

С.В. Краковська

СУЧАСНІ ЗМІНИ КЛІМАТУ ЛУГАНСЬКОЇ ОБЛАСТІ

Досліджено зміни кліматичних умов у Луганській області в період 1991–2010 рр. відносно стандартного кліматичного періоду 1961–1990 рр. Проаналізовано зміни річних і місячних температур повітря й кількості опадів та їх просторовий розподіл. Детально розглянуто сучасні зміни кліматичних індексів у Луганську, зокрема індексів спеки, холоду, зволоження та посушливості разом з комбінованими індексами, запропонованими групою експертів з European Climate Assessment&Dataset.

Ключові слова: клімат, зміни кліматичних характеристик, Луганська область, кліматичні індекси.

Вступ. Питання сучасних змін клімату останнім часом турбує практично всіх людей в усіх країнах світу, оскільки такі зміни, з одного боку, є очевидними та доведені спостереженнями й інструментальними вимірами [3, 4, 7, 10–13, 15], з іншого – їм приділяють досить багато уваги в засобах масової інформації. До того ж кліматичні умови визначають переважну більшість сфер людської діяльності, і не враховувати їх можливих змін у будь-якому довготривалому плануванні розвитку цих сфер неможливо.

Відомо, що протягом останніх 20–25 років відбувалися значні зміни глобального клімату, які мали різні регіональні прояви. Найповніший аналіз цих змін разом із можливими причинами та наслідками викладено у Четвертій оцінювальній доповіді (ОД4) Міжурядової групи експертів зі змін клімату (МГЕЗК) у 2007 р. [7, 15]. Зауважимо, що в ОД4 представлено оцінки стану кліматичної системи та прогноз її змін у XXI ст., які було зроблено передусім на основі аналізу та порівняння результатів моделювання із середніми значеннями кліматичних характеристик сучасного клімату, за які було взято показники за період 1980–1999 рр. Він відмінний від рекомендованого Всесвітньою метеорологічною організацією (ВМО) стандартного періоду 1961–1990 рр. і більш наближений до сучасності. Інакше кажучи, очевидно, що через сучасні зміни клімату, які почали фіксувати приблизно з кінця 1980-х років, мають змінитися кліматичні стандарти і, відповідно, стандартний кліматичний період. Навіть тривалість цього періоду з 30 років зменшилась до 20, оскільки кліматичні зміни (потепління) в останні десятиріччя відбуваються зі швидкістю, яка набагато перевищує раніше зафіксовані швидкості змін за всю відому історію планети.

Постановка задачі. Сучасні досягнення чисельного кліматичного моделювання дають змогу будувати проєкції кліматичних змін у майбутньому з достатнім просторовим розділенням для таких адміністративних одиниць, як область, і ви-

користовувати їх для розробки адаптаційних та пом'якшувальних заходів щодо негативних наслідків кліматичних змін [7]. Однак для побудови таких чисельних проєкцій у будь-якому регіоні, як і для багатьох практичних завдань, насамперед слід визначити ті зміни, які вже відбулися у минулому та відбуваються нині. У цьому дослідженні як базовий для визначення майбутніх змін клімату запропоновано період 1991–2010 рр., який вважатимемо за “сучасний клімат”. Тоді за “сучасні зміни клімату” прийматимемо зміни кліматичних характеристик у період 1991–2010 рр. порівняно із стандартним кліматичним періодом 1961–1990 рр., який уже можна вважати кліматом “недавнього минулого”. Зауважимо, що стандартний період має 30 років, на відміну від періоду сучасного клімату. Тому для збереження однорідності та неперервності рядів та однотипності у визначенні таких характеристик клімату, як, наприклад, міжрічна мінливість або кількість явищ за певний проміжок часу, недавнім минулим кліматичним періодом вважатимемо також 20-річчя 1971–1990 рр.

Офіційним нормативним документом, на який необхідно посилатися всім, хто використовує кліматологічну інформацію у своїй виробничій діяльності, є Кліматичний кадастр України (ККУ) [1]. Тому наведемо загальну характеристику та основні показники клімату Луганської області з ККУ, в якому представлено екстремальні значення метеорологічних величин за весь період спостережень, а всі середні кліматичні характеристики розраховано за стандартний період 1961–1990 рр.

Луганська область, як і майже вся Україна, за винятком Південного берега Криму, розміщується у кліматичній зоні помірних широт, оскільки протягом року тут переважають повітряні маси помірних широт, які є наслідком трансформації як океанічного, так і континентального повітря. У межах цієї зони Луганщина входить до степової Атлантико-континентальної кліматичної об-

ласті, клімат якої характеризується найбільшою континентальністю та посушливістю [3]. На підтвердження останнього зазначимо, що саме в Луганську зафіксовано абсолютні максимум (+42,0 °C 12.08.2010 р.) і мінімум (-41,9 °C 08.01.1935 р.) приземної температури повітря в Україні [2].

У загальних рисах клімат Луганської області характеризується жарким і сухим літом із посушливо-суховійними явищами, холодною і мало-сніжною зимою з частими відлигами, туманами та ожеледицями на півдні. Середньорічна температура повітря становить +7,5 ... +8,5 °C, середня температура найтеплішого місяця (липня) +21 ... +22 °C, холодного (січень) -6 ... -7 °C. Середні (денні) максимуми температури повітря у липні +27 ... +28 °C, у січні -2 ... -4 °C. Середні (нічні) мінімуми температури у липні - +14 ... +16 °C, у січні -9 ... -10 °C. Взимку поряд з переважно низькими від'ємними температурами бувають відлиги до +2 ... +5 °C. На території області опади розподіляються нерівномірно. Найбільша їх кількість випадає у південно-західній, найменша - у центральній, східній і північно-східній частинах. Середня кількість опадів за рік коливається від 409±114 мм у степовій частині області до 598±125 мм у районі Донецького кряжа. У теплий період (з квітня до жовтня) випадає 60-70 % усієї кількості опадів за рік. Опади мають переважно зливовий характер. У Луганську середня річна кількість опадів становить 474±88,5 мм, мінімальна - 285 (1949), максимальна - 798 мм (1992 р.) [1].

Зауважимо також, що для пересічного користувача стало вже нормою шукати інформацію про те, що його цікавить, зокрема про погоду та клімат, у мережі Інтернет. Однак на досить авторитетних сайтах таких, як, наприклад, Вікіпедія та офіційний сайт МЗС України [5], такі характеристики, як середні температури січня та липня, річна кількість опадів у Луганську та області, не відповідають не лише сучасним показникам, а й ККУ, і тому взагалі невідомо, звідки з'явилися такі кількісні оцінки. Водночас на спеціалізованих сайтах, таких як, наприклад, "Погода и климат" [6], крім основних кліматичних характеристик (середніх та екстремальних щомісячних температур і кількості опадів), наведено інші, досить спеціалізовані показники, а саме кількість днів з явищами або повторюваність різних типів хмар чи висота снігового покриву, які також не відповідають даним ККУ. На відміну від щойно згаданих сайтів, на досить популярному в Україні сайті *meteoproг* представлено інформацію з ККУ, але ніде не вказано джерело для наведених кліматичних норм. Узагалі для всіх ресурсів Інтернету, де представлено кліматичні дані, характерною рисою є те, що не вказані ні джерела даних, ні період, за який роз-

раховано кліматичні норми. Тому здебільшого така інформація непридатна для використання з практичною метою не тільки для кількісних оцінок сучасних кліматичних змін, а й для планування розвитку економічної сфери регіону, зокрема розробки адаптаційних заходів щодо кліматичних змін у майбутньому.

Аналіз змін річних кліматичних характеристик.

Аналіз сучасних кліматичних змін доцільно розпочати із середніх річних основних кліматичних характеристик. Наочно продемонструвати, що такі зміни в області відбулись, можна за допомогою графіка часового ходу середньої річної температури повітря в Луганську (рис. 1). На цьому рисунку разом із середніми річними мінімальною, середньою та максимальною температурами повітря показано лінійні тренди за періоди 1961-1990 і 1991-2010 рр. (потовщені лінії), а також значення з ККУ ± стандартні відхилення (штрихові лінії). Зауважимо, що лінійні тренди в недавньому минулому практично збігалися із середніми значеннями відповідних величин, які через це не наведено, але все ж мають невеликий від'ємний кут нахилу (-0,4 ... -0,9 °C/100 років), на відміну від сучасного періоду, для якого коефіцієнти лінійного тренду температур становлять 0,7-0,9 °C/10 років. При цьому найменші коефіцієнти для обох періодів знайдено для мінімальної температури, а найбільші - для максимальної.

З рис. 1 також видно, що скорочення стандартного періоду до 20 років з початком у 1971 р. не дуже позначиться на середніх значеннях, оскільки, принаймні до 1980 р., коливання температур практично не виходили за межі стандартно-

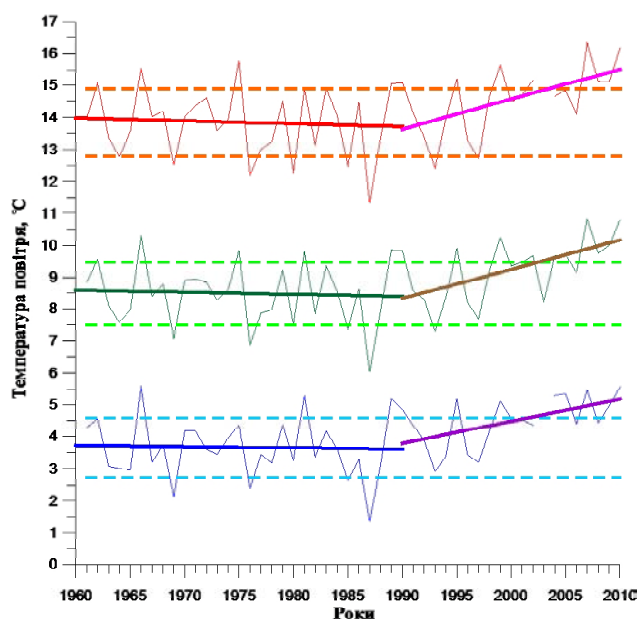


Рис. 1. Часовий хід середніх річних мінімальної, середньої та максимальної температур повітря в Луганську. Потовщені лінії - лінійні тренди за періоди 1961-1990 рр. та 1991-2010 рр.; штрихові - кліматичні норми з ККУ ± стандартні відхилення

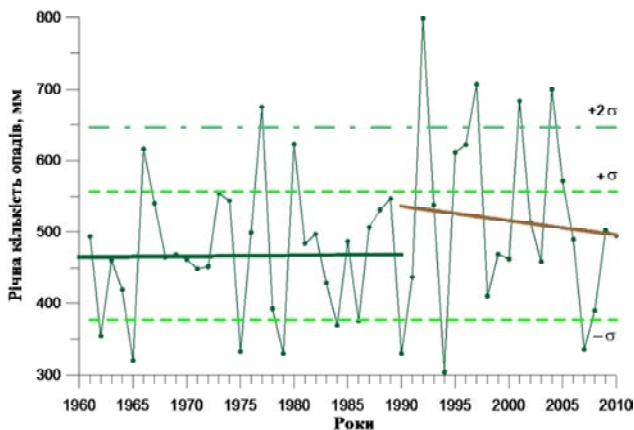


Рис. 2. Часовий хід річних сум опадів у Луганську. Потовщені лінії – лінійні тренди за періоди 1961–1990 рр. та 1991–2010 рр.; штрихові – кліматичні норми з ККУ \pm одне стандартне відхилення; штрих-пунктирна лінія – плюс подвоєне стандартне відхилення

го відхилення, а потім було швидше за все похолодання аж до екстремально холодного 1987 р., після якого почався вже період сучасного потепління. Протягом останніх 7–8 років всі середні значення температури вийшли за межі стандартного відхилення ККУ, тобто кліматичні стандарти мають змінитися.

Аналогічний аналіз середніх річних сум опадів з 1961 р. (рис. 2) підтверджує те, що протягом останніх 20 років кліматичні норми і для режиму випадання опадів теж змінилися. Запропонований нами період 1971–1990 рр. замість 1961–1990 рр. характеризується практично таким самим розподілом сум опадів, як і в кліматичний стандартний період. Починаючи з 1991 р. річні суми опадів значно перевищували норми ККУ і чотири рази (у 1992, 1997, 2001 та 2004 рр.) виходили за межі двох стандартних відхилень ККУ, на відміну від попередніх 30 років, коли таку екстремальну кількість опадів було зафіксовано тільки один раз, у 1977 р. При цьому в 1992 р. виявлено абсолютні рекорди річної кількості опадів (798,5 мм) та місячної за липень (233,9 мм) проти відповідно 716 та 170 мм; обидва попередні рекорди спостерігали в 1925 р. Водночас кількість посушливих років зменшилася з двох за 10 років до одного за такий самий проміжок часу. Тому середнє значення річної кількості опадів у сучасний період (525 мм) помітно перевищує значення недавнього минулого (467 мм), і лінія тренду розташована вище, ніж у попередній період. При цьому змінився напрям трендів, а його значення так само, як і для температури, істотно збільшилося з 0,1 до 2,4 мм/рік. Тільки річна температура в минулому трохи зменшувалася, а потім значно зростала, а кількість опадів, навпаки, спочатку незначно збільшувалась, а нині у середньому зменшується. Стандартне відхилення та коефіцієнт варіації

опадів сучасного клімату, тобто їх міжрічна мінливість, суттєво підвищились і становлять відповідно 127 мм і 0,24 проти 90 мм і 0,19 у стандартний період ККУ (рис. 2).

Місячні температури повітря та кількості опадів і розподіл їх змін. Очевидно, що клімат змінюється не монотонно і однаково для кожного з місяців року. Тому вважаємо за доцільне проаналізувати зміни середніх місячних кліматичних характеристик за три періоди (рис. 3, 4).

Для середніх місячних температур повітря (рис. 3) перший висновок очевидний – скорочення періоду ККУ дійсно суттєво не вплинуло на кліматичні норми температури. Найбільшу додатну різницю (0,4 °C) зафіксовано у січні, від'ємну (–0,3 °C) – у липні та листопаді, три місяці мали однакові значення, а в інші різниця становила $\pm 0,2$ °C, при цьому середнє річне значення не змінилося. Однак протягом сучасного періоду відбулося значне потепління, яке зафіксовано майже в усіх місяцях, за винятком травня (–0,3 °C) та грудня (–0,6 °C). Максимально більш як на градус потеплишали січень (+1,8 °C), лютий (+1,6 °C), березень (+1,4 °C), липень (+1,5 °C), серпень (+1,2 °C) і жовтень (+1,4 °C). Річна різниця +0,7 °C. Зафіксовано також збільшення стандартних відхилень, тобто міжрічної мінливості, середніх місячних температур повітря в липні (+0,8 °C), вересні (+0,6 °C), листопаді (+0,8 °C) та грудні (+0,4 °C). Зменшилися стандартні відхилення в середньому на –0,5 °C із січня до травня і в жовтні, що засвідчує деяку стабілізацію температурного режиму цих місяців на відміну від попередньої групи, для яких можливі ще більші коливання середніх місячних температур рік у рік, ніж у недавньому минулому. При цьому стандартне відхилення середньої річної температури сучасного клімату не змінилося і становить, як і в попередні періоди, 1 °C.

Як і для температури, у сучасний період зафіксовано суттєві зміни в режимі випадання опадів протягом року, на відміну від незначних різниць (± 3 мм, за винятком липня +7 мм) між значеннями у періоди ККУ та запропонованого як базовий недавній минулий період 1971–1990 рр. (рис. 4).

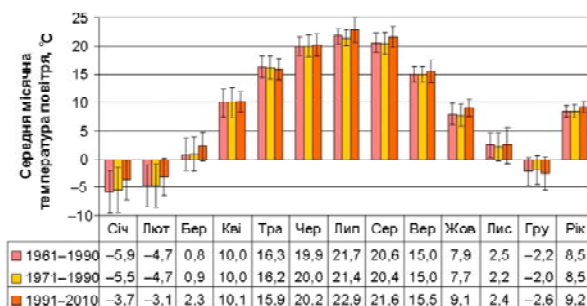


Рис. 3. Багаторічні середні місячні та річні температури повітря зі стандартними відхиленнями в Луганську

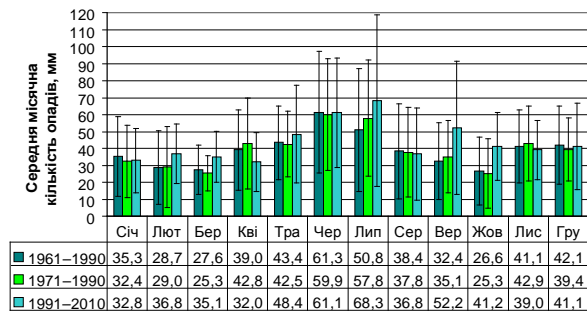
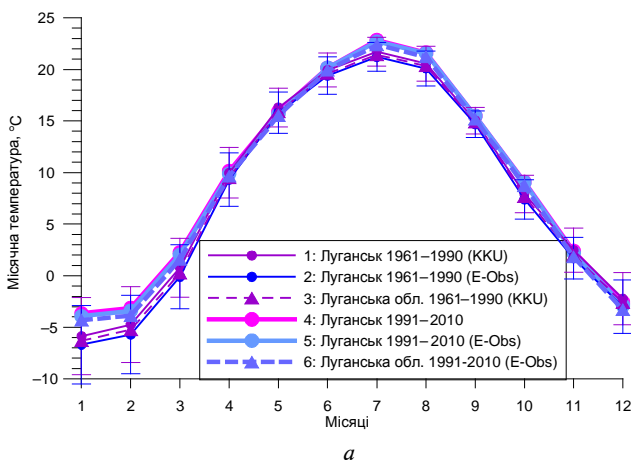


Рис. 4. Багаторічні середні місячні суми опадів зі стандартними відхиленнями в Луганську

В останні десятиріччя суттєво збільшилась кількість опадів у березні (+9,8 мм, +39%), вересні (+17,1 мм, +49%) та жовтні (+15,9 мм, +63%). Досить значне збільшення опадів зафіксовано у лютому (+7,8 мм, 27%), травні (+5,9 мм, +14%) й липні (+10,5 мм, +18%). Значно посушливим виявився квітень (−10,8 мм, −25%). У листопаді також зменшилась кількість опадів на −3,9 мм, або −10%. В інші місяці значних змін не відбулося, і всі вони – в межах ± 2 мм, або ± 5 %. Зрозуміло, що оскільки зміни кількості опадів у більшості місяців додатні, то й річна кількість має збільшитись, як уже зазначено вище. Ця зміна становить 55 мм/рік, або 12%.

Найбільші зміни у міжрічній мінливості кількості опадів зафіксовано у вересні, коли не тільки суттєво збільшилась багаторічна середня сума опадів, а й підвищилася її стандартне відхилення з 23 до 39 мм, або на 82% (рис. 4). Значно збільшилося стандартне відхилення в березні (+5 мм, 45%), травні (+9,5 мм, 48%), липні (+16,5 мм, 48%) і грудні (+7 мм, 37%). Як і кількість опадів, найбільше зменшилися міжрічні коливання у квітні (−9,4 мм, −35%). Стабільнішими щодо кількості опадів стали січень, коли зменшилось стандартне відхилення на −2,5 мм (−11%), лютий (−6 мм, −26%) і листопад (−5 мм, −22%). Для річної кількості опадів зміна стано-



вила +33 мм, або 35%, тобто більш ніж на третину зросли щорічні коливання сум опадів.

Зауважимо, що наведений вище аналіз сучасних змін кліматичних характеристик проведено на основі даних ст. “Луганськ”. Проте для повної оцінки змін клімату області цього недостатньо, оскільки її територія досить велика (26,7 тис. км²) і має не зовсім однорідний рельєф і, відповідно, кліматичні умови. Наскільки клімат Луганська може представляти клімат всієї області, можна зрозуміти з рис. 5. Дані, отримані з бази E-Obs [13], використано для оцінок майбутніх змін клімату області. Тому проаналізуємо, як вони відповідають реальним вимірам.

Для температури (рис. 5, а) очевидно, що криві для кожного з періодів близькі одна до одної, форма їх річного ходу повністю збігається, але значення для Луганська (криві 1, 4) вищі за інші набори даних. Зауважимо, що ст. “Луганськ” розташована південніше і нижче щодо рівня моря, ніж інші станції області, що, певно, і є причиною вищих температур. Проте середньоквадратичні помилки річних розподілів, представлених кривими 2, 3 відносно кривої 1 та кривими 5, 6 відносно кривої 4, не перевищують 0,1 °С, а коефіцієнти кореляції дорівнюють одиниці. Таким чином, середні місячні значення температури повітря в Луганську можна використовувати для характеристики термічного режиму всієї області. Зауважимо, що на рис. 5, а також очевидні сучасні зміни термічного режиму області (див. рис. 3).

Для опадів (рис. 5, б) також очевидно, що в цілому для кожного з періодів річні розподіли даних E-Obs та середніх за площею всієї області відносно значень у Луганську представлено правильно. Відбуваються також ті сучасні зміни режиму зволоження, які проаналізовано вище (див. рис. 4), а саме: зміщення основного максимуму з червня на липень у Луганську, перерозподіл кількості опадів упродовж року і утворення додаткових максимумів у лютому (березні –

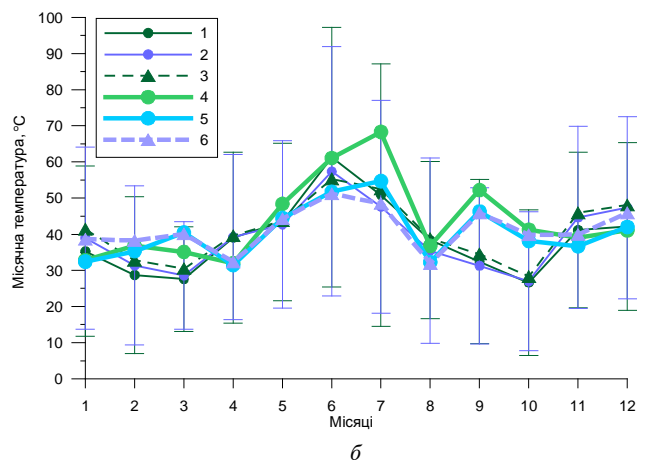


Рис. 5. Середні місячні температури повітря (а) і суми опадів (б) для Луганська та Луганської області за періоди 1961–1990 та 1991–2010 рр. Позначення кривих в а і б таке саме. Стандартні відхилення показано для кривих 1 і 2

в E-Obs) та вересні й мінімуму в квітні в їх річному ході. Дані E-Obs вказують на зміщення основного максимуму в Луганську з червня на липень, але його значення набагато ($-13,6$ мм) менші за виміри. Зауважимо, що зменшення кількості опадів у районах із складною орографією – відомий недолік бази E-Obs [13], в якій перерахунок у вузли регулярної сітки згладжує реальні екстремуми. Для сучасного періоду в цьому районі такі недоліки ще примножені тим, що до бази надходять дані тільки з метеорологічних телеграм ст. “Луганськ”, а з інших станцій гідрометеорологічної мережі їх немає. Оскільки дані з телеграм не проходять належного контролю, у добових даних E-Obs було виявлено помилку, коли 3 березня 2006 р. замість значення $15,1$ мм у базі було записано 151 мм. Можливо, це й стало причиною значного перевищення суми опадів для сучасного періоду в березні E-Obs (рис. 5, б, криві 5, 6).

На рис. 5, б видно, що для обох періодів опади в області в холодну пору року здебільшого перевищують значення ст. “Луганськ”, а з травня до жовтня вони менші, ніж в обласному центрі. Найбільша абсолютна помилка осереднених за площею даних відносно значень ст. “Луганськ” для сучасного періоду зафіксовано в липні (-20 мм), середня квадратична помилка цього розподілу (крива 6 до 4) $6,6$ мм, коефіцієнт кореляції $0,835$. Для періоду ККУ найбільші абсолютні помилки були в січні ($6,1$ мм), грудні (6 мм) та липні (-6 мм), середня квадратична помилка – $3,2$ мм, коефіцієнт кореляції – $0,982$ (крива 3 до 1). Для розподілів, представлених кривими 2 та 5 (рис. 5, б), середні квадратичні помилки та коефіцієнти кореляції відповідно становлять 3 мм і $0,958$ та $3,8$ мм і $0,949$. Враховуючи загальні труднощі в обробці та отриманні даних щодо кількості опадів, невисокі значення помилок і високі коефіцієнти кореляції дають змогу використовувати для аналізу клімату області дані обласного центру, а також дані E-Obs для дослідження кліматичних змін в усій області.

Оскільки спроможність даних E-Obs представляти кліматичні умови в Луганській області доведено, ми проаналізували сучасні зміни цих умов на всій її території. Для цього побудували розподіли за площею області таких змін температури повітря (рис. 6) і кількості опадів (рис. 7, 8) до недавнього минулого періоду для всіх місяців, що розраховано за даними E-Obs у вузлах регулярної сітки з кроком 25 км. Передусім зазначимо, що визначені вище узагальнені зміни також відображено на розподілах за площею, а саме:

- похолодання в грудні (максимально на південному сході області) і в травні (трохи більше на північному заході та південному сході) й потепління в усі інші місяці;

- максимальні потепління в січні (менше на півдні), лютому (з наростанням з південного заходу на північний схід) і в березні (зі збільшенням із заходу на схід);
- влітку та в жовтні потепління було меншим, і більшою мірою зафіксовано в центрі (липень) і на північний схід від центру області (жовтень), меншою мірою на північному заході (серпень і жовтень).

Очікувано, що зміни за площею кількості опадів неоднорідніші, але переважно односпрямовані, тобто у лютому, березні, вересні та жовтні опади збільшилися, а в квітні, червні та листопаді зменшилися на всій території області. Відповідно в інші п'ять місяців кількість опадів як збільшувалася, так і зменшувалася. Далі детальніше проаналізуємо зміни опадів за площею в Луганській області по місяцях.

Як зазначено вище, найбільші зміни в режимі зволоження області відбулися в березні (рис. 7, 8). Однак якщо за абсолютними значеннями збільшення майже на всій території області було однорідним і становило $9-17$ мм (рис. 7), то у відносних одиницях (рис. 8) можна виділити зони більших (> 50 % на північному заході, у центрі й на сході) і менших (від 35 до 50 % на півночі та північному сході) змін. Так само в жовтні збільшення було в межах від 8 до 15 мм, а відносні зміни – від 25 до 60 % з максимальними значеннями > 40 % у центрі та на півдні області. У вересні, коли найбільші зміни > 10 мм локалізовано в центрі, відносні мають такий самий розподіл з максимумом > 30 % теж у центрі в районі Луганська. Досить однорідне збільшення кількості опадів на $0,5-8$ мм виявлено в лютому, що у відносних одиницях на більшості території становило $10-20$ %. Збільшення кількості опадів до 15 % зафіксовано і в травні на північному заході та в центрі області, але на решті території опади зменшилися. Щонайсуттєвіше зменшення кількості опадів на 15 мм, або 30 %, виявлено у квітні та листопаді, але розташування таких зон різне: у квітні посушливішим виявився південний схід, а в листопаді – північний схід області. Кількість опадів зменшилася на всій території також у червні, але не більше ніж на 5 мм, або 10 %. Найбільший розмах у зміні кількості опадів отримано в серпні, коли із заходу на схід зміни становили від -27 до 20 %. Взагалі, якщо оцінювати усереднені для всієї території області зміни сум опадів, то тільки влітку вони в середньому зменшились, а в інші сезони – збільшилися. Зауважимо, що значне збільшення кількості опадів у Луганську в липні відображено на розподілах незначним підвищенням на кілька міліметрів та до 5 %. Можливі причини таких розбіжностей наведено вище.

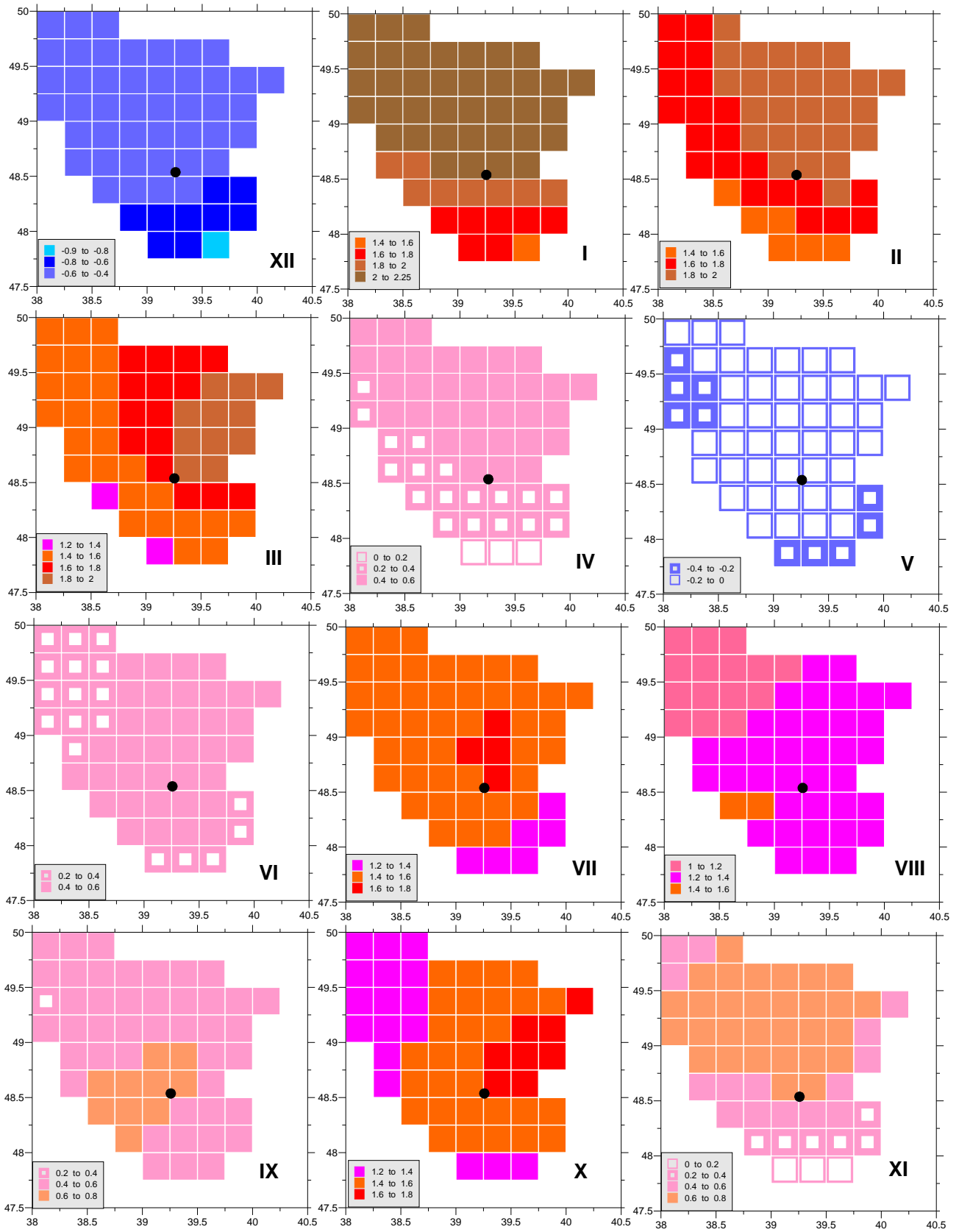


Рис. 6. Зміни місячних температур повітря (°C) у період 1991–2010 рр. відносно 1971–1990 рр. на території Луганської області за даними E-Obs

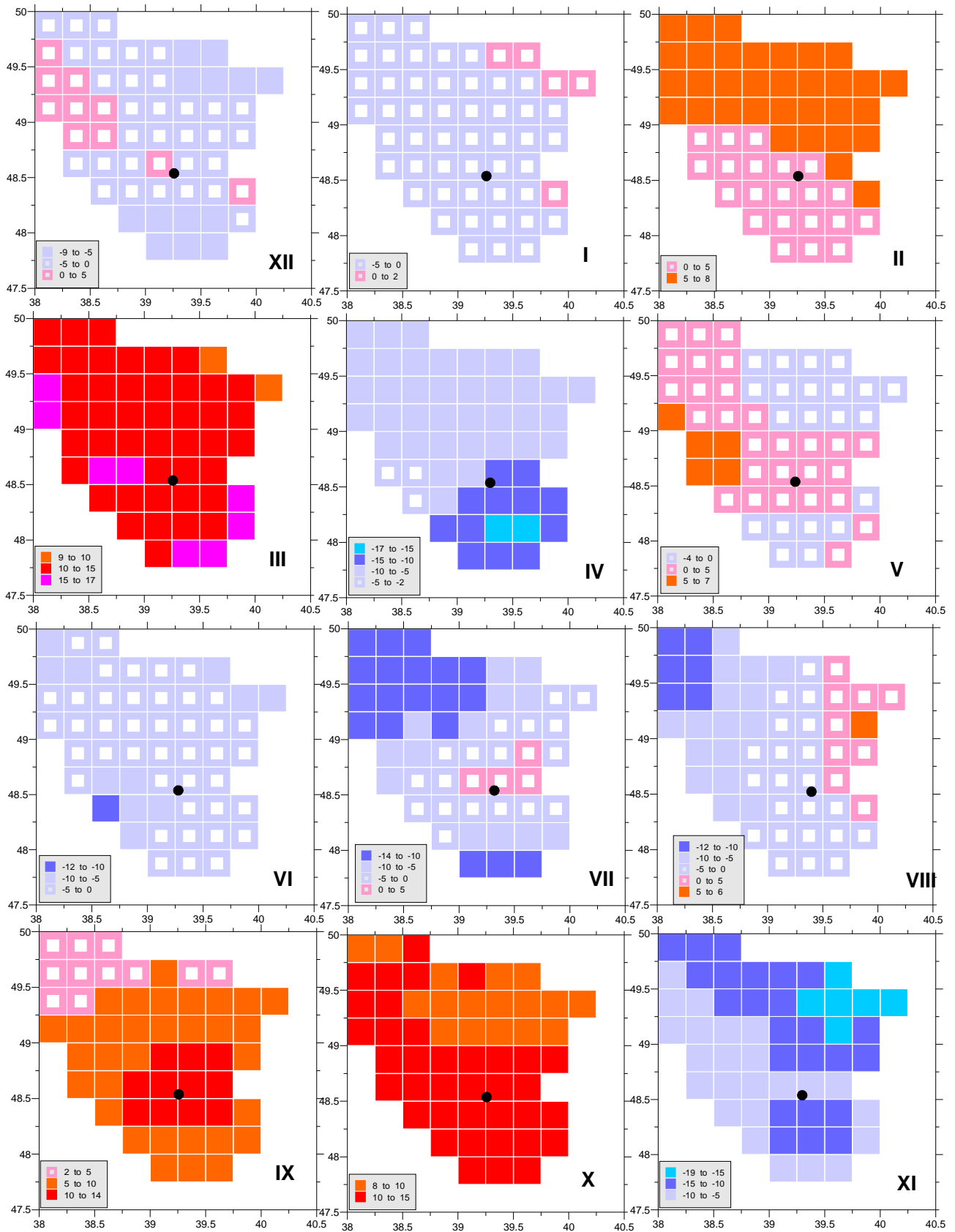


Рис. 7. Зміни місячних сум опадів (мм) у період 1991–2010 рр. відносно 1971–1990 рр. на території Луганської області за даними E-Obs

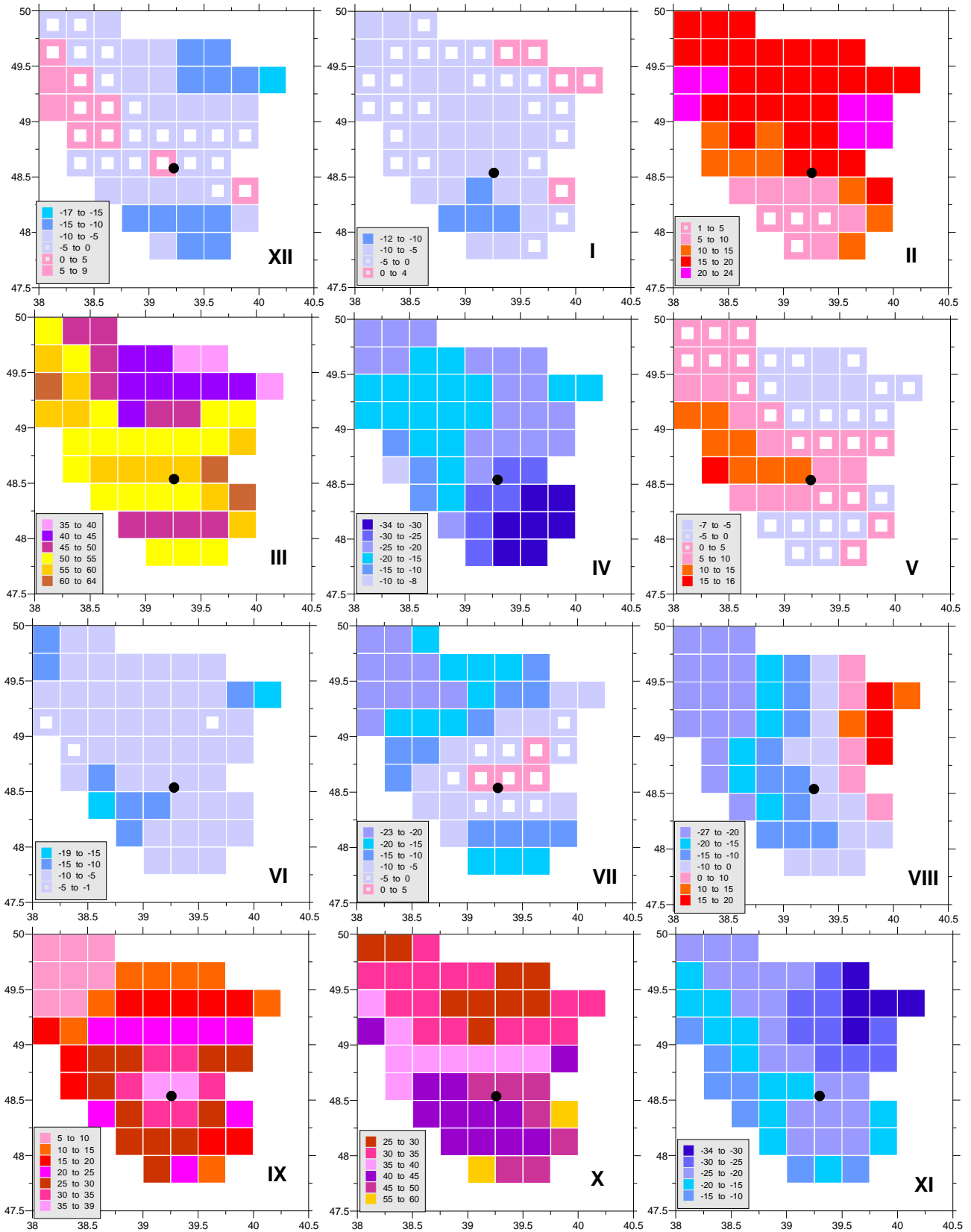


Рис. 8. Зміни місячних сум опадів (%) у період 1991–2010 рр. відносно 1971–1990 рр. на території Луганської області за даними E-Obs

Кліматичні індекси та їх сучасні зміни. У сучасній кліматології для виявлення змін у середніх та екстремальних значеннях широко застосовують спеціальні кліматичні індекси [14]. Найпоширенішими та рекомендованими Всесвітньою програмою з дослідження клімату (The World Climate Research Programme WCRP) є 26 індексів, розроблених групою експертів ETCCDI (Expert Team on Climate Change Detection and Indices) [9]. Ще 35 індексів запропоновано для Європи в проекті FP-6 Millennium (Європейський клімат останнього тисячоліття) [12]. Ми наводимо тільки ті індекси, розраховані для Луганської області, які щонайбільше характеризують сучасні зміни клімату в ній.

Умовно всі кліматичні індекси можна поділити на прості, які розраховують за одним параметром, і складні, або комбіновані, для розрахунків яких використовують кілька характеристик. Серед простих можна виділити індекси спеки, холоду, тиску, вітрового режиму, снігового покриву, режиму зволоження, посухи, хмарності та ін. Як правило, розраховують кліматичні індекси за добовими середніми та екстремальними даними, а використовують місячні або річні величини, усереднені за кілька десятиліть, або їх багаторічний хід.

На рис. 9 представлено сучасні відносні зміни багаторічних кліматичних індексів у Луганську, які характеризують посушливість і зволоження в регіоні. Зокрема, очевидно, що тільки один індекс у сучасний період став меншим: середня максимальна тривалість посушливого періоду з опадами < 1 мм – **CDD** (consecutive dry days), зменшилася на 15 % і становить 24,3 доби. Індекси **CWD** (consecutive wet days) – середня максимальна тривалість дощового періоду з опадами > 1 мм, і **RR1** (wet days) – загальна кількість днів з опадами > 1 мм, практично не змінилися і відповідно становлять 4,9 (було 5) та 82,4 (було 79,4) днів на рік. Як зазначено вище, середня річна кількість опадів (індекс **RR**) зросла на 12 % і також збільшився на 15 % простий індекс інтенсивності опадів **SDII** (simple daily intensity index), який розраховують як відношення кількості опадів за дні, коли вони > 1 мм, до кількості таких днів, і в сучасний період становить 1,4 проти 1,2 мм/день. Інакше кажучи, у сучасний період опади стали інтенсивні-

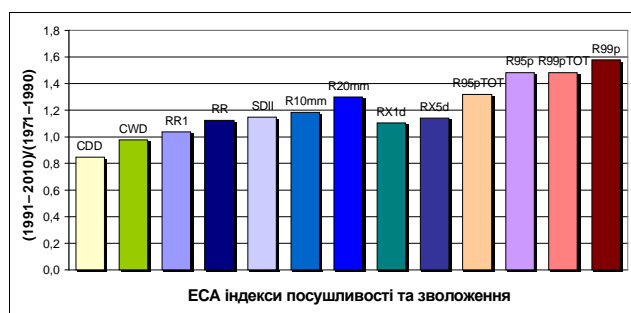


Рис. 9. Зміни багаторічних кліматичних індексів посухи та зволоження в період 1991–2010 рр. відносно 1971–1990 рр. у Луганську

шими, що підтверджено суттєвим збільшенням усіх інших індексів (рис. 9). Так, кількість днів з опадами, більшими за 10 (**R10mm**) і 20 мм (**R20mm**), зросла на 18 і 30 % і становить 14,4 і 3,8 дня на рік відповідно. Середня максимальна кількість опадів за 1 (**RX1day**) та 5 днів (**RX5day**) також зросла на 10 і 14 % і становить 38,2 та 59,1 мм відповідно. Інші індекси (рис. 9) характеризують випадки дуже сильних та екстремальних опадів, які визначали як дні з опадами, що перевищують 95 (**R95p**) і 99 % (**R99p**) від щомісячних середніх максимальних добових сум опадів у стандартний кліматичний період 1961–1990 рр., та їх внесок у загальну кількість опадів у відсотках (**R95pTOT** і **R99pTOT** відповідно). На рис. 9 видно, що індекс **R95p** збільшився на 48 % і кількість днів з дуже сильними опадами становила 5,6 проти 3,8 на рік, для індексу **R99p** відповідно – на 58 % і 1,3 проти 0,8 днів на рік. Внески таких опадів збільшилися на 32 (**R95pTOT**) і 48 % (**R99pTOT**) і становлять 26,7 і 9,2 % середньої річної кількості опадів відповідно.

На рис. 10 показано зміни інших груп кліматичних індексів. За досліджуваний період збільшилися (тобто більші за одиницю на рисунку) всі індекси, пов'язані з високими температурами, і, відповідно, зменшилися ті, що характеризують періоди з низькими температурами. Так, несуттєво, з 86 до 91, збільшилася кількість літніх днів (індекс **SU** – summer days), коли максимальна добова температура перевищує 25 °С, але на 48 %, з 22,4 до 33,3 днів, зросла максимальна тривалість періоду послідовних літніх днів (індекс **CSU** – consecutive summer days). Ще суттєвіше, майже в 2,5 раза, з 3,1 до 7,5 збільшилася кількість так званих тропічних ночей (індекс **TR** – tropical nights), коли мінімальна добова температура була вища за 20 °С. Зауважимо, що в екстремально спекотному 2010 р. ці перші три індекси набагато перевищували наведені багаторічні середні величини і становили відповідно 121, 63 та 22 дні, і очевидно, що вони характеризують саму спекотну пору року – літо. Однак індекс **WSDI** (warm-spell duration index) характеризує термічний режим протягом усього року і представляє середню максимальну тривалість періодів відносного тепла, що продовжується не

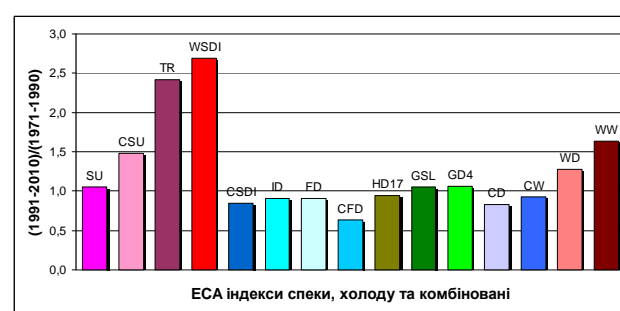


Рис. 10. Зміни багаторічних кліматичних індексів спеки, холоду та комбінованих у період 1991–2010 рр. відносно 1971–1990 рр. у Луганську

менш як 6 послідовних діб, з максимальними температурами, вищими за 90 % від 5-денних центральних середніх максимальних добових температур для кожного дня року за період 1961–1990 рр. Цей індекс в останні 20 років збільшився найбільше: з 7,1 у недавньому минулому до 19 днів нині, тобто майже в 2,7 раза. До того ж, якщо в період 1971–1990 рр. у половині років (10 з 20) не спостерігалось таких тривалих періодів відносного тепла, то в останні 20 років їх не зафіксовано тільки у двох роках, а, наприклад, у 2010 р. сумарна тривалість таких періодів була 38 днів, максимальну ж (41 день) відмічено в 2007 р.

На противагу індексам спеки, як уже зазначено, індекси холоду останнім часом зменшувалися. Так, протилежний **WSDI** індекс **CSDI** (cold-spell duration index), який відображає середню максимальну тривалість періодів відносного холоду, що також продовжуються не менше за 6 послідовних діб, з мінімальними температурами нижчими за 10 % від 5-денних центральних середніх мінімальних добових температур для кожного дня року за період 1961–1990 рр., зменшився на 15 %. Зменшилася і кількість морозних днів (індекс **ID** – ice days), коли максимальна температура нижча, ніж 0 °C, і днів із приморозками (індекс **FD** – frost days), коли мінімальна температура нижча за 0 °C, на 9 (з 52 до 47 днів) і 10 % (з 122 до 110 днів) відповідно. Суттєвіше, на 37 %, зменшилася середня максимальна кількість послідовних морозних днів (індекс **CFD** – consecutive frost days), з 40,4 до 25,4 днів, тобто збільшилася кількість відлиг взимку. Три індекси змінилися несуттєво: на 6 % зменшився **HD17** (heating degree days), що характеризує опалювальний сезон і є сумою різниць температур, нижчих за 17 °C, з цим значенням; на 5 та 6 % збільшилася відповідно тривалість періоду вегетації (**GSL** – growing season

length), тобто кількість днів між першими 6 послідовними днями з середньою добовою температурою > 5 °C та першими після 1 липня 6 послідовними днями з температурою < 5 °C; збільшилася сума середніх добових температур > 4 °C (**GD4** – growing degree days).

Комбіновані індекси (рис. 10) запропоновані у публікації [8] і є композицією процентилів температури та опадів. Визначають їх у такий спосіб: для кожного дня року обчислюють 25 та 75 проценти середньої добової температури повітря та кількості опадів, коли вони перевищували 1 мм, за 5-денним центрованим вікном в період 1961–1990 рр. Далі холодними вважають дні, коли температура нижча за 25, теплими – вища за 75 проценти. Аналогічно сухі дні, коли кількість опадів менша за 25, а вологі – вища за 75 проценти. Сучасні зміни цих річних комплексних характеристик у Луганську такі (рис. 10): **CD** (cold-dry) – холодні-сухі дні зменшилися на 17 % (з 72 до 59,8 дня); **CW** (cold-wet) холодні-вологі також зменшилися, але на 7 % (з 7,9 до 7,3); **WD** (warm-dry) – теплі-сухі дні збільшилися на 28 % (з 69,7 до 89,2 дня); **WW** (warm-wet) – теплі-вологі дні найбільше зросли – на 64 % (з 5,2 до 8,4 дня).

Очевидно, що практичну цінність мають також щомісячні розподіли комбінованих кліматичних індексів (рис. 11) разом зі стандартними відхиленнями за чотири періоди. Зауважимо, що вище наведено зміни індексів за 20-річні періоди, але для порівняння на рис. 11 також подано дані за 30-річні періоди. Серед найбільших змін можна виділити значне зниження кількості холодних сухих днів з січня до березня та в липні, серпні та жовтні і невелике збільшення таких днів у травні та вересні. Кількість холодних вологих днів переважно зменшилась у квітні та червні, але збільшилась у вересні. Для цих двох індексів холоду

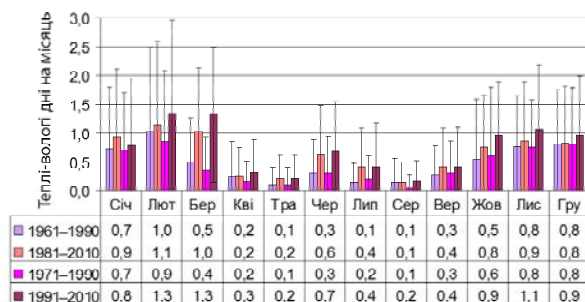
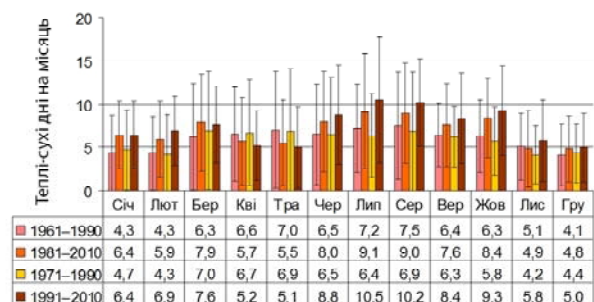
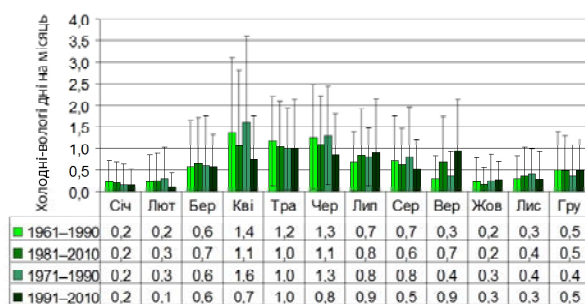
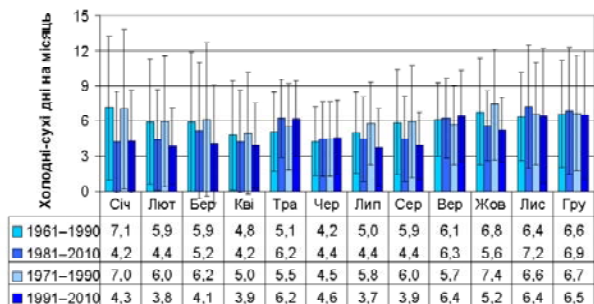


Рис. 11. Щомісячні розподіли комбінованих кліматичних індексів у Луганську

відмічено також здебільшого зменшення і стандартних відхилень (виняток – липень, вересень і листопад), що є свідченням деякої стабілізації в кількості відносно холодних днів. Очікувано отримано в основному збільшення кількості відносно теплих днів, максимально – в теплу пору року для сухих і в холодну для вологих днів. Стандартне ж відхилення для сухих днів зменшилося в першу половину року з січня до червня і збільшилося в другу, за винятком вересня, а для вологих днів збільшилося в усі місяці, за винятком жовтня, максимально – у березні. Зазначимо також, що і теплі, і холодні сухі дні більш-менш рівномірно розподілені впродовж року, а їх кількість – на порядок вища за кількість вологих днів. У річному ж розподілі вологих днів є максимуми, але вони протилежні для теплих і холодних днів.

Висновки. Вперше проаналізовано сучасні зміни основних кліматичних характеристик за останні 20 років (з 1991 до 2010 р.) порівняно зі стандартним кліматичним періодом 1961–1990 рр. і недавнім минулим періодом 1971–1990 рр. для Луганської області. Представлено часові ряди середніх річних і місячних температур повітря та річної й місячної кількості опадів з 1961 р. і протягом сучасного періоду. Виявлено потепління на 0,7 °C здебільшого за рахунок зимових місяців та липня і серпня й збільшення кількості опадів на 55 мм/рік, або 12 %, яке відбувалося переважно через збільшення кількості випадків дуже сильних опадів у липні, вересні та жовтні. Представлено просторові розподіли виявлених змін середніх місячних температур повітря і місячних сум опадів у Луганській області. Проаналізовано зміни 28 кліматичних індексів спеки, холоду, зволоження та посушливості разом з декількома комбінованими індексами, запропонованими групою експертів з European Climate Assessment & Dataset.

Результати дослідження мають знайти широке практичне застосування у різних суміжних з кліматологією наукових напрямках, кліматозалежних галузях економіки й інших сферах діяльності в регіоні й можуть стати основою для подальшої розробки адаптаційних і пом'якшувальних заходів щодо змін клімату в Луганській області.

Автор висловлює подяку за використання даних E-OBS з європейського проекту EU-FP6 ENSEMBLES [11] і провайдерам даних проекту ECA&D [13, 14].

Дослідження виконано частково за підтримки проекту Європейського Союзу “Посилені економічні й правові інструменти для збереження степового біорізноманіття, адаптації до зміни клімату та її пом'якшення (Степове біорізноманіття)” у рамках тематичної програми для навколишнього середовища й стабільного управління природними ресурсами, включаючи енергію.

1. *Кліматичний кадастр України (електронна версія).* – К.: Держ. гідрометеорол. служба, УкрНДГМІ, Центр. геофіз. обсерваторія, 2006.
2. *Кліматичні рекорди [Електрон. ресурс].* – Режим доступу: http://www.cgo.kiev.ua/index.php?fn=u_klimrek&f=ukraine&p=1
3. *Ліпінський В.М.* Клімат України / За ред. В.М. Ліпінського, В.А. Дячука, В.М. Бабіченко. – К.: Вид-во Раєвського, 2003. – 343 с.
4. *Ліпінський В.М.* Стихійні метеорологічні явища на території України за останнє двадцятиріччя (1986–2005 рр.) / За ред. В.М. Ліпінського, В.І. Осадчого, В.М. Бабіченко. – К.: Ніка-Центр, 2006. – 312 с.
5. *Міністерство закордонних справ України.* Луганська область [Електрон. ресурс]. – Режим доступу: <http://www.mfa.gov.ua/mfa/ua/publication/content/327.htm>
6. *Погода и климат [Електрон. ресурс].* – Режим доступу: <http://pogoda.ru.net/climate/34523.htm>
7. *Adamo J.* Europe // Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change / Alcamo J., Moreno J.M., Nováky B., Bindi M., Corobov R., Devoy R.J.N., Giannakopoulos C., Martin E., Olesen J.E., Shvidenko A. [Eds M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson]. – Cambridge; UK: Cambr. Univ. Press, 2007. – P. 541–580.
8. *Beniston M.* Trends in joint quantiles of temperature and precipitation in Europe since 1901 and projected for 2100 / Beniston M. // Geophys. Res. Lett. – 2010. – Vol. 36. – L07707. – doi:10.1029/2008GL037119
9. *Climate Variability and Predictability [Електрон. ресурс].* – Режим доступу: <http://www.clivar.org/organization/etccdi/etccdi.php>
10. *Corobov R.* Air temperature trends and extremes in Chisinau (Moldova) as evidence of climate change / Corobov R., Sheridan S., Overcenko A., Terinte N. // Clim. Res. – 2010. – Vol. 42. – P. 247–256.
11. *ENSEMBLES [Електрон. ресурс].* – Режим доступу: <http://ensembles-eu.metoffice.com>
12. *European Climate of the Last Millennium [Електрон. ресурс].* – Режим доступу: <http://137.44.8.2/>
13. *Haylock M.R.* A European daily high-resolution gridded dataset of surface temperature and precipitation for 1950–2006 / Haylock M.R., Hofstra N., Klein Tank A.M.G., Klok E.J., Jones P.D., New M. // J. Geophys. Res. (Atmospheres). – 2008. – Vol. 113. – D20119. – doi:10.1029/2008JD10201
14. *Indices of extremes [Електрон. ресурс].* – Режим доступу: <http://eca.knmi.nl/indicesextremes/index.php>
15. *Trenberth K.E.* Observations: Surface and Atmospheric Climate Change // Climate Change: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change / Trenberth K.E., Jones P.D., Ambenje P., Bojariu R., Easterling D., Klein Tank A., Parker D., Rahimzadeh F., Renwick J.A., Rusticucci M., Soden B., Zhai P. [Eds S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor, H.L. Miller]. – Cambridge, UK; New York, USA: Cambr. Univ. Press, 2007. – P. 235–336.

СОВРЕМЕННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА ЛУГАНСКОЙ ОБЛАСТИ

Исследованы изменения климатических условий в Луганской области в период 1991–2010 гг. относительно стандартного климатического периода 1961–1990 гг. Проанализированы изменения годовых и месячных температур воздуха и количества осадков, а также их пространственное распределение в области. Детально рассмотрены современные изменения климатических индексов в Луганске, в частности, индексов жары, мороза, увлажнения и засушливости вместе с комбинированными индексами, предложенными группой экспертов European Climate Assessment & Dataset.

Ключевые слова: климат, изменение климатических характеристик, Луганская область, климатические индексы.

CURRENT CLIMATE CHANGES IN THE LUHANSK REGION

Changes of the Luhansk region climate in 1991–2010 relative to standard climate period 1961–1990 are analyzed. Annual and monthly air temperature and precipitation with their spatial distribution over the region are presented. For Luhansk current changes of heat, cold, rain, drought and compound indices recommended by European Climate Assessment & Dataset are discussed.

Keywords: climate, climate characteristics change, Luhansk region, climate indices.