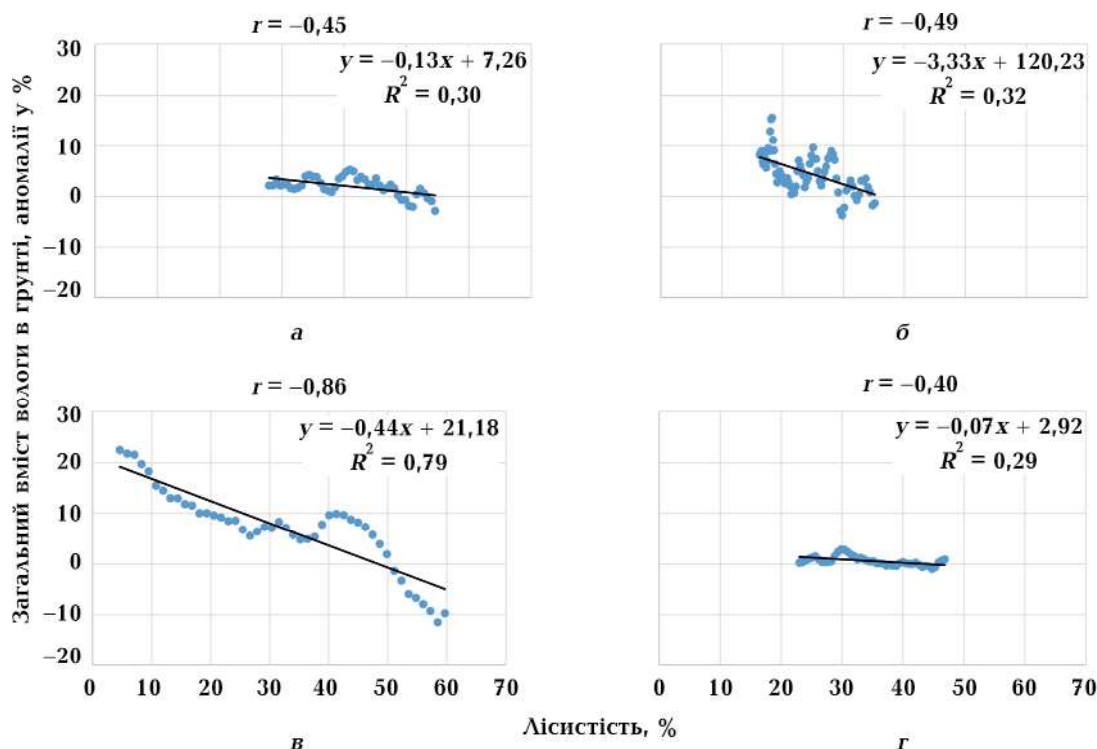


Рис. 11. Кореляція між частковим знелісненням (%) та аномаліями загального вмісту вологи в ґрунті (%) у квітні для північної широтної зони за ГKM 2 (а), 3 (б), 5 (в), 6 (г).

Fig. 11. The correlation between the partial deforestation (%) and anomalies of total soil moisture content (%) in April for the northern latitudinal zone for GCMs 2 (a), 3 (б), 5 (в), 6 (г).

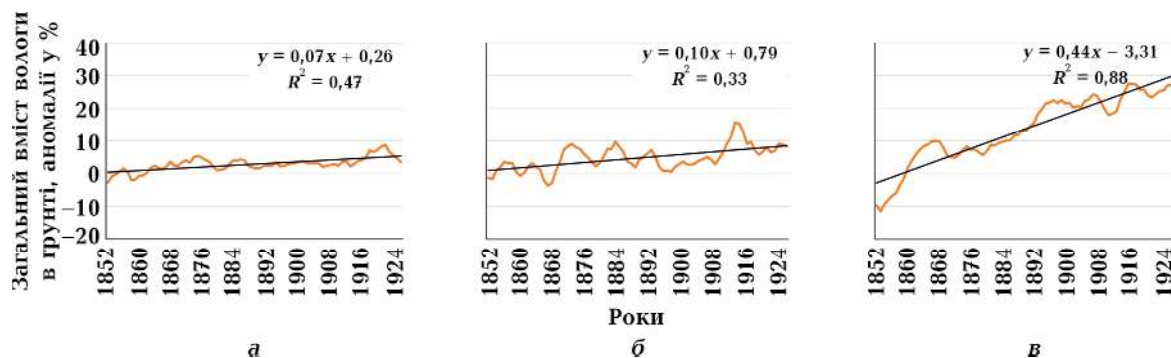


Рис. 12. Лінійний тренд зміни аномалій загального вмісту вологи в ґрунті (%) у квітні для північної широтної зони за ГKM 2 (а), 3 (б), 5 (в).

Fig. 12. The linear trend of anomalies of total soil moisture content changes (%) in April for the northern latitudinal zone for GCMs 2 (a), 3 (б), 5 (в).

вологи в ґрунті.

Для весни, у квітні, загалом спостерігалися середні кореляції $-0,49 \dots -0,40$ за винятком ГKM 5, де $r = -0,86$, оскільки за нею з більшим кроком зменшувався лісовий покрив (рис. 11). Подібні значення кореляції отримано і для центральної широтної зони.

Такі зв'язки зі свого боку зумовлюють збільшення загального вмісту вологи в ґрунті весною на $0,1 \text{—} 4,4 \%$ /10 років (рис. 12) для двох широтних зон на прикладі квітня. Аналогічно, як і для зими, за ГKM 6 спостерігається мінімальний приріст, а для ГKM 5 — максимальний.

Для літа, у липні, спостерігається деяке збільшення значень кореляції порівняно з весною, які за більшістю ГKM коливаються в межах $-0,90 \dots -0,40$ (рис. 13). Такі значення є типовими для обох широтних

зон, проте для центральної вони за деякими моделями дещо вищі. Лише за ГKM 1, яка має найкрупнішу сітку, кореляції між знелісненням і загальним вмістом вологи в ґрунті є дуже слабкими — порядку $-0,2$ для червня—серпня.

Часткове знеліснення влітку спричиняє збільшення загального вмісту вологи в ґрунті на $0,2 \text{—} 4,9 \%$ /10 років (рис. 14) для північної та центральної широтних зон. Мінімальний приріст виявлено за ГKM 6, а максимальний — за ГKM 5. Слід зазначити, що протягом літнього сезону виявлено дещо вищий приріст загальної вологи в ґрунті порівняно із зимою та весною. Такий наслідок, імовірно, зумовлений сезонним максимумом опадів.

Для осені, як і для літа, стають вищими значення кореляційних зв'язків, якщо по-

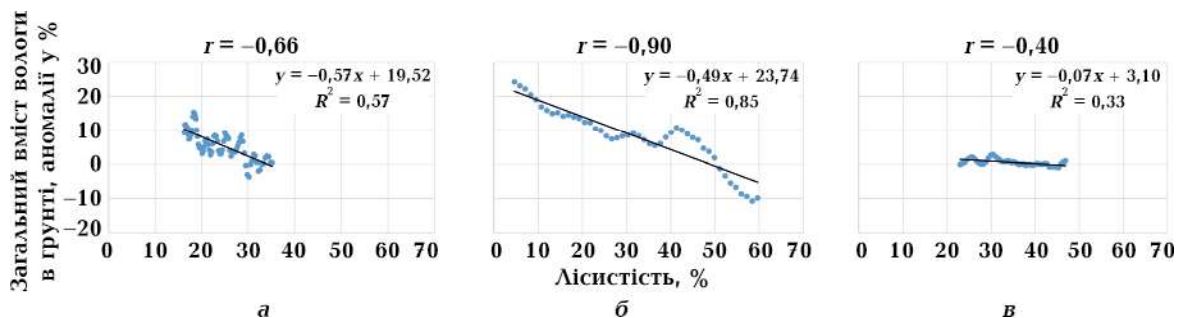


Рис. 13. Кореляція між частковим знелісненням (%) та аномаліями загального вмісту вологи в ґрунті (%) у липні для північної широтної зони за ГKM 3 (а), 5 (б), 6 (в).

Fig. 13. The correlation between the partial deforestation (%) and anomalies of total soil moisture content (%) in July for the northern latitudinal zone for GCMs 3 (a), 5 (b), 6 (v).

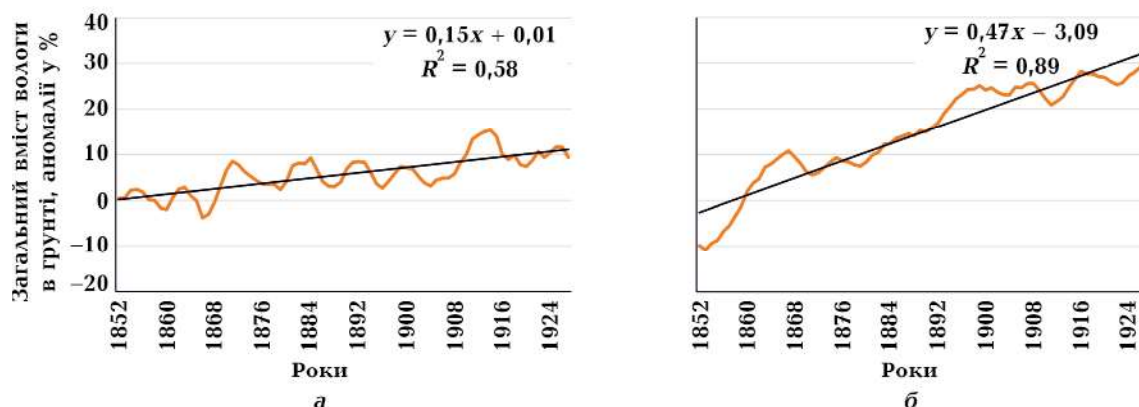


Рис. 14. Лінійний тренд зміни аномалій загального вмісту вологи в ґрунті (%) у липні для північної широтної зони за ГKM 3 (а), 5 (б).

Fig. 14. The linear trend of anomalies of total soil moisture content changes (%) in July for the northern latitudinal zone for GCMs 3 (a), 5 (b).

рівнювати з весняним сезоном (рис. 15). Загалом вони коливаються в межах $-0,88... -0,42$ для північної та центральної широтних зон.

Часткове зменшення лісистості спричиняє збільшення загального вмісту вологи в ґрунті із значущими трендами, які залежно

від ГKM становлять $0,2—4,9\%/10$ років для північної широтної зони (рис. 16), для центральної — $0,1—5,3\%/10$ років. Аналогічно до інших сезонів, мінімальні значення цих трендів спостерігаються за ГKM 6, а максимальні — за ГKM 5.

Загалом за увесь досліджуваний період

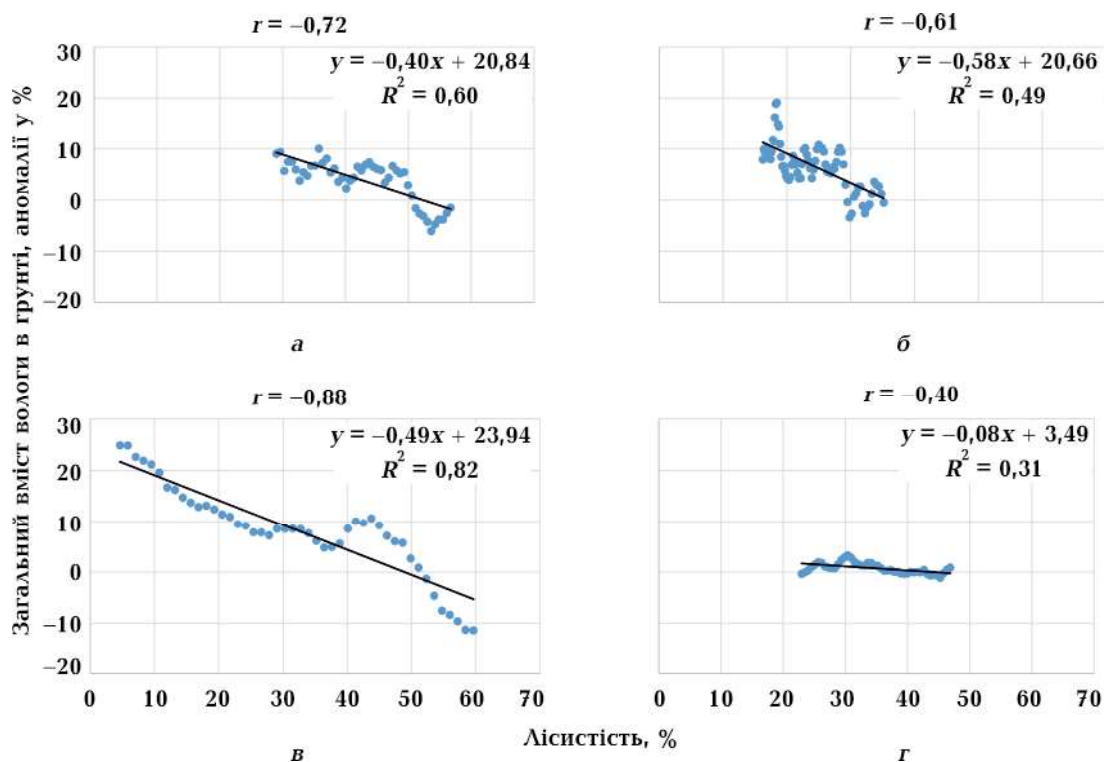


Рис. 15. Кореляція між частковим знелісненням (%) та аномаліями загального вмісту вологи в ґрунті (%) у жовтні для північної широтної зони за ГKM 2 (а), 3 (б), 5 (в), 6 (г).

Fig. 15. The correlation between the partial deforestation (%) and anomalies of total soil moisture content (%) in October for the northern latitudinal zone for GCMs 2 (a), 3 (б), 5 (в), 6 (г).

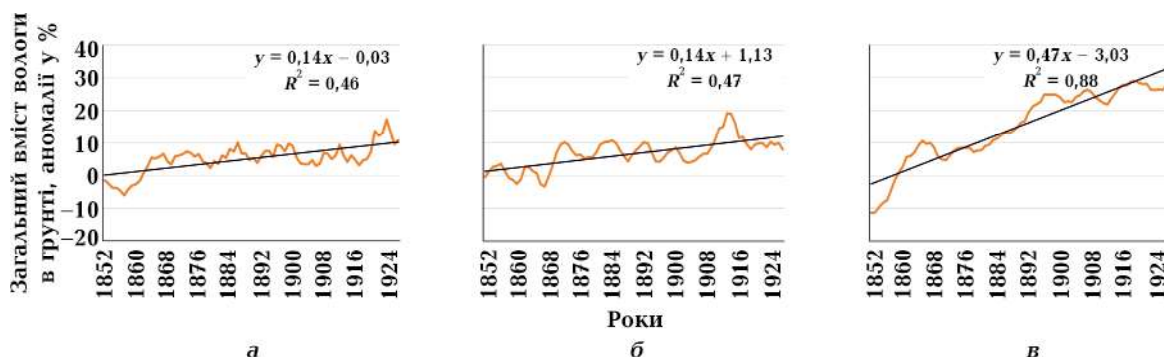


Рис. 16. Лінійний тренд зміни аномалій загального вмісту вологи в ґрунті у жовтні для північної широтної зони за ГKM 2 (а), 3 (б), 5 (в).

Fig. 16. The linear trend of anomalies of total soil moisture content changes (%) in October for the northern latitudinal zone for GCMs 2 (a), 3 (б), 5 (в).

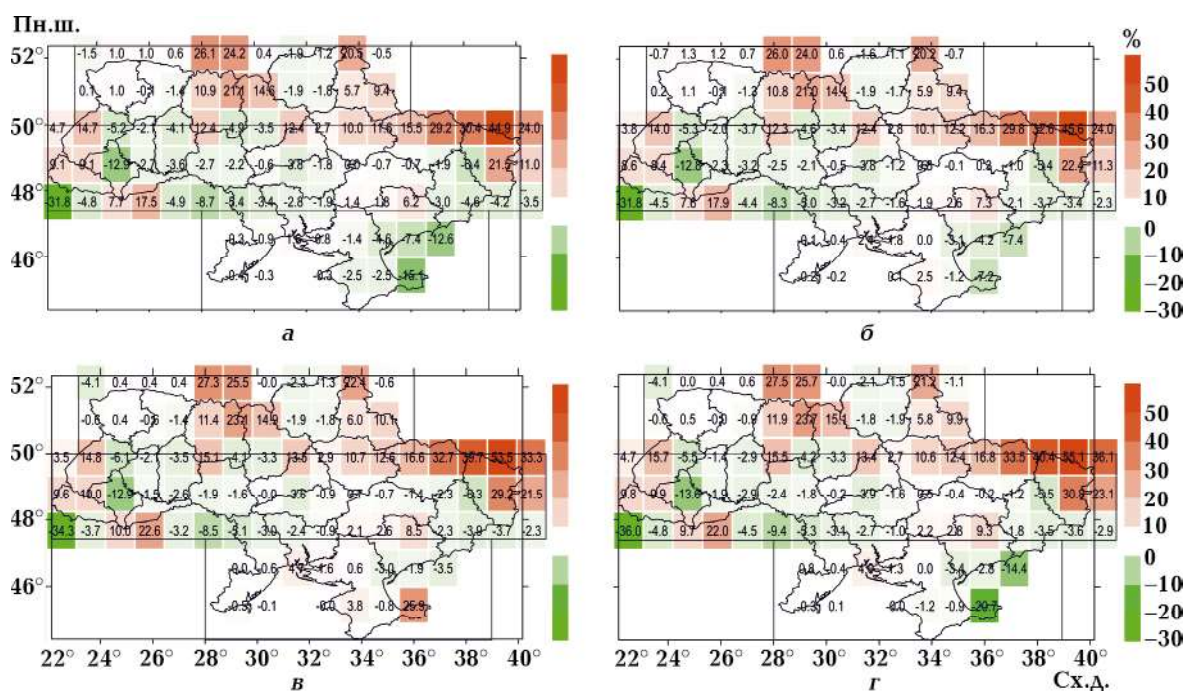


Рис. 17. Просторовий розподіл різниці між загальним вмістом вологи в ґрунті (%) за період після та до знеліснення за ГKM 5 для січня (а), квітня (б), липня (в), жовтня (г).

Fig. 17. The spatial distribution of the difference of the total soil moisture content (%) between periods of steady forest cover and the partial deforestation for GCM5 for January (a), April (b), July (v), October (r).

найбільші зміни загального вмісту вологи у ґрунті виявлені саме в тих вузлах сітки, де відбувалося часткове зменшення лісового покриву. На рис. 17 цей показник зміни наведено на прикладі ГKM 5, для якої максимальне знеліснення було на сході і у центральній частині північної широтної зони та на заході та сході центральної, де максимальні зміни загального вмісту вологи в ґрунті становили 44,9—55,1 % за весь період залежно від місяця. Загалом збільшення загального вмісту вологи в ґрунті виявлено протягом літньо-осіннього сезону. В цей час спостерігається більша кількість опадів, особливо в рідкому фазовому стані, що сприяє кращому просочуванню ґрунту вологою. Варіації зміни показника між сезонами невеликі, максимальні різниці між січнем та жовтнем сягають до 10 % у вузлі сітки на сході центральної широтної зони.

Обговорення та висновки. Встановлено, що в цілому для суми опадів за теплий (квітень—жовтень) та холодний (листопад—березень) сезони не виявлено одно-

спрямованих статистично значущих змін на території України за період знеліснення в експерименті LUMIP, що базується на глобальних кліматичних моделях. Проте для частки опадів, які затримуються рослинним покривом, виявлено вплив знеліснення і встановлено, що усереднені значення лінійних трендів показника у вузлах сітки були максимальними в північній широтній зоні та становили 2,6 %/10 років у холодний (листопад—березень) та 1,5 %/10 років у теплий (квітень-жовтень) сезони. Загалом різниці частки опадів, що затримуються рослинністю, між періодами зменшення лісистості на 35—60 % та стабілізації лісового покриву становитимуть до 14,5 % у холодний та до 12,7 % у теплий сезони року у вузлах сітки. Можна припустити, що у теплий сезон, якщо відбуватиметься однорідне зменшення лісистості, то все одно залишатимуться дерева, що мають розвинені крони, які компенсуватимуть знеліснення в процесі перехоплення (інтерцепції) деякої частки опадів, тоді як у холодний сезон без листяного покриву це

не відбуватиметься. Також виявлено різну чутливість інтерцепції до зміни лісистості в різних моделях, зокрема через різний крок сітки та швидкість знеліснення. Так, для показника затриманих опадів ГKM 5, у якої найбільший крок, зменшення відсотка лісового покриву до 1,5—1,6 %/рік. Ця модель продемонструвала найбільші зміни, тобто виявилася найбільш чутливою порівняно з іншими моделями. Разом з тим за ГKM 4, для якої в цілому характерна вища лісистість по всій Україні, що станом на 1850 р. становила 30—67 % включно з південною широтною зоною, але крок зменшення лісистості становив 0,4—0,5 %/рік, виявлено й менший вплив на частку затриманих опадів. Найменшу чутливість із відсутністю впливу у теплий сезон, незважаючи на найдрібніший крок сітки, продемонструвала ГKM 6, оскільки часткове знеліснення відбувалося лише в 20 вузлах сітки: 13 з яких припадали на північну широтну зону, а решта 7 — на район Карпат та Закарпаття.

Отже, виявлені різниці у результатах глобальних кліматичних моделей стосовно впливу знеліснення на частку затриманих рослинністю опадів у цілому та в різні сезони засвідчують, що їхні результати мають аналізуватися із врахуванням багатьох факторів, зокрема застосованих схем параметризацій підсіткових процесів коло-

обігу води та взаємодії граничного шару атмосфери з підстильною поверхнею.

Внаслідок часткового знеліснення через меншу інтерцепцію збільшувався загальний вміст вологи в ґрунті. Отримано позитивні значення трендів усереднених за широтними зонами, які становили 0,1—4,9 %/10 років у всі місяці року за всіма моделями, окрім ГKM 4, результати якої мали протилежні тенденції. Максимальне збільшення показника виявлено влітку та восени. Вплив знеліснення підтверджується середніми та високими кореляційними зв'язками між 5-річними ковзними усередненнями зменшення лісистості та аномалій загального вмісту вологи в ґрунті. Максимальні збільшення загального вмісту вологи в ґрунті наприкінці періоду експерименту з часткового знеліснення становили 44,9—55,1 % у вузлах сітки за ГKM 5 залежно від місяця.

Таким чином, виявлено і кількісно оцінено зменшення частки затриманих рослинністю опадів унаслідок знеліснення, яке за більшістю оцінок моделей збільшило загальний вміст вологи в ґрунті, що вочевидь впливає на вологісний режим території та може також спричинити зміни гідрологічного режиму і сприяти збільшенню паводків та інших пов'язаних небезпечних і стихійних гідрометеорологічних явищ.

Список літератури

- Балабух В., Малицька Л., Лавриненко О. Динаміка середньорічних показників температури повітря і кількості опадів в окремих ґрунтово-кліматичних зонах України. В кн.: Адаптація агротехнологій до змін клімату: ґрунтово-агрохімічні аспекти. Харків: Стильна типографія, 2018. С. 14—44
- Горбачова Л.О. Просторовий розподіл зв'язків між елементами водного балансу річкових водозборів України. *Укр. географ. журн.* 2014. Вип. 2. С. 17—2 <https://doi.org/10.15407/ugz2014.02.017>.
- Гребінь В.В. Сучасний водний режим річок України (ландшафтно-гідрологічний аналіз). Київ: Ніка-Центр, 2010, 316 с.
- Дмитренко В.П., Однолеток Л.П., Кривошеїн О.О., Круківська А.В. Розвиток методології оцінки потенціалу врожайності сільськогосподарських культур з урахуванням впливу клімату і агрофітотехнологій. *Укр. гідрометеоролог. журн.* 2017. № 20. С. 52—60.
- Затула В.І., Затула Н.І. Аридизація клімату та її вплив на сільське господарство. III Міжнародна науково-практична конференція «Вплив кліматичних змін на просторовий розвиток територій Землі: наслідки та шляхи вирішення», Херсон, 11—12 червня 2020 р. С. 121—123.
- Карамушка В., Бойченко С. Кліматичні викли-

- ки і стратегічне планування розвитку територій і громад в Україні. Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції «Laudato Si: екологічний внесок для сталого розвитку суспільства», Київ, 10—11 грудня 2019 р. С. 11—29.
- Кліматичні ризики функціонування галузей економіки України в умовах зміни клімату. Ред. С.М. Степаненко, А.М. Польовий. Одеса: ТЕС, 2018. 548 с.
- Клімат України. Ред. В. Ліпінський, В. Дячук, В. Бабіченко. Київ: Вид-во Раєвського, 2003, 343 с.
- Краковська С.В., Паламарчук Л.В., Гнатюк Н.В., Шпиталь Т.М., Шедеменко І.П. Зміни поля опадів в Україні у XXI ст. за даними ансамблю регіональних кліматичних моделей. *Геоінформатика*. 2017. № 4 (64). С. 62—74.
- Круківська А.В. Особливості просторового розподілу і міжсезонної динаміки запасів продуктивної вологи в ґрунті на території України. *Фізична географія та геоморфологія*. 2014. Вип. 3. 132—142.
- Кулик М.М., Кириленко О.В. Стан та перспективи гідроенергетики України. *Технічна електродинаміка*. 2019. Вип. 4. С. 56—64. <https://doi.org/10.15407/techned2019.04.056>.
- Олійник В.С., Рак Ю.А. (2018) Водорегульвальна роль лісистості водозборів Горган. *Наукові праці Лісівничої академії наук України*. 2018. № 16. С. 17—23. <https://doi.org/10.15421/411802>.
- Олійник В.С., Ткачук О.М. Водорегульвальна роль системи «насадження—ґрунт» у лісах Передкарпаття. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2014. Вип. 24. С. 9—14.
- Паламарчук Л.В., Шпиг В.М., Гуда К.В. Умови формування сильних опадів холодного періоду року на рівнинній території України. *Фізична географія та геоморфологія*. 2014. Вип. 2. 110—120.
- Писаренко Л.А., Краковська С.В. Взаємодія клімату і підстильної поверхні: основні напрямки сучасних досліджень. *Укр. гідрометеоролог. журн.* 2020. № 25. С. 38—52. <https://doi.org/10.31481/uhmj.25.2020.04>.
- Писаренко Л.А., Краковська С.В. Вплив знеліснення на радіаційний та термічний режим території України на основі даних глобальних кліматичних моделей. *Геофиз. журн.* 2021а. Т. 43. № 3. С. 135—160. <https://doi.org/10.24028/gzh.v43i3.236385>.
- Писаренко Л.А., Краковська С.В. Вплив знеліснення на випаровування вологи з ґрунту та рослинного покриву на території України за даними чисельного експерименту LUMIP. *Геофиз. журн.* 2021б. Т. 43. № 6. С. 221—247. <https://doi.org/10.24028/gzh.v43i6.251564>.
- Повідомлення про оприлюднення проєкту Державної стратегії управління лісами України до 2035 року. Режим доступу: <https://merp.gov.ua/news/36108.html>.
- Польовий А.М. Сільськогосподарська метеорологія. Одеса: ТЕС, 2012. 632 с.
- Польовий А.М., Божко Л.Ю. Вплив кліматичних змін на режим зволоження вегетаційного періоду в Україні. *Укр. гідрометеоролог. й журн.* 2015. № 16. С. 128—140. <https://doi.org/10.31481/uhmj.16.2015.17>.
- Рахманов В.В. Гидроклиматическая роль лесов. Москва: Лесн. промышленность, 1984. 240 с.
- Стратегія адаптації до зміни клімату сільськогосподарського, лісового та рибного господарств України до 2030 року. Режим доступу: https://www.uahhg.org.ua/wp-content/uploads/2019/08/Стратегія-адаптації-до-зміни-клімату-сільськогосподарського-лісового-та-рибного-господарств-України-до-2030-року_29.05.19.pdf.
- Хільчевський В.К. Глобальні водні ресурси: виклики XXI століття. *Вісник Київського нац. університету ім. Тараса Шевченка. Серія: Географія*. 2020. Вип. 1/2 (76/77). С. 6—16. <https://doi.org/10.17721/1728-2721.2020.76-77.1>.
- Хохлов В.М., Єрмоленко Н.С. Майбутні зміни клімату та їх вплив на режим опадів та температури в Україні. *Укр. гідрометеоролог. журн.* 2015. № 16. С. 76—82. <https://doi.org/10.31481/uhmj.16.2015.10>.
- Швиденко А.З., Букша І.Ф., Краковська С.В. Уразливість лісів України до зміни клімату. Київ: Ніка-Центр, 2018. 184 с.
- Шевченко О.Г., Сніжко С.І., Олійник Р.В. Вплив зміни клімату на економіку. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. 2018. № 4(51). С. 102—111.

- Brovkin, V., Boysen, L., Pongratz, J., Vuichard, N., Peylin, P., & Lawrence, D. (2020). Model inter-comparison of idealized global deforestation experiments. *EGU General Assembly, Online, 4–8 May 2020*. <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu2020-10295>.
- Bonan, G.B. (2008). Forests and Climate Change: Forcings, Feedbacks, and the Climate Benefits of Forests. *Science*, 320, 1444–1449. <https://doi.org/10.1126/science.1155121>.
- Bonan, G.B., Pollard, D., & Thompson, S.L. (1992). Effects of boreal forest vegetation on global climate. *Nature*, 359, 716–718. <https://doi.org/10.1038/359716a0><https://doi.org/10.1038/359716a0>.
- Boysen, L., Brovkin, V., & Pongratz, J. (2018). Climatic effects of idealized deforestation experiments in Earth System Models. *Geophysical Research Abstracts*, 20. Retrieved from <https://meetingorganizer.copernicus.org/EGU2018/EGU2018-12079.pdf>.
- Boysen, L., Brovkin, V., Pongratz, J., Lawrence, D., Lawrence, P., Vuichard, N., Peylin, Ph., Liddicoat, S., Hajima, T., Zhang, Y., Rocher, M., Delire, Ch., Séférian, R., Arora, V.K., Nieradzik, L., Anthoni, P., Thiery, W., Laguë, M., Lawrence, D., & Lo, M.-H. (2020). Global climate response to idealized deforestation in CMIP6 models. *Biogeosciences*, 17, 5615–5638. <https://doi.org/10.5194/bg-17-5615-2020>.
- CMIP Phase 6 (CMIP6). (2022). Retrieved from <https://www.wcrp-climate.org/wgcm-cmip/wgcm-cmip6>.
- Lawrence, D.M., Hurtt, G.C., Arneeth, A., Brovkin, V., Calvin, K.V., Jones, A.D., Jones, C.D., Lawrence, P.J., de Noblet-Ducoudré, N., Pongratz, J., Seneviratne, S.I., & Shevliakova, E. (2016). The Land Use Model Intercomparison Project (LUMIP) contribution to CMIP6: rationale and experimental design. *Geoscientific Model Development*, 9, 2973–2998. <https://doi.org/10.5194/gmd-9-2973-2016>.
- ESGF: WCRP Coupled Model Intercomparison Project. (2022). Retrieved from <https://esgf-node.llnl.gov/search/cmip6/>.
- IPCC: Special Report on Climate Change, Desertification, Land Degradation, Sustainable Land Management, Food Security, and Greenhouse gas fluxes in Terrestrial Ecosystems. (2019). Retrieved from <https://www.ipcc.ch/srccl/>.
- Groisman, P.Ya., & Ivanov, S.V. (2009). *Regional aspects of climate-terrestrial-hydrologic interactions in non-boreal Eastern Europe*. Springer, 376 p.
- Huang, B., Hu, X., Fuglstad, G.-A., Zhou, X., Zhao, W., & Cherubini, F. (2020). Predominant regional biophysical cooling from recent land cover changes in Europe. *Nature Communications*, 11. <https://doi.org/10.1038/s41467-020-14890-0>.
- Osyrov, V., Speka, O., Chyhareva, A., Osadcha, N., Krakovska, S., & Osadchyi, V. (2021). Water resources of the Desna river basin under future climate. *Journal of Water and Climate Change*, 12(7), 3355–3372. <https://doi.org/10.2166/wcc.2021.034>.

The influence of partial deforestation on moisture regime: sums of precipitation and total soil moisture content for the territory of Ukraine based on data of numerical experiment LUMIP

L.A. Pysarenko¹, S.V. Krakovska^{1,2}, 2022

¹Ukrainian Hydrometeorological Institute of the State Emergency Service of Ukraine
and the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

²State Institution National Antarctic Scientific Center Ministry of Education
and Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

The paper is dedicated to the impact of partial deforestation on sums of precipitation and part/fraction or sums of precipitation intercepted by the canopy; total soil moisture content under condition of minimal anthropogenic influence for the territory of Ukraine. In this work used data from the Land Use Model Intercomparison Project (LUMIP), which is based on Global Climate Models (GCMs). The purpose of LUMIP is to reveal patterns of changes of climate characteristics due to gradual global deforestation with a trend approximately 1 % every year and its replacement on grass or pastures for period 1850—1899. This time span is considered as the pre-industrial. The next period, 1900—1929 is without changes in forest cover. For estimation of impacts of partial deforestation the methods of anomalies over the first 20-year period (1850—1869) was used with further application of 5-year running mean of climatic characteristics to smooth their interannual variability. Coefficients of linear correlation between running mean anomalies of specific characteristic and the percentage of forest cover in grid cells with averaging over latitudinal zones, linear trends and differences were estimated.

Overall estimations have shown that the global partial deforestation doesn't impact directly on of monthly total precipitation in the middle latitudes, particularly, in Ukraine. But gradual forest reduction decreases part or fraction of precipitation intercepted by the canopy in both cold and warm seasons with average trend up to $-2,6...-1,5$ %/10 years in latitudinal zones in specific grids, where forest cover was reduced. The maximal decline was up to -14.5 % in grids as the difference between the 50-year period of partial deforestation and the next 30-year period. Such an effect will cause more precipitation reaching the ground and most likely will influence surface runoff. Found, that it causes the increase in total soil moisture content with trend $0.1—4.9$ %/10 years depending on month and climate model, but with most significant changes during summer and autumn seasons.

Thus, the analysis of LUMIP data for Ukraine has revealed that the partial deforestation caused the decrease of fraction part/fraction of precipitation intercepted by the canopy. Most GCMs demonstrated that this reduction provoked the increase of total soil moisture content and also can cause changes in hydrological regime and provoke higher flood frequency and other related hydrometeorological hazards in the forest part of Ukraine.

Key words: LUMIP, deforestation, sums of precipitation, sums or the fraction of precipitation intercepted by the canopy, total soil moisture content.

References

- Balabukh, V., Malytska, L., & Lavrynenko, O. (2018). Dynamics of average annual indicators of air temperature and precipitation in certain soil-climatic zones of Ukraine. In *Adaptation of agricultural technologies to climate change: soil and agrochemical aspects* (pp. 14—44). Kharkiv: Styl'na typpohrafiia (in Ukrainian).
- Gorbachova, L.O. (2014). Spatial links distribution between water balance elements of the Ukraine river catchments. *Ukrainian Geographical Journal*, (2), 17—21. <https://doi.org/10.15407/ugz2014.02.017> (in Ukrainian).
- Grebin, V.V. (2010). *Modern streamflow regime of rivers in Ukraine (landscape-hydrology analysis)* Kyiv: Nika-Centre, 316 p. (in Ukrainian).
- Dmytrenko, V.P., Odnolyetok, L.P., Kryvoshein, O.O., Krukivska, A.V. (2017). Development of the methodology of estimating of agricultural crop yield potential with consideration of climate and agrophytotechnology impact. *Ukrainian Hydrometeorological Journal*, (20), 52—60 (in Ukrainian).
- Zatula, V.I., & Zatula, N.I. (2020). Aridization of the climate and its impact on agriculture. *Materials of the 3rd International Scientific and Practical Conference «The impact of climate change on spatial development of Earth's territories: implications and solutions»*, Kherson, 11—12 July 2020 (pp. 121—123) (in Ukrainian).
- Karamushka, V., & Boychenko, S. (2019) Klimatychni vyklyky i stratehichne planuvannya rozvytku terytorii i hromad v Ukraini. *Materials of International scientific-practical conference «Laudato Si: Environmental contribution to sustainable development of society»*, Kyiv, 10—11 December 2019 (pp. 11—29) (in Ukrainian).
- Stepanenko, S.M. & Polevoy, A.M. (Eds.). (2018). *Climatic risks of functioning of branches of the economy of Ukraine in the conditions of climate change: monograph*. Odessa: TES, 548 p. (in Ukrainian).
- Lipinsky, V., Dyachuk, V., & Babichenko, V. (Eds.). (2003). *Climate of Ukraine*. Kyiv: Rayevskyy Publishing, 343 p. (in Ukrainian).
- Krakovska, S.V., Palamarchuk, L.V., Gnatiuk, N.V., Shpyta, T.M. & Shedemenko, I.P. (2017). Changes in precipitation distribution in Ukraine for the 21st century based on data of regional climate model ensemble. *Geoinformatika*, (4), 62—74 (in Ukrainian).
- Krukivska, A.V. (2014). The features of spatial distribution and seasonal dynamics of productive soil moisture on the territory of Ukraine. *Physical Geography and Geomorphology*, (3), 132—142 (in Ukrainian).
- Kulyk, M.M., & Kyrylenko, O.V. (2019). The state and prospects of hydroenergy of Ukraine. *Tekhnichna Elektrodynamika*, (4), 56—64. <https://doi.org/10.15407/techned2019.04.056> (in Ukrainian).
- Oliinyk, V.S., Rak, Yu.A. (2018). Water regulating role of the forest cover of the Gorgany watersheds. *Proceedings of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine*, (16), 17—23. <https://doi.org/10.15421/411802> (in Ukrainian).
- Olijnyk, V.S., & Tkachuk, O.M. (2014). The Water-Regulating Role of the «Plantation-Soil» System in the Pre-Carpathian Forests. *Scientific Bulletin of UNFU*, (24), 9—14 (in Ukrainian).
- Palamarchuk, L.V., Shpyg, V.M., Huda, K.V. (2014) Conditions of formation of strong cold season precipitation in the plains territory of Ukraine. *Physical geography and geomorphology*, (2), 110—120 (in Ukrainian).
- Pysarenko, L.A., & Krakovska, S.V. (2020). Main directions in modern research of interaction between climate and land use/land cover changes. *Ukrainian Hydrometeorological Journal*, (25), 38—52. <https://doi.org/10.31481/uhmj.25.2020.04> (in Ukrainian).
- Pysarenko, L.A., & Krakovska, S.V. (2021a). Impact of deforestation on radiative and thermal regimes of the territory of Ukraine on the base of global climate models data. *Geofizicheskiy Zhurnal*, 43(3), 135—160. <https://doi.org/10.24028/gzh.v43i3.236385> (in Ukrainian).
- Pysarenko, L.A., & Krakovska, S.V. (2021b). Impact of deforestation on moisture evaporation from soil and canopy for the territory of Ukraine based on data of numerical experiment LU-MIP. *Geofizicheskiy Zhurnal*, 43(6), 221—247. <https://doi.org/10.24028/gzh.v43i6.251564> (in Ukrainian).

- Announcement about a draft of the Strategic Plan for State Forest Management of Ukraine until 2035. Retrieved from <https://mepr.gov.ua/news/36108.html> (in Ukrainian).
- Pol'ovyi, A.M. (2012). *Agricultural Meteorology*. Odessa: TES, 623 p. (in Ukrainian).
- Pol'ovyy, A.M., & Bozhko, L.Yu. (2015). Influence of climatic changes on mode of moistening of vegetation period in Ukraine. *Ukrainian Hydrometeorological Journal*, (16), 128—140. <https://doi.org/10.31481/uhmj.16.2015.17> (in Ukrainian).
- Rakhmanov, V.V. (1984). *Hydroclimatic role of forests*. Moscow: Lesnaya promyshlennost, 240 p. (in Russian).
- The Strategy for Adaptation to Climate Change in Agriculture, Forestry, Fisheries and Hunting of Ukraine until 2030. (2019). Retrieved from https://www.uahhg.org.ua/wp-content/uploads/2019/08/Стратегія-адаптації-до-зміни-клімату-сільського-лісового-та-рибного-господарств-України-до-2030-року_29.05.19.pdf (in Ukrainian).
- Khilchevskiy, V.K. (2020). Global water resources: challenges of the 21st century. *Visnyk Kyivskogo nacionalnogo universytetu imeni Tarasa Shevchenka, Geografiya*, (1/2), 6—16. <https://doi.org/10.17721/1728-2721.2020.76-77.1> (in Ukrainian).
- Khokhlov, V.M., & Yermolenko, N.S. (2015). Future climate change and its impact on precipitation and temperature in Ukraine. *Ukrainian Hydrometeorological Journal*, (16), 76—82. <https://doi.org/10.31481/uhmj.16.2015.10> (in Ukrainian).
- Shvidenko, A.Z., Buksha, I.F., & Krakovska, S.V. (2018). *Vulnerability of Ukraine's forests to climate change*. Kyiv: Nika-Centre, 184 p. (in Ukrainian).
- Shevchenko, O.G., Snizhko, S.I., & Oliynyk, R.V. (2018) Climate change impact on the economy. *Hydrology, hydrochemistry and hydroecology*, (4), 102—111 (in Ukrainian).
- Brovkin, V., Boysen, L., Pongratz, J., Vuichard, N., Peylin, P., & Lawrence, D. (2020). Model intercomparison of idealized global deforestation experiments. *EGU General Assembly, Online, 4—8 May 2020*. <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu2020-10295>.
- Bonan, G.B. (2008). Forests and Climate Change: Forcings, Feedbacks, and the Climate Benefits of Forests. *Science*, 320, 1444—1449. <https://doi.org/10.1126/science.1155121>.
- Bonan, G.B., Pollard, D., & Thompson, S.L. (1992). Effects of boreal forest vegetation on global climate. *Nature*, 359, 716—718. <https://doi.org/10.1038/359716a0><https://doi.org/10.1038/359716a0>.
- Boysen, L., Brovkin, V., & Pongratz, J. (2018). Climatic effects of idealized deforestation experiments in Earth System Models. *Geophysical Research Abstracts*, 20. Retrieved from <https://meetingorganizer.copernicus.org/EGU2018/EGU2018-12079.pdf>.
- Boysen, L., Brovkin, V., Pongratz, J., Lawrence, D., Lawrence, P., Vuichard, N., Peylin, Ph., Liddicoat, S., Hajima, T., Zhang, Y., Rocher, M., Delire, Ch., Séférian, R., Arora, V.K., Nieradzick, L., Anthoni, P., Thiery, W., Laguë, M., Lawrence, D., & Lo, M.-H. (2020). Global climate response to idealized deforestation in CMIP6 models. *Biogeosciences*, 17, 5615—5638. <https://doi.org/10.5194/bg-17-5615-2020>.
- CMIP Phase 6 (CMIP6). (2022). Retrieved from <https://www.wcrp-climate.org/wgcm-cmip/wgcm-cmip6>.
- Lawrence, D.M., Hurtt, G.C., Arneth, A., Brovkin, V., Calvin, K.V., Jones, A.D., Jones, C.D., Lawrence, P.J., de Noblet-Ducoudré, N., Pongratz, J., Seneviratne, S.I., & Shevliakova, E. (2016). The Land Use Model Intercomparison Project (LUMIP) contribution to CMIP6: rationale and experimental design. *Geoscientific Model Development*, 9, 2973—2998. <https://doi.org/10.5194/gmd-9-2973-2016>.
- ESGF: WCRP Coupled Model Intercomparison Project. (2022). Retrieved from <https://esgf-node.llnl.gov/search/cmip6/>.
- IPCC: Special Report on Climate Change, Desertification, Land Degradation, Sustainable Land Management, Food Security, and Greenhouse gas fluxes in Terrestrial Ecosystems. (2019). Retrieved from <https://www.ipcc.ch/srccl/>.
- Groisman, P.Ya., & Ivanov, S.V. (2009). *Regional aspects of climate-terrestrial-hydrologic interactions in non-boreal Eastern Europe*. Springer, 376 p.

Huang, B., Hu, X., Fuglstad, G.-A., Zhou, X., Zhao, W., & Cherubini, F. (2020). Predominant regional biophysical cooling from recent land cover changes in Europe. *Nature Communications*, 11. <https://doi.org/10.1038/s41467-020-14890-0>.

Osyrov, V., Speka, O., Chyhareva, A., Osadcha, N., Krakovska, S., & Osadchyi, V. (2021). Water resources of the Desna river basin under future climate. *Journal of Water and Climate Change*, 12(7), 3355—3372. <https://doi.org/10.2166/wcc.2021.034>.