

УДК 551.58.001.57

**Olena Zhukova**, PhD, Associate Professor

ORCID ID: 0000-0003-0662-9996 *e-mail*: zhukova.og@knuba.edu.ua

**Nazarii Nehoda**, graduate student

ORCID ID: 0000-0002-0082-6027 *e-mail*: nehoda\_nv@knuba.edu.ua

Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv, Ukraine

## **FORECAST OF CHANGES IN CLIMATE FACTORS OF THE CITY OF KYIV AND THEIR IMPACT ON THE LIFE CYCLE OF BUILDINGS**

***Abstract.** The problem of global climate change is one of the most important problems of society. Such relevance is due to the fact that the change in climatic parameters has a significant impact on the economic sphere, the ecological situation, social and political life, and the construction industry. The change in the parameters of climate systems has long been beyond doubt. In recent years, due to the perceived threat of global climate warming, interest in long-term interannual climate fluctuations has increased significantly. Therefore, one of the unquestionably relevant tasks is the monitoring of trends in changes in climatic indicators at the local (regional) level. It is these observations on a regional scale that allow us to detect cyclical fluctuations in meteorological values and further judge the change in the Earth's climate in general. When building urban quarters in difficult natural and climatic conditions, along with urban planning and architectural and planning methods of organizing residential structures, one of the key points is the correct selection of fencing materials and structures. Special attention should be paid to their physical properties, thermal conductivity, specific resistance, optical reflectivity, etc. It is also necessary to take into account the location of the construction site, because due to macro- and micro-scale climate-forming factors (radiation conditions, wind regime, form of meso- and microrelief, vegetation, soil, close proximity to the sea, surrounding buildings, etc.) and their due to joint influence in different areas of the city, the difference in temperature and humidity can be significant. The article examines the peculiarities of the manifestation of climatic changes for the city of Kyiv in the context of engineering and construction adaptation and the selection of building materials to create more comfortable living conditions for the residents of the metropolis. It was established that during the last decades in the city the average annual air temperature increased by 0.7–1.2°C, compared to the climatic norm. The most significant increase in the average monthly air temperature in the modern period in the city is observed in the winter and summer months. According to calculations, the average annual temperature will rise gradually and increase by an average of 2.0–2.5°C. On the basis of this, the necessity of conducting further research, creating scientific and practical recommendations, especially in the conditions of modern megacities, which are a factor in climate formation, has been proven. The article analyzes the impact of changes in climatic factors on the life cycle of buildings.*

***Keywords:** climate change; manifestations of climate change; climate; air temperature; urban environment; metropolis; building materials*

О.Г. Жукова, Н.В. Негода

Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ, Україна

## ПРОГНОЗ ЗМІН КЛІМАТИЧНИХ ФАКТОРІВ МІСТА КИЇВ ТА ЇХ ВПЛИВ НА ЖИТТЄВИЙ ЦИКЛ БУДІВЕЛЬ

***Анотація.** Проблема глобальної зміни клімату є однією з найважливіших проблем суспільства. Така актуальність зумовлена тим, що зміна кліматичних параметрів має суттєвий вплив на економічну сферу, екологічну ситуацію, соціальне та політичне життя, будівельну галузь. Зміна параметрів кліматичних систем вже давно не викликає жодних сумнівів. В останні роки у зв'язку з передбачуваною загрозою глобального потепління клімату значно зріс інтерес до міжрічних тривалих коливань клімату. Тому одним з безперечно актуальних завдань є моніторинг тенденцій зміни кліматичних показників на локальному (регіональному) рівні. Саме ці спостереження регіонального масштабу дозволяють виявити циклічні коливання метеорологічних величин і далі судити про зміну клімату Землі загалом. При забудові міських кварталів у складних природно-кліматичних умовах поряд з містобудівними та архітектурно-планувальними методами організації житлових структур одним з ключових моментів є правильний підбір озорозжувальних матеріалів та конструкцій. Особливу увагу необхідно приділяти їх фізичним властивостям, тепловій провідності, питомому опору, оптичній рефлективності та т.п. Необхідно також враховувати район розміщення об'єкта будівництва, оскільки завдяки кліматоутворюючим факторам макро- та мікрорельєфу (радіаційні умови, вітровий режим, форма мезо- та мікрорельєфу, рослинність, ґрунт, безпосередня близькість моря, навколишня забудова і т.д.) та їх спільному впливу у різних районах міста різниця температури та вологості може бути значною. В статті досліджуються особливості прояву кліматичних змін для міста Києва в контексті адаптації інженерно-конструктивних та вибору будівельних матеріалів для створення більш комфортних умов життєдіяльності жителів мегаполіса. Встановлено, що протягом останніх десятиліть в місті середня річна температура повітря зросла на 0,7–1,2°C, у порівнянні з кліматичною нормою. Найсуттєвіше зростання середньої місячної температури повітря в сучасний період у місті спостерігається в зимні та літні місяці. Згідно з розрахунками середньорічна температура зростатиме поступово і збільшиться в середньому на 2,0–2,5°C. На основі цього доведено необхідність проведення подальших досліджень, створення науково-практичних рекомендацій, особливо в умовах сучасних мегаполісів, які є фактором формування клімату. Стаття аналізує вплив зміни кліматичних факторів на життєвий цикл будівель.*

***Ключові слова:** зміна клімату; прояви зміни клімату; клімат; температура повітря; урбанізоване середовище; мегаполіс; будівельні матеріали*

**DOI: <https://doi.org/10.32347/2411-4049.2022.3.64-72>**

### Вступ

Проблема глобальної зміни клімату є однією з найважливіших проблем суспільства. Така актуальність зумовлена тим, що зміна кліматичних параметрів має суттєвий вплив на економічну сферу, екологічну ситуацію, соціальне та політичне життя, будівельну галузь. Зміна параметрів

кліматичних систем вже давно не викликає жодних сумнівів. Відповідно до досліджень світових вчених останні 30 років у Північній частині земної кулі вважаються найтеплішими. Зміна кліматичних параметрів має досить негативні наслідки, які з часом будуть посилюватись.

В останні роки у зв'язку з передбачуваною загрозою глобального потепління клімату значно зріс інтерес до міжрічних тривалих коливань клімату. Тому одним з безперечно актуальних завдань є моніторинг тенденцій зміни кліматичних показників на локальному (регіональному) рівні. Саме ці спостереження регіонального масштабу дозволяють виявити циклічні коливання метеорологічних величин і далі судити про зміну клімату Землі загалом.

Температурний режим характеризується низкою показників, серед яких найбільш значимими є середні та екстремальні значення температури повітря та дати переходу середньої добової температури через певні межі.

Температура повітря є однією з найважливіших метеорологічних величин, що найбільш повно характеризують погоду та клімат. Температура постійно змінюється в просторі та часі. До регулярних змін термічного режиму відноситься річний перебіг температури. Через циркуляційний фактор, що призводить до адвекції тепла або холоду, виникають нерегулярні (аперіодичні) зміни температури.

З практичного погляду найбільший інтерес представляють короткоперіодні коливання клімату, тобто такі, що не перевищують сотні років. У цьому випадку залишається не так вже й багато кліматоутворюючих факторів: вулканізм, склад атмосфери, великомасштабні процеси взаємодії океану та атмосфери, антропогенна діяльність. Важливо, що ці фактори, як правило, пов'язані між собою, в результаті чого досить складно визначити справжні причини змін клімату.

При забудові міських кварталів у складних природно-кліматичних умовах поряд з містобудівними та архітектурно-планувальними методами організації житлових структур одним з ключових моментів є правильний підбір огорожувальних матеріалів та конструкцій. Особливу увагу необхідно приділяти їх фізичним властивостям, тепловій провідності, питомому опору, оптичній рефлексивності та т.п.

Необхідно також враховувати район розміщення об'єкта будівництва, оскільки завдяки кліматоутворюючим факторам макро- та мікромасштабу (радіаційні умови, вітровий режим, форма мезо- та мікрорельєфу, рослинність, ґрунт, безпосередня близькість моря, навколишня забудова і т.д.) та їх спільному впливу у різних районах міста різниця температури та вологості може бути значною.

У публікаціях та міжнародних проєктах останнього часу підвищення приземної температури повітря пояснюється виключно накопиченням в атмосфері антропогенного вуглекислого газу. В результаті діяльності людства в атмосферу щороку потрапляє 6% вуглекислого газу, решта 94% припадає на природні глобальні потоки. Регулярні спостереження за концентрацією CO<sub>2</sub> в атмосфері ведуться з 1957 р. У Північній півкулі яскраво виражений сезонний хід змін CO<sub>2</sub> над лісами помірних широт. Надходження вуглекислого газу здійснюється в результаті геохімічних процесів перетворення та метаморфізму гірських порід, а також шляхом надходження з антропогенних джерел (табл. 1).

Дослідження глобального циклу колообігу CO<sub>2</sub> показали, що винос вуглекислого газу з глибин земної кори триває і зараз, без постійного його надходження з надр Землі колообіг вуглецю був би розірваний, що в кінцевому підсумку призвело б до припинення життєдіяльності біоти. Вміст вуглекислого газу в атмосфері оцінюється в 3080 млрд т (у перерахунку на вуглець це становить 840 млрд т). При скороченні сучасного вмісту CO<sub>2</sub> (0,039%) в атмосфері приблизно до 0,015% температура біля земної поверхні впаде, за розрахунками фахівців, на кілька десятків градусів та настануть умови для повного заледеніння.

Таблиця 1 – Глобальні потоки вуглекислого газу в атмосфері

Джерела	CO <sub>2</sub> , млрд т/год
Природні	
Виділення при розкладанні гумусу та корінням рослин	200
Дихання рослин, тварин та людей	65
Відмирання та розкладання рослин	50
Виверження вулканів	3
Антропогенне	
Спалювання викопного палива та виробництво цементу	8
Виділення при спалюванні рослин в якості палива	7
Лісові пожежі	3
Зміна використання земельних ресурсів (вирубка дерев та ін.)	2

Дослідження зміни температури та вологості повітря, а також вітрових умов є вихідною інформацією при розрахунку фізичних параметрів, що застосовуються в умовах гарячого мікроклімату огорожувальних матеріалів конструкцій без їх деформацій та руйнування в ході експлуатації. При цьому необхідно враховувати рівень комфорту для людей, які проживають у цих будівлях.

### Основний зміст

Для аналізу наслідків змін кліматичних параметрів міста Києва було використано результати спостережень за температурою повітря та кількістю опадів з метеорологічних станцій міста за період 1881–2020 рр., а також відхилення від норми середньої місячної температури повітря та місячної кількості опадів.

Для прогнозування змін основних кліматичних параметрів було використано статистичний метод прогнозування. Суттю використання методу є математичний опис зміни основних кліматичних параметрів протягом певного проміжку часу. Опис здійснюється за допомогою часових (динамічних) рядів, рівень яких розглядається як сума чотирьох складових. Умовою використання кліматичних даних для побудови часових рядів є їх однорідність, яка загалом виконується, якщо результати аналізу проведені за єдиною методикою. Для досліджень були використані дані щорічників температур та опадів для міста Києва.

Осереднена середня місячна, річна температура повітря, відхилення від норми середньої місячної температури повітря та місячної кількості опадів м. Києва за досліджуваний період представлено в таблицях 2, 3.

Таблиця 2 – Осереднена середня місячна і річна температура повітря м. Києва за досліджуваний період

Місяць	Характеристика					
	Середня	Середнє квадратичне відхилення	Найбільш низька	Рік	Найбільш висока	Рік
I	-5,6	3,9	-15	1942	2,7	2007
II	-4,2	3,3	-15,9	1929	3,7	2002
III	0,7	3	-6,9	1942	6,9	1990
IV	8,7	1,9	2	1929	12,9	1950
V	15,2	1,9	10,4	1919	19,4	2003
VI	18,2	1,7	13,9	1887	22,6	1999
VII	19,3	1,4	16,9	1935, 1979	25,5	1936
VIII	18,6	1,2	15,5	1884, 1926	24,6	2010
IX	13,9	1,5	10,2	1894	18,4	1909
X	8,1	1,5	2,2	1920	12,4	1935
XI	2,1	2	-6	1993	8	2010
XII	-2,3	2,3	-11,9	1890	2,8	1960
Рік	7,7	1	5,1	1942	9,9	2007

Таблиця 3 – Відхилення від норми середньої місячної температури повітря та місячної кількості опадів у Києві за досліджуваний період

Характеристика		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Рік
Середня місячна температура повітря (°C)	норма (1961-1990)	-5.6	-4.2	0.7	8.7	15.2	18.2	19.3	18.6	13.9	8.1	2.1	-2.3	7.7
	2020	0.8	2.5	6.5	9.9	12.4	21.7	21.9	21.4	18.4	12.5	3.8	-0.5	10.9
	Відхилення	6.4	6.7	5.8	1.2	-2.8	3.5	2.6	2.8	4.5	4.4	1.7	1.8	3.2
Місячна кількість опадів (мм)	норма (1961-1990)	48	46	39	49	53	73	88	69	47	35	51	52	650
	2020	21	46	15	39	122	49	47	31	31	101	30	48	580
	Відхилення	-27	0	-24	-10	69	-24	-41	-38	-16	66	-21	-4	-70

Для прогнозу зміни стану кліматичних параметрів нами було обрано ті показники, які мають лімітуючий характер та найкраще підходять для прогнозування статистичним методом: температура повітря, кількість опадів.

Для прогнозування змін стану кліматичних параметрів можуть бути використані лише ті рівняння, в яких зв'язок між ознаками дуже тісний (значення коефіцієнта кореляції  $r$  ближче до 1) та якщо розрахункове значення  $t$ -критерію перевищує табличне значення (це свідчить про істотний зв'язок між параметром та часом).

Враховуючи, що обсяг інформації, за яким виконувався прогноз, обмежений і параметри трендів не вільні від похибок, були визначені інтервали довіри, при яких характеристика тренду уточнюється (рисунки 1, 2).

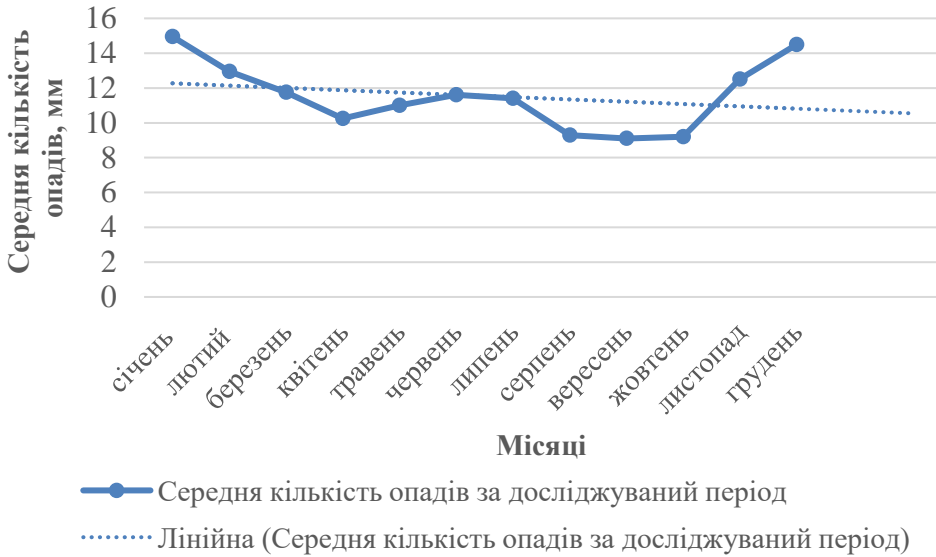


Рис. 1. Середня кількість опадів за досліджуваний період та прогноз її змін

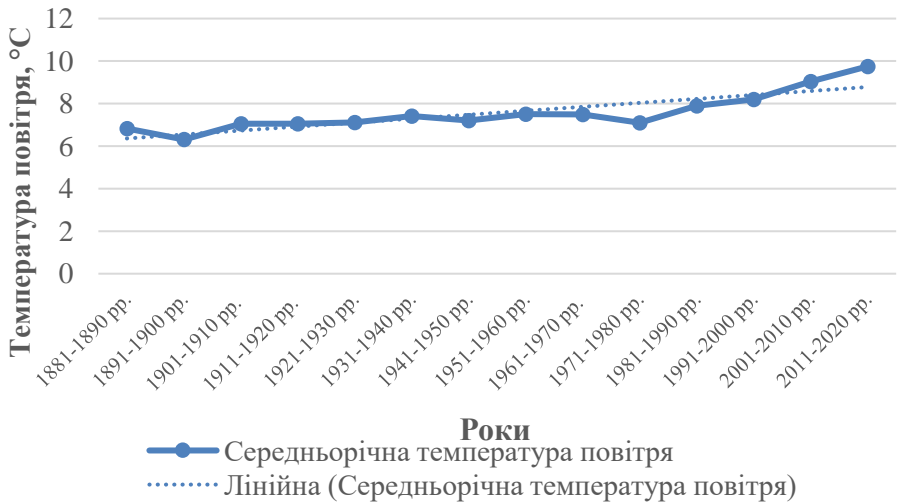


Рис. 2. Середньорічна величина температур повітря за досліджуваний період та прогноз її змін

Кількість опадів є однією із найважливіших характеристик клімату, відповідно за період дослідження її величина змінювалась в межах  $\pm 10\%$ . Для Києва середньорічна кількість опадів (у порівнянні з кліматичною нормою) зменшилась на майже 8%. Відмічається їх перерозподіл відповідно до сезону: взимку спостерігається зменшення майже на 18%, восени – збільшення майже на 20%. Випадання опадів все частіше супроводжується небезпечними погодними явищами (зливи, град, шквальний вітер, смерчі).

Межі наших досліджень обмежені територією міста, де зростання температури за досліджуваний період значно випереджало темпи її збільшення в усьому світі в середньому на  $0,25^{\circ}\text{C}$  за 10 років. У Києві температура повітря за досліджуваний період зросла на  $0,7\text{--}1,2^{\circ}\text{C}$  у порівнянні з кліматичною нормою, аномалії середньорічної температури за досліджуваний період перевищують  $3^{\circ}\text{C}$ . При цьому слід зазначити, що зростання температури спостерігається в усі місяці з різною інтенсивністю. Наприклад, середня температура повітря в Києві найбільше зросла в січні (на  $2,5^{\circ}\text{C}$ ) та липні (на  $2,1^{\circ}\text{C}$ ), а найменше – в грудні (на  $0,2^{\circ}\text{C}$ ) та жовтні (на  $0,4^{\circ}\text{C}$ ). При більш детальному дослідженні сезонних змін слід зазначити, що найсуттєвіші зміни температури повітря спостерігаються влітку та становлять  $1,5^{\circ}\text{C}$ , а найменші – взимку.

Такі зміни зумовили зростання конвективно доступної потенційної енергії атмосфери, швидкості висхідних потоків, підвищення рівня конденсації та рівня конвекції та призвели до збільшення нестійкості атмосфери та інтенсивності конвекції. Внаслідок таких змін на території міста зростає повторюваність та інтенсивність конвективних явищ погоди, зливова складова опадів. Практично не викликає сумнівів і збільшення числа днів з грозою, зливою, градом, шквалом протягом останніх трьох десятиріч.

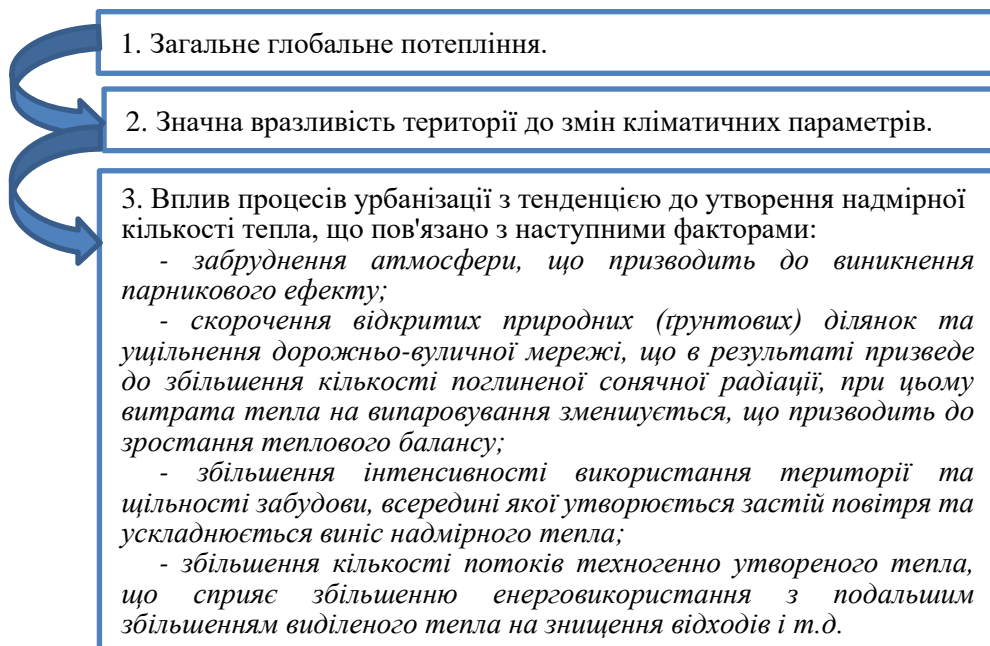


Рис. 3. Фактори зміни кліматичних параметрів, які пов'язані із розвитком урбанізованої території

## Висновки

Таким чином, було встановлено, що зміна клімату міста Києва пов'язана як із глобальними змінами, так і з розвитком урбанізованої території та поєднує в собі низку факторів (рис. 3).

Інтенсивність утворених островів тепла, які утворюються над містами, залежить від їх величини, густоти населення та забудови, природно-кліматичних умов місцевості. Чим більше місто, тим більша позитивна температурна аномалія повітря в ньому. Наприклад, різниця температур в промислово навантаженому районі міста або з великим транспортним потоком та приміськими територіями в радіусі до 100 км може наближатись до 10°C.

Також слід зазначити, що недостатній облік, використання заходів та методик зменшення негативного впливу змін клімату може призвести до збільшення кількості руйнувань будівель в місті, що пов'язано з конкретними причинами:

- у зв'язку зі збільшенням кількості циклів відлиг та замерзання довговічність наявних будівель може зменшитись до 2 разів;

- внаслідок підвищення температури зменшилась потреба в опаленні приміщень під час холодного періоду року та збільшилась потреба в обладнанні систем кондиціонування в теплий період року;

- при багаторазових переходах через межу в 0°C протягом року міжпанельні стики будівель насичуються вологою, в результаті чого розширюються та деформуються. При цьому суттєво збільшуються тепловтрати, збільшується ймовірність утворення грибка, проникнення холодного повітря в приміщення та ін.;

- внаслідок зміни кліматичних показників зменшується опорна здатність ґрунтів та підсилюється ймовірність виникнення карстових процесів, погіршується міцність фундаментів будівель та споруд. Відповідно прискорюється швидкість процесів старіння будівель.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. 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.
2. Бучинский И.Е. Климат Украины в прошлом, настоящем и будущем / И.Е. Бучинский. – К.: Госсельхозиздат УССР, 1963. – 307 с.
3. Второе Национальное сообщение Украины по вопросам изменения климата. Подготовлено в рамках национального плана мероприятий по реализации положений Киотского протокола к Рамочной конвенции Организации Объединенных Наций об изменении климата, утвержденного Кабинетом Министров Украины от 11 августа 2005 г. №346-р. – К., 2006. – 83 с.
4. Глобальне потепління і клімат України: регіональні екологічні та соціально-економічні аспекти / Волощук В.М., Бойченко С.Г., Степаненко С.М. та ін. – К.: ВПЦ «Київський університет», 2002. – 117 с.
5. Клімат України / за ред. В.М. Ліпінського, В.А. Дячука, В.М. Бабіченко. – К.: Вид-во Раєвського, 2003. – 343 с.



6. Изменения глобального климата: роль антропогенных воздействий / Израэль Ю.А., Груза Г.В., Катцов В.М., Мелешко В.П. // Метеорология и гидрология. – 2001. – №5. – С. 5–21.
7. Степаненко С.М. Динаміка та моделювання клімату / С.М. Степаненко. – Одеса: Екологія, 2013. – 202 с.

*Стаття надійшла до редакції 18.04.2022 і прийнята до друку після рецензування 01.08.2022*

## REFERENCES

1. Hrebenyuk, N.P., & Barabash, M.B. (2004). About air temperature changes in the cities of Ukraine in the process of urbanization [Pro zminy temperaturny povitrya v mistakh Ukrayiny u protsesi urbanizatsiyi]. *Scientific works of UkrNDGMI*, 253, 148-154 [In Ukrainian].
2. Buchinsky, I.E. (1963). Climate of Ukraine in the past, present and future [Klimat Ukrainy v proshlom, nastoyashchem i budushchem]. Kyiv: Gosselkhozizdat of the Ukrainian SSR [In Russian].
3. Second National Communication of Ukraine on Climate Change (2006). Prepared as part of the national action plan for the implementation of the provisions of the Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change, approved by the Cabinet of Ministers of Ukraine dated August 11, 2005, No. 346 [Vtoroye Natsional'noye soobshcheniye Ukrainy po voprosam izmeneniya klimata (2006). Podgotovleno v ramkakh natsional'nogo plana meropriyatiy po realizatsii polozheniy Kiotskogo protokola k Ramochnoy konventsii Organizatsii Ob'yedinennykh Natsiy ob izmenenii klimata, utverzhdennoho Kabinetom Ministrov Ukrainy ot 11 avgusta 2005 g., №346]. Kyiv [In Russian].
4. Voloshchuk, V.M., Boychenko, S.G., Stepanenko, S.M. et al. (2002). Global warming and the climate of Ukraine: regional ecological and socio-economic aspects [Hlobal'ne poteplinnya i klimat Ukrayiny: rehional'ni ekolohichni ta sotsial'no-ekonomichni aspekty]. Kyiv: VOC "Kyiv University" [In Ukrainian].
5. Lipinskii, V.M., Dyachuk, V.A., & Babichenko, V.M. (Eds.). (2003). Climate of Ukraine [Klimat Ukrayiny]. Kyiv: Raevsky Publishing House [In Ukrainian].
6. Izrael, Yu.A., Gruza, G.V., Kattsov, V.M., & Meleshko, V.P. (2001). Global climate change: the role of anthropogenic impacts [Izmeneniya global'nogo klimata: rol' antropogenovykh vozdeystviy]. *Meteorology and Hydrology*, 5, 5-21.
7. Stepanenko, S.M. (2013). Climate Dynamics and Modeling [Dynamika ta modelyuvannya klimatu]. Odessa: Ecology [In Ukrainian].

*The article was received 18.04.2022 and was accepted after revision 01.08.2022*

### **Жукова Олена Григорівна**

кандидат технічних наук, доцент кафедри технологій захисту навколишнього середовища та охорони праці Київського національного університету будівництва і архітектури

**Адреса робоча:** пр. Повітрофлотський, 31, м. Київ, Україна, 03037

ORCID ID: 0000-0003-0662-9996 **e-mail:** elenazykova21@gmail.com

### **Негода Назарій В'ячеславович**

аспірант 1 року навчання, спеціальність 101 «Екологія» Київського національного університету будівництва і архітектури

**Адреса робоча:** пр. Повітрофлотський, 31, м. Київ, Україна, 03037

ORCID ID: 0000-0002-0082-6027 **e-mail:** nehoda\_nv@knuba.edu.ua