

<http://doi.org/10.17721/1728-2721.2019.75.2>
УДК 551.583

О. Шевченко, канд. геогр. наук, доц.
ORCID ID <https://orcid.org/0000-0003-3915-427X>,
С. Сніжко, д-р геогр. наук, проф.
ORCID ID <https://orcid.org/0000-0002-2696-687X>

Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна

ЗМІНА КЛІМАТУ ТА УКРАЇНСЬКІ МІСТА: ПРОЯВИ ТА ПРОЕКЦІЇ ДО КІНЦЯ ХХІ СТОЛІТТЯ НА ОСНОВІ RCP-СЦЕНАРІЇВ

Досліджено особливості прояву зміни клімату у містах України. Встановлено, що протягом останніх десятиліть у великих містах середня річна температура повітря зросла на 0.7–1.2°C, порівняно з кліматичною нормою (1961–1990 рр.). Найсуттєвіше зростання середньої місячної температури повітря в сучасний період у містах України зафіксовано в січні та у літні місяці. Виявлено зростання частоти прояву тропічних ночей (коли температура повітря не опускалася нижче 20°C) та підвищення повторюваності хвиль тепла (ХТ). В усіх досліджуваних містах, що розташовані в різних регіонах України (за винятком Харкова і Києва), кількість випадків ХТ в сучасний період (1991–2015 рр.) зросла в два і більше рази, порівняно з 1961–1990 рр. Найбільш вразливими в сучасний період до проявів ХТ є міста південних областей України. В Одесі протягом 1961–1990 рр. не було зафіксовано жодного випадку ХТ, а в сучасний період виявлено 14 випадків; в Запоріжжі та Херсоні – частота прояву ХТ зросла з 3-х до 22-х випадків. Встановлено, що відбувся перерозподіл кількості опадів за сезонами і змінився характер їх випадання: зменшилася кількість випадків опадів, але почастишали випадки, коли за кілька годин випадає їх значна кількість. На основі RCP-сценаріїв побудовано проєкції температури повітря для досліджуваних міст до кінця ХХІ століття. Згідно з розрахунками за усіма сценаріями середньорічна температура зростатиме поступово в усіх регіонах та містах України і збільшиться в середньому від 2.0–2.5°C за м'яким сценарієм (RCP 4.5) до 5.0–6.0°C за жорстким сценарієм (RCP 8.5). Таким чином, результати дослідження свідчать про необхідність аналізу вразливості українських міст до зміни клімату і можуть бути використані як для здійснення такої оцінки, так – і для розробки заходів та планів адаптації до проявів кліматичної зміни.

Ключові слова: зміна клімату, прояви зміни клімату, урбанізоване середовище, RCP-сценарії, хвилі тепла, тропічні ночі.

Вступ. Дослідження кліматичної зміни показали, що на початку ХХІ ст. масштаби її прояву сягнули такого рівня, що перетворилися на потужний чинник впливу не лише на окремі галузі господарства чи економіки окремих країн, але й на глобальні економічні процеси, на соціально-економічний розвиток суспільства, продовольчу та енергетичну безпеку. Поєднання негативних наслідків урбанізації та кліматичної зміни, що спостерігаються у великих містах, створюють пряму загрозу екологічній, економічній та соціальній стабільності у світі [2]. Детальний аналіз проявів зміни клімату та її наслідків свідчить, що вона призводить до виникнення унікальних проблем у містах, а вразливість урбанізованих територій до зміни клімату є значно вищою, порівняно з іншими територіями. Оскільки вразливість визначають як функцію двох складових: характеристик зміни клімату та внутрішньо характерних для соціальних систем чутливості та адаптаційного потенціалу, то достовірна інформація про прояви зміни клімату в містах України є дуже важливою для здійснення об'єктивної оцінки вразливості та подальшої розробки планів адаптації міст до зміни клімату.

Аналіз попередніх публікацій та досліджень. Тема зміни клімату на сьогоднішній день є дуже актуальною, тому привертає увагу багатьох українських дослідників. На жаль, значна кількість тих, хто намагається долучитися до дослідження цієї важливої проблеми не є кліматологами та не мають відповідної освіти, тому останнім часом у вітчизняній науковій літературі можна знайти багато публікацій, що містять не зовсім коректну інформацію про причини, прояви та наслідки зміни клімату. Проте, є й ґрунтовні дослідження українських кліматологів, присвячені даній проблемі. Вони представлені монографіями "Клімат України" [5] та "Клімат Києва" [4], роботами В.О. Балабух [1], Н.П. Гребенюк та М.Б. Барабаш [3], О.Г. Шевченко з колегами [9, 30]. Проте, жодне з цих досліджень не розкриває питання проявів зміни клімату в містах України повністю. Адже, в [1, 5] прояви зміни клімату розглядаються по території України та по окремих її регіонах, в [3, 4, 9] представлено деякі аспекти проявів кліматичних змін лише в одному місті – Києві, в [30] відображено результати динаміки випадків хвиль тепла за даними метеорологічних станцій, що розташовані як у великих містах, так і в невеликих населених пунктах.

У той час як для визначення очікуваних змін основних метеорологічних величин ще в 2014 р. були прийняті та опубліковані у П'ятій оціночній доповіді Міжурядової групи з питань зміни клімату (AR5) Репрезентативні Траєкторії Концентрацій (Representative Concentration Pathways – RCP) [17], для території України прогнозування температури повітря та кількості опадів здійснюється із застосуванням старих сценаріїв викидів парникових газів та аерозолів IPCC SRES: B1, A1B, A2 [6–7].

Отже, враховуючи вищезазначене, **метою даної роботи** є вивчення основних проявів кліматичної зміни та визначення очікуваних значень температури повітря до кінця ХХІ сторіччя на основі сучасних RCP-сценаріїв у великих містах, що розташовані в різних частинах території України.

Матеріали та методи досліджень. Для аналізу проявів зміни клімату в містах України були використані матеріали щоденних спостережень за температурою повітря та кількістю опадів на метеорологічних станціях (МС) Київ, Вінниця, Запоріжжя, Хмельницький, Львів, Рівне, Полтава, Івано-Франківськ та Одеса за 1961–2014 рр.

Для ідентифікації випадків хвиль тепла (ХТ) в даному дослідженні застосована методика, рекомендована МГЕЗК, згідно з якою хвиля тепла – це період, протягом якого максимальна добова температура повітря понад 5 послідовних днів перевищує середню максимальну температуру повітря за цей день за період 1961–1990 рр. на 5°C. У наших попередніх дослідження [10] показано її переваги для дослідження проявів ХТ на території України. Для ідентифікації хвиль тепла використана інформація про максимальну температуру повітря на МС Київ, Житомир, Суми, Івано-Франківськ, Львів, Рівне, Тернопіль, Хмельницький, Вінниця, Кропивницький, Полтава, Черкаси, Донецьк, Харків, Запоріжжя, Одеса та Херсон за кожен день з 1 червня по 31 серпня за 1961–2014 рр.

Виявлення тропічних ночей здійснено з використанням інформації про мінімальну добову температуру повітря з МС Чернівці, Харків, Львів, Одеса, Сімферополь, Ужгород, Вінниця та Київ за 1961–2010 рр.

Для аналізу можливих змін температурного режиму на території України були використані результати проєкції клімату за різними сценаріями з європейського проєкту "IMPRESSIONS".

Виклад основного матеріалу. Прояв зміни клімату в містах України. Дослідження клімату України свідчать, що протягом останніх десятиліть температура повітря та деякі інші метеорологічні параметри стали помітно відрізнятися від значень кліматичної норми. У великих містах, завдяки особливостям підстильної поверхні, геометрії забудови, відмінностям радіаційного і вітрового режиму та цілій низці інших чинників, дані прояви можуть бути виражені сильніше. Наприклад, міський острів тепла може призводити до того, що зростання температури повітря у містах буде більшим, а інтенсивність ХТ – вищою, в місті може фіксуватися більша кількість спекотних днів/тропічних ночей, а тривалість залягання снігового покриву буде меншою, ніж у регіоні, де місто розташоване. Таким чином, прояви кліматичної зміни завдаватимуть більшої

шкоди у містах та впливатимуть на вразливість урбанізованих територій до зміни клімату.

У Києві приземна температура повітря за 1991–2014 рр. зросла на 1,2°C порівняно з кліматичною нормою, аномалії середньорічної температури в останні роки сягали 3°C і більше (2014 р.). Хоча зростання температури повітря (як середньої, так і мінімальної та максимальної) відбулося в усі місяці та сезони, варто відмітити, що його інтенсивність суттєво відрізняється. Наприклад, середня температура повітря в Києві найбільше зросла в січні та липні (на 2,5 та 2,1°C), а найменше – в грудні та жовтні (на 0,2 та 0,4°C, відповідно). Якщо аналізувати зміни за календарними сезонами, то зростання середньої та максимальної температури є найсуттєвішим влітку і становить 1,5°C, а мінімальної – взимку (також на 1,5°C).

Таблиця 1. Аномалії температури повітря в окремих містах України за 1991–2014 рр. відносно кліматичної норми по сезонах та за рік

Місто/ Сезон	Київ	Вінниця	Запоріжжя	Хмельницький	Львів	Рівне	Полтава	Івано-Франківськ	Одеса
Зима	1.2	0.8	0.6	0.7	1.1	1.1	1.3	1.1	0.7
Весна	1	0.9	1	0.8	1.0	1	1	0.8	1.1
Літо	1.5	1.2	1.3	1	1.3	1.3	1.2	1.3	1.6
Осінь	0.9	0.3	0.3	0.3	0.4	0.3	0.5	0.1	0.5
Рік	1.2	0.8	0.8	0.7	1.0	0.9	1	0.8	1

У Вінниці, Запоріжжі, Хмельницькому, Львові, Рівному, Полтаві, Івано-Франківську та Одесі середня температура повітря за період 1991–2014 рр. зросла на 0.7–1.0°C порівняно з кліматичною нормою. Аномалії середньорічної температури у Рівному є позитивними починаючи з 1997 р., Хмельницькому, Львові та Івано-Франківську – з 1998 р., у Запоріжжі – з 2004 р., у Вінниці – з 2007 р. (табл. 1). У Львові зростання середньої температури відбулося в усі сезони та місяці року; у Вінниці, Хмельницькому, Рівному, Полтаві, Івано-Франківську та Одесі – усі сезони та місяці року, за винятком грудня, а в Запоріжжі – за винятком грудня та листопада. Найсуттєвіше зростання середньомісячної температури повітря в сучасний період у містах України зафіксовано в січні та у літні місяці: у Вінниці – в січні, липні та серпні (на 1.9°C, 1.6°C та 1.4°C, відповідно); у Запоріжжі – в липні, серпні та січні, (на 1.7°C, 1.6°C та 1.5°C, відповідно); у Хмельницькому – в січні та липні (на 1.6°C та 1.4°C, відповідно); у Львові – в січні та липні – на 1.8°C та 1.7°C, відповідно; у Рівному – в січні та липні – на 2.0°C та 1.7°C, відповідно; у Полтаві – в січні – понад 2°C; у Івано-Франківську – в січні та липні – на 2.0°C та 1.6°C, відповідно; в Одесі – в липні та серпні – на 1.9°C та 1.7°C, відповідно.

В останні десятиліття на території України зросла не лише температура повітря, але підвищилася повторюваність прояву такого небезпечного атмосферного явища, як хвилі тепла. Як видно з табл. 2 майже для всіх досліджуваних міст, що розташовані в різних регіонах України (за винятком Харкова і Києва), кількість випадків ХТ в літні місяці в сучасний період (1991–2015 рр.) зросла в два і більше рази порівняно з 1961–1990 рр. У Харкові кількість випадків хвиль тепла збільшилася з дванадцяти за період кліматичної норми до сімнадцяти – в сучасний період. У Житомирі, Львові та Черкасах за період 1991–2015 рр. ХТ спостерігалися в три і більше рази частіше порівняно з кліматичною нормою. Окремо варто розглянути міста південних областей – в Одесі за 1961–1990 рр. не зафіксовано жодного випадку ХТ, в той час як в сучасний період їх було 14; у Запоріжжі та Херсоні – частота прояву хвиль тепла зросла з 3-х до 22-х випадків. Варто також відмітити, що періоди, які порівнюються, децю відрізняються за тривалістю – сучасний період (1991–2015 рр.), в який відмічається значно більша кількість ХТ, на п'ять років коротший, але, незважаючи на це, кількість випадків ХТ за цей часовий відрізок суттєво вища.

Таблиця 2. Повторюваність випадків ХТ у літні місяці за кліматичну норму (1961–1990 рр.) та за сучасний період (1991–2015 рр.)

Регіон	Місто	Кількість випадків ХТ	
		1961–1990	1991–2015
Північ	Київ	7	12
	Житомир	6	19
	Суми	6	12
Захід	Івано-Франківськ	6	13
	Львів	5	18
	Рівне	7	14
	Тернопіль	5	12
	Хмельницький	6	12
Центр	Вінниця	7	13
	Кропивницький	8	22
	Полтава	7	15
Схід	Черкаси	6	18
	Донецьк	7	20
Південь	Харків	12	17
	Запоріжжя	3	22
	Одеса	0	14
	Херсон	3	22

Тропічні ночі (TR20) належать до основних індексів зміни клімату, дослідження яких було запропоновано Всесвітньою метеорологічною організацією та Експертною групою з виявлення зміни клімату та індексів (ETCCDI) [16]. Тропічними вважаються ночі, коли мінімальна температура повітря не опускалася нижче +20°C. Закономірно,

що оскільки кліматичні умови дещо відрізняються в різних регіонах України, то кількість днів, коли мінімальна температура не опускалася нижче 20.0°C, за кліматичну норму помітно відрізняється в різних містах, проте, для всіх міст характерним є суттєве зростання кількості тропічних ночей в останні десятиліття (табл. 3).

Таблиця 3. Кількість тропічних ночей у містах України

Місто	Чернівці	Харків	Львів	Одеса	Сімферополь	Ужгород	Вінниця	Київ
1961–1990	11	69	1	397	37	53	1	54
1991–2010	27	174	6	503	130	78	22	139

Аналіз кількості опадів, які є однією з найважливіших характеристик клімату, в окремих великих містах України показав, що середнє значення цього показника за період 1991–2014 рр. порівняно з 1961–1990 рр. змінилося в межах $\pm 8\%$ (табл. 4). У той же час відбувся перерозподіл кількості опадів по сезонах і змінився характер їх випадання – зменшилася кількість випадків опадів, але зросла кількість випадків, коли за кілька годин випадає їх значна кількість. Це можна легко простежити на прикладі Києва: за сучасний період у місті середньорічна кількість атмосферних опадів порівняно з кліматичною

нормою майже не змінилася (зросла на 2.9%), але відбувся їх перерозподіл по сезонах: взимку кількість опадів зменшилась на 17.1%, а восени, навпаки, зросла на 19.6% (табл. 4). На фоні майже незмінної річної кількості опадів, кількість днів з опадами за період 1991–2015 рр. знизилася в усі місяці (рис. 1).

Опади влітку все частіше мають конвективний характер й супроводжуються небезпечними явищами – градом, шквалами, сильними зливами. Таким чином, на фоні незначних змін середніх сум опадів відмічається погіршення умов зволоження території.

Таблиця 4. Аномалії кількості опадів (%) в окремих містах України за 1991–2014 рр. відносно кліматичної норми по сезонах та за рік

Місто/Сезон	Київ	Вінниця	Запоріжжя	Хмельницький	Львів	Рівне	Полтава	Івано-Франківськ	Одеса
Зима	-17.1	-26.2	-10.6	-12.5	-2	1.7	-13	-13	-15.3
Весна	6.8	-14.3	1.9	-1.7	12.8	12	4.2	-9.4	-5.7
Літо	2.4	-5.6	5.3	-5.8	-4.5	6.5	5.3	-11.8	9.8
Осінь	19.6	11.4	22.7	17	9.4	9.9	10.8	15.2	10
Рік	2.9	-8.3	3.6	-1.9	3.4	7.6	2.2	-6.4	-0.7

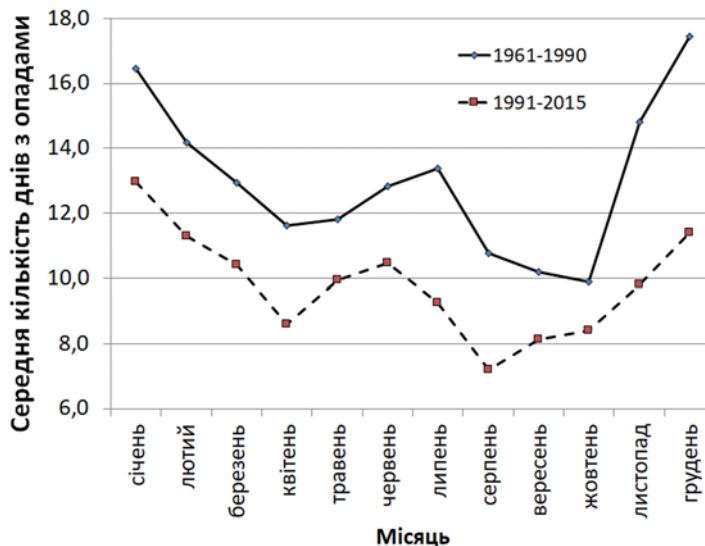


Рис. 1. Середня кількість днів з опадами у м. Києві за періоди 1961–1990 та 1991–2015 рр.

Проекції температури повітря в містах України в XXI столітті на основі RCP-сценаріїв. Для отримання прогнозів еволюції клімату, моделі клімату використовують інформацію, описану у сценаріях викидів парникових газів та викидів забруднювальних речовин в атмосферу і моделей землекористування. Сценарії створюються з використанням різноманітних підходів, від простих ідеалізованих експериментів до інтегральних оціночних моделей. Основними чинниками, що обумовлюють зміну антропогенних викидів парникових газів, є економічний і демографічний розвиток, спосіб життя та зміни у поведінці, пов'язані зі змінами в споживанні енергії та землекористуванні, технологіями та кліматичною політикою, які досі невизначені. Стандартний набір сценаріїв,

що використовуються в AR5, мають назву Репрезентативних Траєкторій Концентрацій – RCP (*Representative Concentration Pathways* – англ.). Вони описують чотири можливі варіанти викидів парникових газів та їх можливі концентрації, викидів забруднювальних речовин в атмосферу та землекористування в XXI столітті. Визначено наступні чотири репрезентативні траєкторії концентрації парникових газів в атмосфері (*Representative Concentration Pathways* (RCPs) [17]: RCP2.6, RCP4.5, RCP6, та RCP8.5, що названі за можливою величиною радіаційного форсингу у 2100 р., як порівняти зі значеннями в доіндустріальний період (+2.6, +4.5, +6.0 та +8.5 Вт/м²).

Дані траєкторії передбачають наступне:

RCP8.5 – швидке зростання концентрації CO₂, передбачається, що викиди продовжуватимуть зростати протягом 21-го століття і у 2100 р. досягнуть величини 940 ppm;

RCP6.0 – менші емісії парникових газів, концентрація CO₂ зростає не так швидко, як у випадку RCP8.5; згідно з траєкторією RCP 6.0, пік викидів припаде близько 2080 року, потім вони почнуть знижуватися і у 2100 р. концентрація CO₂ сягне значення 660 ppm;

RCP4.5 – концентрація CO₂ зростає повільніше, ніж у випадку RCP6.0, пік емісії настає раніше (2040 р.), а в 2100 р. концентрація CO₂ досягає 540 ppm [31];

RCP2.6 – найамбіційніший сценарій з найранішим піком емісії – близько 2020 р., що враховує заходи з пом'якшення глобального потепління.

Таким чином, набір сценаріїв включає сценарій пом'якшення наслідків потепління (RCP2.6), два проміжних сценарії (RCP4.5 та RCP6.0) та один сценарій із дуже високими концентраціями парникових газів, і відповідно найбільш вираженими наслідками (RCP8.5). Даний сценарій вважається найнебезпечнішим серед інших.

Для аналізу можливих змін температурного режиму на території України були використані результати проєкцій клімату за різними сценаріями з європейського проекту "IMPRESSIONS – Impacts and Risks from High-End Scenarios: Strategies for Innovative Solutions" [22] до 2010 р., що уточнювалися для материкової частини території України (близько 400 вузлів регулярної сітки 50×50 км) фахівцями Датського метеорологічного інституту та Потсдамського інституту дослідження змін клімату.

Для побудови проєкції температури повітря в Україні в XXI столітті використано три рівні прогнозу: *high end* (жорсткий варіант) з використанням траєкторії RCP8.5, *intermediate* (помірний) з використанням двох траєкторій RCP8.5 та RCP4.5 та *low end* (м'який варіант) з використанням траєкторії RCP4.5. Розрахунки за траєкторією RCP8.5 здійснювалися з використанням комбінації моделей GFDL-ESM2M/RCA4, а за траєкторією RCP4.5 з використанням комбінації моделей HadGEM2-ES/RCA4.

Це означає, що для розрахунків було обрано ансамблевий підхід, як такий, що на сьогоднішній день дає найбільш достовірну вихідну інформацію, оскільки систематичні помилки, властиві кожній окремій моделі, часто виявляються випадковими щодо ансамблю моделей і при усередненні взаємно компенсуються.

Найбільш амбіційний сценарій RCP2.6 щодо мінімального зростання радіаційного форсингу 2,6 Вт/м² до кінця століття з найбільш раннім піком емісії парникових газів близько 2020 р. нами не використовувався, оскільки вже у 2016 р. стало зрозумілим, що передбачені цим сценарієм заходи з пом'якшення глобального потепління не виконуються.

Значення проєкції температури (середня річна, мінімальна та максимальна температура), які були отримані за вищенаведеною методикою для кожного вузла регулярної сітки розміром 50×50 км на території України дали змогу виконати детальний просторово-часовий аналіз розподілу цих кліматичних характеристик територією країни.

Згідно з розрахунками за усіма сценаріями до кінця XXI століття середньорічна температура зростатиме поступово в усіх регіонах та містах України. Найбільше підвищення температури повітря очікується в південних областях України. За жорстким сценарієм (RCP 8.5) в Одесі в 2071–2099 рр. можливе підвищення середньої температури повітря до 16.3°C (табл. 5), при цьому в окремі роки середньорічна температура сягатиме значень вищих 17.0°C. Таке суттєве зростання температури повітря може призвести до встановлення в місті (як і в регіоні в цілому) субтропічного клімату. За помірним сценарієм (що є найбільш імовірним варіантом) температура в 2071–2099 рр. становитиме 13.3°C, а за м'яким (з використанням траєкторії RCP4.5) – 9.7°C. Також, згідно з проєкціями, очікується значне зростання температури повітря в Запоріжжі – від 15.1°C (за жорстким сценарієм) до 9.7°C (за м'яким). Таким чином, у випадку реалізації жорсткого сценарію – температура у місті підвищиться на 5.7°C порівняно з середнім за 1961–1990 рр.

Таблиця 5. Проєкції температури повітря до кінця XXI ст. в окремих містах України

Місто	Сценарій	2041–2070 рр.	2071–2099 рр.
Київ	High-end scenario	11,6	13,3
	Intermediate scenario	10,6	10,7
	Low-end scenario	8,7	9,7
Вінниця	High-end scenario	10,8	12,5
	Intermediate scenario	9,8	9,9
	Low-end scenario	8,7	9,7
Рівне	High-end scenario	11,1	12,8
	Intermediate scenario	10,2	10,3
	Low-end scenario	8,7	9,7
Львів	High-end scenario	11,2	12,9
	Intermediate scenario	10,2	10,4
	Low-end scenario	8,7	9,7
Івано-Франківськ	High-end scenario	9,0	10,8
	Intermediate scenario	8,7	9,7
	Low-end scenario	8,1	8,3
Полтава	High-end scenario	11,7	13,4
	Intermediate scenario	10,6	10,8
	Low-end scenario	8,7	9,7
Запоріжжя	High-end scenario	13,3	15,1
	Intermediate scenario	12,1	12,3
	Low-end scenario	8,7	9,7
Одеса	High-end scenario	14,4	16,3
	Intermediate scenario	13,1	13,3
	Low-end scenario	8,7	9,7
Харків	High-end scenario	10,9	12,6
	Intermediate scenario	10,4	11,3
	Low-end scenario	9,9	10,0
Донецьк	High-end scenario	12,2	13,9
	Intermediate scenario	11,6	12,5
	Low-end scenario	11,0	11,2

У містах, що представляють центральний регіон – Вінниці та Полтаві – також очікується суттєве підвищення температури до кінця нинішнього століття. У Полтаві за різними сценаріями в 2071–2099 рр. середньорічна температура може сягнути від 9.7 до 13.4°C, при цьому в окремі роки середні температури перевищуватимуть 14.0°C. Таким чином, за реалізації жорсткого сценарію температура перевищить середнє значення за період 1961–1990 рр. майже на 6°C, за реалізації м'якого сценарію – на 2.1°C. Для Вінниці в останні тридцять років XXI століття згідно проєкцій можна очікувати зростання температури від 9.7 до 12.5°C. При цьому в окремі роки за жорсткого сценарію середньорічна температура повітря може сягати понад 13.0°C.

Для Північного регіону України очікується ріст температури в середньому на 2.5°C до кінця століття. За прогнозом, найвищі температури спостерігатимуться на Київщині. В Києві в 2071–2099 рр. за різними сценаріями середньорічна температура може сягнути значень від 9.7 до 13.3°C (табл. 5), тобто навіть за найоптимістичнішого сценарію підвищиться на 2°C порівняно з середнім значенням за 1961–1990 рр. і майже на 1°C порівняно з середнім за 1991–2015 рр. Варто також відмітити, що в окремі роки за жорсткого сценарію наприкінці XXI ст. середньорічна температура повітря перевищуватиме 14.0°C.

Згідно з проєкціями очікуване зростання температури не омине й західний регіон. У Рівному та Львові за жорстким сценарієм в 2071–2099 рр. середня температура повітря може зрости до 12.8 та 12.9°C (табл. 5) відповідно. За м'яким – в обох містах слід очікувати 9.7°C. Таким чином, навіть за реалізації м'якого сценарію до кінця нинішнього століття температура в даних містах зросте на 2.6–2.7°C порівняно з середнім значенням за період 1961–1990 рр. В Івано-Франківську слід очікувати дещо меншого зростання температури повітря – в 2071–2099 рр. її середні значення можуть сягнути від 8.3 до 10.8 за різними сценаріями (табл. 5), таким чином, середнє значення за 1961–1990 рр. може бути перевищене на 0.9–3.4°C.

У містах східного регіону також очікується зростання температури повітря. Згідно з кліматичними проєкціями, в 2071–2099 рр. у Харкові температура повітря підвищиться до 10.0°C (за м'яким сценарієм) і до 12.6°C – за жорстким, що буде вищим від середнього значення за 1961–1990 рр. – на 2.5 та 5.1°C відповідно. У Донецьку в останнє тридцятиріччя нинішнього століття очікується підвищення температури повітря від 11.2°C (м'який сценарій) до 13.9°C (жорсткий сценарій), таким чином, середнє значення за кліматичну норму може бути перевищено на 3.2 та 5.9°C відповідно.

У роботах [15, 27] зазначається, що оскільки глобальні кліматичні моделі прогнозують зростання температури повітря, то це відповідно призведе до зростання кількості, частоти та інтенсивності хвиль тепла. На думку К. Шар з колегами [29] екстремальна спека, що спостерігалася в Європі влітку 2003 р. під час однієї з найпотужніших ХТ за всю історію спостережень, в майбутньому може стати більш поширеною.

Добре відомим є той факт, що у великих містах температура повітря є дещо вищою, порівняно з прилеглими територіями. Проте, застосування результатів глобальних кліматичних моделей не дає можливості врахувати мікрокліматичні особливості і, зокрема, острів тепла. В [21] зазначається, що навіть доступні нині результати регіональних кліматичних моделей з горизонтальною роздільною здатністю близько 10 км не дають можливість врахувати острів тепла і тому уточнення очікуваної температури у великих містах потребує деталізації даних, отриманих за проєкціями. Методи деталізації, як правило, поділяють на три групи – статистичні, динамічні

та статистико-динамічні [21]. Статистичні методи масштабування ґрунтуються на встановленні статистичної залежності між даними, отриманими за глобальними і регіональними моделями, та локальними даними, що мають високу деталізацію і дають можливість оцінити інтенсивність острова тепла. Наприклад, в дослідженні [28] для деталізації результатів моделювання температури повітря за допомогою глобальних кліматичних моделей була розроблена статистична модель для встановлення взаємозв'язків між термічним режимом в центральній частині Мельбурна та прилеглих неурбанізованих територій. Також успішні приклади застосування статистичного масштабування даних глобальних кліматичних моделей для великих міст представлені в [20, 33, 35]. З іншого боку – даний підхід не може бути застосований у випадку недостатньої кількості пунктів спостережень, адже, в такому випадку неможливо оцінити інтенсивність острова тепла (ОТ), його структуру. Саме цей чинник суттєво обмежує можливості застосування статистичного масштабування проєкцій клімату для уточнення температурного режиму міст України під впливом острова тепла – адже, в кожному місті розташована лише одна метеорологічна станція. Крім того – якщо така станція розташована на околиці міста, то навіть спроба ідентифікувати наявність острова тепла в місті шляхом порівняння з даними станцій сусідніх невеликих населених пунктів не дасть очікуваного результату.

Динамічні методи є дещо складнішими – вони передбачають застосування різноманітних моделей, потребують потужних сучасних комп'ютерів для проведення моделювання. Д. Ловаєт з колегами [25] для масштабування результатів глобальних кліматичних моделей застосував модель міського граничного шару "UrbClim". Модель була застосована для восьми міст, що розташовані на трьох континентах і в результаті автори дослідження дійшли до висновку, що даний динамічний метод масштабування дає можливість оцінити інтенсивність та еволюцію островів тепла на кілька десятиліть вперед (а, відповідно, уточнити результати моделювання клімату для великих міст) з безпрецедентною роздільною здатністю – кілька сотень метрів. Р. Гамді з колегами [19] також застосували динамічний підхід, що дав можливість з високою роздільною здатністю оцінити очікувані зміни температурного режиму в міських районах та передмісті Брюсселя до 2071–2100 рр. Для вирішення даної задачі була розроблена стратегія, що передбачала застосування відразу кількох моделей, кожна з яких давала можливість вирішити певне проміжне завдання на одному з етапів роботи. Динамічні підходи також застосовувалися іншими вченими для вирішення аналогічних задач [12, 23].

Статистико-динамічні методи поєднують в собі принципи обох вищеописаних підходів [11, 18, 21].

Інтенсивність острова тепла в окремих містах в найсприятливіші години для його інтенсивного розвитку (вночі) може бути значною і для мега-міст інколи сягає 10.0–15.0°C [24, 26]. Проте слід брати до уваги, що на формування острова тепла впливає значна кількість чинників, тому його інтенсивність суттєво варіюється, як протягом року, так і протягом доби. Результати спостережень свідчать, що температура повітря в окремі дні в містах може бути такою ж, як в передмістях і навіть нижчою. Наприклад, дослідження острова тепла в Лондоні свідчить, що різниця між містом та прилеглими територіями за максимальними температурами в липні за тридцятирічний період була негативною або дорівнювала нулю у 30 % випадків, в червні та серпні – для більш ніж 40 % днів [32]. Середньодобові різниці температури повітря між Києвом та Борисполем у 2004–2008 рр. у 51.3 % мали додатній знак, 41.5 % – від'ємний, 7.2 % – були рівні нулю [8]. Оскільки острови тепла у великих містах не є стаціонарними і їх інтенсивність може суттєво варіюватися, то середньорічне значення цього показника, як

правило, є невисоким. Наприклад, для міста Падуа (Італія) середнє значення інтенсивності ОТ за 2010–2011 рр. становило 0.5°C [13]; для Мінеаполіса (США) за 1967–1976 рр. – варіювалося від 0.5 до 1.0°C [34]; для Лондона за 1931–1960 рр. (з населенням – понад 8 млн. осіб) – становило 1.4°C [14, 24], в Москві протягом ХХ ст. середня інтенсивність ОТ варіювалася в межах 1.0–2.0° [26]. Результати дослідження відмінностей середньої температури повітря в Києві та на станціях, що розташованих поблизу нього, по п'ятирічках з 1926 р. по 1995 р., свідчать, що середні різниці за окремі п'ятирічки варіюються від 0.2 до 0.7°C [3]. Аналогічні розрахунки для Харкова за період 1951–2010 рр. показали, що максимальне значення різниці становило 0.3°C.

Отже, хоча для мега-міст усереднені значення інтенсивності острову тепла можуть сягати до 2.5°C, для більшості міст світу (в тому числі – й для найбільших міст України) цей показник не перевищує 1.0°C. У той же час, діапазон очікуваних осереднених значень температури повітря для конкретного міста згідно з різними сценаріями досягає значно більших значень (для міст України для періоду 2071–2099 рр. за жорстким сценарієм від 2.5 до 6.6°C) (табл. 5). Таким чином, невизначеність очікуваних значень температури згідно з проєкціями ГМК є значно вищою, ніж середньорічна інтенсивність ОТ. Тому врахування впливу острова тепла при визначенні середніх значень температури за багатолітні періоди за кліматичними моделями не має фізичного сенсу. Проте оскільки в окремі дні за сприятливих умов інтенсивність острову тепла може бути дуже високою (і це становить значну небезпеку в теплий період року), то при вирішенні конкретних наукових чи практичних задач, що потребують інформації про очікувані максимальні температури повітря в місті в літні місяці варто застосовувати статистичні, динамічні чи статистично-динамічні методи для деталізації результатів глобальних кліматичних моделей з урахуванням міського ОТ.

Висновки. Проведений аналіз проявів кліматичної зміни в містах України свідчить про помітне підвищення температури повітря, зростання частоти прояву тропічних ночей та випадків ХТ в сучасний період порівняно з кліматичною нормою. У досліджуваних містах відмічається погіршення режиму зволоження території – відбувається перерозподіл кількості опадів по сезонах та зміна режиму їх випадання. Виконана оцінка можливих змін температурного режиму на території України за різними сценаріями з європейського проекту "IMPRESSIONS" свідчить, що до кінця століття слід очікувати значного підвищення середньої температури повітря в містах усіх регіонів України. Таким чином, результати проведеного дослідження свідчать про високу актуальність подальшого аналізу вразливості українських міст до зміни клімату, необхідність розробки і впровадження заходів адаптації.

Список використаних джерел:

1. Балабух В.О. Зміна інтенсивності конвекції в Україні: причини та наслідки // Електронний ресурс. – Режим доступу: <http://meteo.gov.ua/files/content/docs/Vinnitsa/UkrGMI.pdf>
2. Города и изменение климата: направления стратегии. Глобальный доклад о населенных пунктах 2011 года. Программа ООН по населенным пунктам // Електронний ресурс. – Режим доступу: www.unhabitat.org/pmss/getElectronicVersion.aspx?nr=3101&alt=1
3. Гребенюк Н.П. Про зміни температури повітря в містах України у процесі урбанізації / Н.П. Гребенюк, М.Б. Барабаш // Наук. праці УкрНДГМІ. – 2004. – Вип. 253. – С. 148–154.
4. Клімат Києва / За ред. В.І. Осадчого, О.О. Косовця, В.М. Бабіченко. – К.: Ніка-Центр, 2010. – 320 с.
5. Клімат України / За ред. В.М. Ліпінського, В.А. Дячука, В.М. Бабіченко. – К.: Видавництво Раєвського, 2003. – 343 с.
6. Краковська С.В. Можливі сценарії кліматичних умов у Тернопільській області впродовж ХХІ ст. / С.В. Краковська, Н.В. Гнатюк, Т.М. Шпиталь // Наук. зап. Терноп. нац. пед. ун-ту ім. В. Гнатюка. Сер. Географія. – 2014. – № 1. – С. 55–67.

7. Краковська С.В. Проєкції змін приземної температури повітря за даними ансамблю регіональних кліматичних моделей у регіонах України в ХХІ столітті / С.В. Краковська, Н.В. Гнатюк, Т.М. Шпиталь, Л.В. Паламарчук // Наук. пр. Укр. н.-д. гідрометеорол. ін-ту. – 2016. – Вип. 268. – С. 33–44.

8. Шевченко О.Г. Особливості термічного режиму граничного шару атмосфери над Києвом / О.Г. Шевченко, С.І. Сніжко, Є.В. Самчук // Людина та довкілля. Проблеми неоекології. – 2012. – № 3–4. – С. 7–13.

9. Шевченко О.Г. Прояв зміни клімату на території м. Києва та основні підходи до його адаптації / О.Г. Шевченко // Часопис картографії. – 2017. Вип. 17. – С. 95–109.

10. Шевченко О.Г. Хвилі тепла та основні методологічні проблеми, що виникають при їх дослідженні / О.Г. Шевченко, С.І. Сніжко // Український гідрометеорологічний журнал. – 2012. – № 10. – С. 57–63.

11. Boé J. A simple statistical-dynamical downscaling scheme based on weather types and conditional resampling / J. Boé, L. Terray, F. Habets, E. Martin // J. Geophys. Res. – 2006. – Vol. 111. DOI:10.1029/2005JD006889

12. Bueno de Moraes M.V. Dynamical Downscaling of Future Climate Change Scenarios in Urban Heat Island and Its Neighborhood in a Brazilian Subtropical Area / M.V. Bueno de Moraes, V.V.U. Guerrero, L. Droprinchinski Martins, J.A. Martins // Proceedings of the 2nd International Electronic Conference on Atmospheric Sciences. – 2017. – Vol. 1. – P. 106. doi:10.3390/ecas2017-04130

13. Busato, F. Three years of study of the Urban Heat Island in Padua: Experimental results / F. Busato, R.M. Lazzarin, M. Noro // Sustainable Cities and Society. – 2014. – Vol. 10. – P. 251–258.

14. Chandler, T.J. The climate of London. – L., 1965.

15. Diffenbaugh, N.S. Climate change hotspots in the CMIP5 global climate model ensemble / N.S. Diffenbaugh, F. Giorgi // Clim. Chang. – 2012. – Vol. 114. – P. 813–822.

16. Elizbarashvili M. Climatology and Historical Trends in Tropical Nights over the Georgian Territory / M. Elizbarashvili, E. Elizbarashvili, N. Kutaladze, S. Elizbarashvili, R. Maisuradze, T. Eradze, T. Jamaspashvili, N. Gogia // Earth Sciences. – 2017. – Vol.6 (5–1). – P. 23–30. DOI:10.11648/j.earth.s.2017060501.14

17. Fifth Assessment Report (AR5) // Електронний ресурс. – Режим доступу: <https://www.ipcc.ch/report/ar5/mindex.shtml>

18. Frey-Buness F. A statistical-dynamical downscaling procedure for global climate simulations / F. Frey-Buness, D. Heimann, R. Sausen // Theoretical and Applied Climatology. – 1995. – Vol. 50. – P. 117–131.

19. Hamdi R. Assessment of three dynamical urban climate downscaling methods: Brussels's future urban heat island under an A1B emission scenario / R. Hamdi, H. Van de Vyver, R. De Torch, P. Termonia // International Journal of Climatology. – 2014. – Vol. 34. – Pp. 978–999.

20. Hoffmann P. A statistical model for the urban heat island and its application to a climate change scenario / P. Hoffmann, O. Krueger, K.H. Schlunzen // Int. J. Climatol. – 2012. – Vol.32. – P. 1238–1248;

21. Hoffmann P. Statistical-dynamical downscaling of the urban heat island in Hamburg, Germany / P. Hoffmann, R. Schoetter, K.H. Schlunzen // Meteorologische Zeitschrift. – 2016. – Vol. 27(2). – P. 89–109. DOI 10.1127/metz/2016/0773

22. IMPRESSIONS – Impacts and Risks from High-End Scenarios: Strategies for Innovative Solutions // Електронний ресурс. – Режим доступу: <http://www.impressions-project.eu>

23. Kusaka H. Urban climate projection by the WRF model at 3-km horizontal grid increment: dynamical downscaling and predicting heat stress in the 2070's August for Tokyo, Osaka, and Nagoya metropolises / H. Kusaka, M. Hara, Y. Takane // Journal of Meteorological Society of Japan. – 2012. – Vol. 90. – P. 47–63.

24. Landsberg H.E. The Urban Climate. – N.Y., 1981.

25. Lauwaet D. Detailed Urban Heat Island Projections for Cities Worldwide: Dynamical Downscaling CMIP5 Global Climate Models / D. Lauwaet, H. Hooyberghs, B. Maiheu, W. Lefebvre, G. Driessen, S. Van Looy, K. De Ridder // Climate. – 2015. – Vol.3. – P. 391–415. doi:10.3390/cli3020391

26. Lokoshchenko, M.A., 2014. Urban 'heat island' in Moscow / M.A. Lokoshchenko // Urban Climate. – 2014, Vol. 10(3). – P. 550–562.

27. Meehl, G.A. More intense, more frequent, and longer lasting heat waves in the 21st century / G.A. Meehl, C. Tebaldi // Science. – 2004. – Vol.13. – P. 994–997.

28. Sachindra D. A., Ng A., Muthukumaran S. Perera B. J. C. Impact of climate change on urban heat island effect and extreme temperatures: a case-study / D.A. Sachindra, A. Ng, S. Muthukumaran, B. Perera // Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society. – 2016. – Vol. 142. – P. 172–186. DOI:10.1002/qj.2642

29. Schär C. The role of increasing temperature variability in European summer heat waves / C. Schär, P.L. Vidale, D. Luthi, C. Frei, C. Haberli, M.A. Liniger, C. Appenzeller // Nature. – 2004. – Vol.427. – P. 332–336.

30. Shevchenko O. Long-term analysis of heat waves in Ukraine / O. Shevchenko, H. Lee, S. Snizhko, H. Mayer // International Journal of Climatology. – 2014. – Vol. 34 (5). – P. 1642–1650.

31. Thomson A. RCP4.5: a pathway for stabilization of radiative forcing by 2100 / A. Thomson, K. Calvin, S. Smith, G. Kyle, A. Volke, P. Patel, S. Delgado-Arias, B. Bond-Lamberty, M. Wise, L. Clarke, J. Edmonds // Climatic Change. – 2011. – Vol.109 (1–2). – P. 77–94.

32. Tzavali A. Urban heat island intensity: a literature review / A. Tzavali, J.P. Paravantis, G. Mihalakakou, A. Fotiadi, E. Stigka // Fresenius Environmental Bulletin. – 2015. – Vol. 24. – P. 4537–4554.

33. Wilby, R.L. Constructing climate change scenarios of urban heat island intensity and air quality / R.L. Wilby // Env. Planning B: Planning and Design. – 2008. – Vol.35. – P. 902–919.

34. Winkler, J.A. Effect of temperature adjustments on the Minneapolis–St. Paul urban heat island / J.A. Winkler, R.H. Skaggs, D.G. Baker, // J. Appl. Meteor. – 1981. – Vol. 20. – P. 1295–1300.
35. Zaksek K. Downscaling land surface temperature for urban heat island diurnal cycle analysis / K. Zaksek, K. Ostir // Remote Sens. Environ. – 2012. – Vol. 117. – P. 114–124.

References:

1. Balabukh V.O. Zmina intensyvnosti konvektiv v Ukraini: prychny ta naslidky // Elektronnyi resurs. – Rezhym dostupu: <http://meteo.gov.ua/files/content/docs/Vinnitsa/UkrGMI.pdf>
2. Horoda y yzmenenye klymata: napravleniya stratehy. Hlobalnyi doklad o naselennykh punktakh 2011 hoda. Prohramma OON po naselennym punktam // Elektronnyi resurs. – Rezhym dostupu: www.unhabitat.org/pmss/getElectronicVersion.aspx?nr=3101&alt=1
3. Hrebeniuk N.P. Pro zminy temperatury povitria v mistakh Ukrainy u protsesi urbanizatsii / N.P. Hrebeniuk, M.B. Barabash // Nauk. pratsi UkrNDHMI. – 2004. – Vyp. 253. – S. 148–154.
4. Klimat Kyieva / Za red. V.I. Osadchoho, O.O. Kosovtsia, V.M. Babichenko. – K. : Nika-Tsentr, 2010. – 320 s.
5. Klimat Ukrainy / Za red. V.M. Lipinskoho, V.A. Diachuka, V.M. Babichenko. – K. : Vydavnytstvo Raievskoho, 2003. – 343 s.
6. Krakovska S.V. Mozhlivi sisenarii klimatychnykh umov u Ternopilskii oblasti vprodovzh KhKhI st. / S.V. Krakovska, N.V. Hnatiuk, T.M. Shpytal // Nauk. zap. Ternop. nats. ped. un-tu im. V. Hnatiuka. Ser. Heohrafiia. – 2014. – № 1. – S. 55–67.
7. Krakovska S.V. Proektsii zmin pryzemnoi temperatury povitria za danymy ansamblu rehionalnykh klimatychnykh modelei u rehionakh Ukrainy v KhKhI stolitti / S.V. Krakovska, N.V. Hnatiuk, T.M. Shpytal, L.V. Palamarchuk // Nauk. pr. Ukr. n.-d. hidrometeorol. in-tu. – 2016. – Vyp. 268. – S. 33–44.
8. Shevchenko O.H. Osoblyvosti termichnoho rezhymu hranychnoho sharu atmosfery nad Kyjevom / O.H. Shevchenko, S.I. Snizhko, Ye.V. Samchuk // Liudyna ta dovkillia. Problemy neokolohii. – 2012. – № 3–4. – s.7–13.
9. Shevchenko O.H. Projav zminy klimatu na terytorii m. Kyieva ta osnovni pidkody do yoho adaptatsii / O.H. Shevchenko // Chasopys kartohrafi. – 2017. Vyp. 17. – S. 95 – 109.
10. Shevchenko O.H. Khvyli tepla ta osnovni metodolohichni problemy, shcho vynykaiut pry yikh doslidzhenii / O.H. Shevchenko, S.I. Snizhko // Ukrainyski hidrometeorolohichni zhurnal. – 2012. – № 10. – S. 57–63.
11. Boé J. A simple statistical-dynamical downscaling scheme based on weather types and conditional resampling / J. Boé, L. Terray, F. Habets, E. Martin // J. Geophys. Res. – 2006. – Vol. 111. DOI:10.1029/2005JD006889
12. Bueno de Moraes M.V. Dynamical Downscaling of Future Climate Change Scenarios in Urban Heat Island and Its Neighborhood in a Brazilian Subtropical Area / M.V. Bueno de Moraes, V.V.U. Guerrero, L. Droprinchinski Martins, J.A. Martins // Proceedings of the 2nd International Electronic Conference on Atmospheric Sciences. – 2017. – Vol. 1. – P. 106. doi:10.3390/ecas2017-04130
13. Busato, F. Three years of study of the Urban Heat Island in Padua: Experimental results / F. Busato, R.M. Lazzarin, M. Noro, // Sustainable Cities and Society. – 2014. – Vol. 10. – P. 251–258.
14. Chandler, T.J. The climate of London. – L., 1965.
15. Diefenbaugh N.S. Climate change hotspots in the CMIP5 global climate model ensemble / N.S. Diefenbaugh, F. Giorgi // Clim. Chang. – 2012. – Vol. 114. – P. 813–822.
16. Elizbarashvili M. Climatological and Historical Trends in Tropical Nights over the Georgian Territory / M. Elizbarashvili, E. Elizbarashvili, N. Kutaladze, S. Elizbarashvili, R. Maisuradze, T. Eradze, T. Jamaspashvili, N. Gogia // Earth Sciences. – 2017. – Vol. 6 (5–1). – P. 23–30. DOI: 10.11648/j.earth.s.2017060501.14
17. Fifth Assessment Report (AR5) // Elektronnyi resurs. – Rezhim dostupu: <https://www.ipcc.ch/report/ar5/mindex.shtml>

O. Shevchenko, PhD Geography, Associate Professor
ORCID ID <https://orcid.org/0000-0003-3915-427X>,
S. Snizhko, Doctor of Geographical Sciences, Professor
ORCID ID <https://orcid.org/0000-0002-2696-687X>
Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine

CLIMATE CHANGE AND UKRAINIAN CITIES: MANIFESTATIONS AND PROJECTIONS ON 21ST CENTURY BASED ON RCP-SCENARIOS

The features of the manifestation of climate change in the cities of Ukraine are investigated. It has been established that over the past decades mean annual air temperature in big cities has increased on 0.7–1.2°C, compare to the normal climatic period (1961–1990). The most significant increase in the mean monthly air temperature in the modern period in Ukrainian cities was recorded in January and in the summer months. An increase in the recurrence of tropical nights (when the air temperature did not drop below 20.0°C) and heat waves (HW) was revealed. In all studied cities located in different regions of Ukraine (with the exception of Kharkiv and Kyiv), the number of HW cases in the modern period (1991–2015) has increased two or more times compared with 1961–1990. The most vulnerable in the modern period to the effects of HW are the cities of the southern regions of Ukraine. No HW cases were recorded in Odessa during the period 1961–1990, and 14 cases have been identified in the modern period; the frequency of HW in Zaporizhzhya and Kherson increased from 3 to 22 cases. A change was found in the distribution of precipitation over the seasons and the nature of their precipitation: with a decrease in the number of cases of precipitation, their intensity increases. Based on RCP-scenarios, projections of air temperature for the studied cities were made until the end of the 21st century. According to the calculations for all scenarios, the average annual air temperature will increase gradually in all regions and cities of Ukraine and will increase on average from 2.0–2.5°C in the low-end scenario (RCP 4.5) to 5.0–6.0°C in the high-end scenario (RCP 8.5). Thus, the results of the study indicate the need to analyze the vulnerability of Ukrainian cities to climate change and can be used both to carry out such assessment and to develop measures and plans for adaptation to climate change.

Key words: climate change, climate change manifestation, urban area, RCP-scenarios, heat wave, tropical nights (TR20).

18. Frey-Buness F. A statistical-dynamical downscaling procedure for global climate simulations / F. Frey-Buness, D. Heimann, R. Sausen // Theoretical and Applied Climatology. – 1995. – Vol. 50. – P. 117–131.
19. Hamdi R. Assessment of three dynamical urban climate downscaling methods: Brussels's future urban heat island under an A1B emission scenario / R. Hamdi, H. Van de Vyver, R. De Torch, P. Termonia // International Journal of Climatology. – 2014. – Vol. 34. – P. 978–999.
20. Hoffmann P. A statistical model for the urban heat island and its application to a climate change scenario / P. Hoffmann, O. Krueger, K.H. Schlunzen // Int. J. Climatol. – 2012. – Vol. 32. – P. 1238–1248;
21. Hoffmann P. Statistical-dynamical downscaling of the urban heat island in Hamburg, Germany / P. Hoffmann, R. Schoetter, K.H. Schlunzen // Meteorologische Zeitschrift. – 2016. – Vol. 27(2). – P. 89–109. DOI 10.1127/metz/2016/0773
22. IMPRESSIONS – Impacts and Risks from High-End Scenarios: Strategies for Innovative Solutions // Elektronnyi resurs. – Rezhim dostupu: <http://www.impressions-project.eu>
23. Kusaka H. Urban climate projection by the WRF model at 3-km horizontal grid increment: dynamical downscaling and predicting heat stress in the 2070's August for Tokyo, Osaka, and Nagoya metropolises / H. Kusaka, M. Hara, Y. Takane // Journal of Meteorological Society of Japan. – 2012. – Vol. 90. – P. 47–63.
24. Landsberg H.E. The Urban Climate. – N.Y., 1981.
25. Lauwaet D. Detailed Urban Heat Island Projections for Cities Worldwide: Dynamical Downscaling CMIP5 Global Climate Models / D. Lauwaet, H. Hooyberghs, B. Mailhe, W. Lefebvre, G. Driesen, S. Van Looy, K. De Ridder // Climate. – 2015. – Vol. 3. – P. 391–415. doi:10.3390/cli3020391
26. Lokoshchenko, M.A., 2014. Urban 'heat island' in Moscow / M.A. Lokoshchenko // Urban Climate. – 2014, Vol. 10(3). – P. 550–562.
27. Meehl, G.A. More intense, more frequent, and longer lasting heat waves in the 21st century / G.A. Meehl, C. Tebaldi // Science. – 2004. – Vol. 13. – P. 994–997.
28. Sachindra D. A. Impact of climate change on urban heat island effect and extreme temperatures: a case-study / D.A. Sachindra, A. Ng, S. Muthukumar, B. Perera // Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society. – 2016. – Vol. 142. – P. 172–186. DOI:10.1002/qj.2642
29. Schär C. Appenzeller, C. The role of increasing temperature variability in European summer heat waves / C. Schär, P.L. Vidale, D. Luthi, C. Frei, C. Haberli, M.A. Liniger, C. Appenzeller // Nature. – 2004. – Vol. 427. – P. 332–336.
30. Shevchenko O. Long-term analysis of heat waves in Ukraine / O. Shevchenko, H. Lee, S. Snizhko, H. Mayer // International Journal of Climatology. – 2014. – Vol. 34 (5). – P. 1642–1650.
31. Thomson A. RCP4.5: a pathway for stabilization of radiative forcing by 2100 / A. Thomson, K. Calvin, S. Smith, G. Kyle, A. Volke, P. Patel, S. Delgado-Arias, B. Bond-Lamberty, M. Wise, L. Clarke, J. Edmonds // Climatic Change. – 2011. – Vol. 109 (1–2). – P. 77–94.
32. Tzavali A. Urban heat island intensity: a literature review / A. Tzavali, J.P. Paravantis, G. Mihalakakou, A. Fotiadis, E. Stigka // Fresenius Environmental Bulletin. – 2015. – Vol. 24. – P. 4537–4554.
33. Wilby, R.L. Constructing climate change scenarios of urban heat island intensity and air quality / R.L. Wilby // Env. Planning B: Planning and Design. – 2008. – Vol. 35. – P. 902–919.
34. Winkler, J.A. Effect of temperature adjustments on the Minneapolis–St. Paul urban heat island / J.A. Winkler, R.H. Skaggs, D.G. Baker, // J. Appl. Meteor. – 1981. – Vol. 20. – P. 1295–1300.
35. Zaksek K. Downscaling land surface temperature for urban heat island diurnal cycle analysis / K. Zaksek, K. Ostir // Remote Sens. Environ. – 2012. – Vol. 117. – P. 114–124.

Надіслано до редколегії 19.11.19

О. Шевченко, канд. геогр. наук, доц.
 ORCID ID <https://orcid.org/0000-0003-3915-427X>,
 С. Снижко, д-р геогр. наук, проф.
 ORCID ID <https://orcid.org/0000-0002-2696-687X>
 Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко, Киев, Украина

ИЗМЕНЕНИЕ КЛИМАТА И ГОРОДА УКРАИНЫ: ПРОЯВЛЕНИЯ И ПРОЕКЦИИ ДО КОНЦА XXI ВЕКА НА ОСНОВАНИИ RCP-СЦЕНАРИЕВ

Исследованы особенности проявления изменения климата в городах Украины. Установлено, что в течение последних десятилетий в крупных городах среднегодовая температура воздуха повысилась на 0,7–1,2°C, по сравнению с климатической нормой (1961–1990 гг.). Самый существенный рост средней месячной температуры воздуха в современный период в городах Украины зафиксирован в январе и в летние месяцы. Выявлен рост частоты проявлений тропических ночей (когда температура воздуха не опускается ниже 20,0°C) и повышение повторяемости волн тепла (ВТ). Во всех исследуемых городах, расположенных в различных регионах Украины (за исключением Харькова и Киева), количество случаев ВТ в современный период (1991–2015 гг.) увеличилось в два и более раза по сравнению с 1961–1990 гг. Наиболее уязвимыми в современный период к воздействию ВТ являются города южных областей Украины. В Одессе в течение 1961–1990 гг. не было зафиксировано ни одного случая ВТ, а в современный период выявлено 14; в Запорожье и Херсоне – частота проявления ВТ выросла с 3-х до 22-х случаев. Установлено, что произошло перераспределение количества осадков по сезонам и изменился характер их выпадения: уменьшилось количество случаев осадков, но чаще наблюдаются случаи, когда за несколько часов выпадает их значительное количество. На основе RCP-сценариев построены проекции температуры воздуха в исследуемых городах до конца XXI века. Согласно расчетам по всем сценариям среднегодовая температура будет расти постепенно во всех регионах и городах Украины и увеличится в среднем от 2,0–2,5°C по мягкому сценарию (RCP 4.5) до 5,0–6,0°C по жесткому сценарию (RCP 8.5). Таким образом, результаты исследования свидетельствуют о необходимости анализа уязвимости украинских городов к изменению климата и могут быть использованы, как для осуществления такой оценки – так и для разработки мероприятий и планов адаптации к проявлениям климатических изменений.

Ключевые слова: изменение климата, проявление изменения климата, урбанизированная среда, RCP-сценарии, волны тепла, тропические ночи.

<http://doi.org/10.17721/1728-2721.2019.75.3>
 УДК 911.3

Я. Олійник, д-р екон. наук, проф., академік НАПН України,
 Т. Нич, канд. геогр. наук, асист.,
 О. Ващенко, асп.

Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна

ФОРМУВАННЯ ТРУДОВОГО ПОТЕНЦІАЛУ КИЇВСЬКОЇ ОБЛАСТІ

Виявлена сутність трудового потенціалу Київської області та її таксономічних рівнів. Виділено 4 тематичних блоків розвитку трудового потенціалу: екологічного, демографічного, економічного блоків та блоку культури. Розраховано 13 показників-індикаторів формування та використання трудового потенціалу у районному вимірі. Розраховано інтегральний ранг розвитку трудового потенціалу для кожного із районів. Здійснено ранжування районів Київської області за значеннями блочних індексів. Обґрунтовано просторово-часовий каркас розвитку трудового потенціалу. Проведено кластерний аналіз за допомогою методів Варда і К-середнього. Встановлено існування ієрархічної кластеризації районів у виділених трьох кластерах за рівнем розвитку трудового потенціалу. Виділено кластери: районів-аутсайдерів і буферних районів. Обґрунтовано наявність ядра розвитку трудового потенціалу Київщини. Встановлено наявність усталеного просторово-часового каркасу трудового потенціалу. Ідентифіковано три типи (групи) районів за досліджуваним показником. Виявлено поле диференціації районів Київської області за величиною базового приросту інтегрального рангу розвитку трудового потенціалу. Встановлено рівень поляризованості розвитку трудового потенціалу або розрив між максимальним та мінімальним значенням інтегрального рангу розвитку трудового потенціалу. Побудована центр-периферійна модель розвитку трудового потенціалу. Проаналізовано динаміку інтегрального рангу розвитку трудового потенціалу у розрізі районів. Ідентифіковано чотири різних типи районів Київської області за центр-периферійною ознакою розвитку трудового потенціалу: 1) райони центрального типу або райони-ядра/центральні райони; 2) райони напівпериферійного типу або напівпериферійні райони; 3) райони периферійного типу або периферійні райони; 4) райони лакунарного типу або лакунарні райони (райони, що є винятками із правил центр-периферійного просторового розподілу). Розкрита специфіка формування, функціонування районів та виділено основні проблеми і запропоновані перспективні напрямки їх розвитку.

Ключові слова: трудовий потенціал, блоки розвитку трудового потенціалу, кластерний аналіз, типізація районів, Київська область.

Вступ. Постановка проблеми. Ефективність розвитку економіки України та її областей значною мірою залежить від наявного трудового потенціалу. Вирішення проблеми формування, використання і нарощування трудового потенціалу має відбуватися як на загальнодержавному, так і на регіональному рівнях.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У науковій літературі різні аспекти формування та використання трудового потенціалу в Україні та Київській області наведені у працях І. Білоконя, І. Дітчука, М. Долішнього, А. Доценка, В. Загороднього, Б. Заставецького, С. Злупка, П. Коваленка, Е. Лібанової, К. Мезенцева, Н. Провотар, І. Мостової, С. Мохначука, В. Онікієнка, С. Пирожкова, Ю. Пітюрєнка, С. Писаренко, В. Сайчука, М. Фащевського та інших вчених. Сьогодні недостатньо розробленими залишаються питання регіональних відміннос-

тей трудового потенціалу, особливо в високоурбанізованих районах, де спостерігається високий рівень демографічних, міграційних, соціальних, економічних його характеристик. Тому суспільно-географічне вивчення формування та використання трудового потенціалу є актуальним.

Мета. Метою дослідження є виявлення особливостей територіальної організації формування трудового потенціалу Київської області.

Методика і методологія. Методологічною основою теоретичні розробки трудових ресурсного потенціалу, його структури і механізму формування. При цьому використані методи системного аналізу і синтезу, літературний (обґрунтування теоретико-методичних основ дослідження), порівняльно-географічний, факторний аналіз, кластерний аналіз, індексний метод, SWOT-аналіз, типізації, графічний, картографічний.