
ЗМІНА КЛІМАТУ

УДК 504.064

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2021.eco.4-37.25>

ЕКОЛОГІЧНІ НАСЛІДКИ ГЛОБАЛЬНИХ ЗМІН КЛІМАТУ НА УРБАНІЗОВАНИХ ТЕРИТОРІЯХ

Ричак Н.Л.¹, Кізілова Н.М.²

¹ Навчально-науковий інститут екології
Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна
пл. Свободи, 6, 61022, м. Харків

² Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна
пл. Свободи, 4, 61022, м. Харків
rychak@ukr.net; n.kizilova@gmail.com

Глобальні зміни клімату, як зазначено в Новій Стратегії адаптації до змін клімату, вимагають пришвидшити та поглибити підготовку до неминучих наслідків кліматичної кризи. Зміни клімату спричинять ріст ризиків у багатьох життєвих сферах. Нами розглянуто екологічні наслідки кліматичної кризи на урбанізованих територіях. Міста першими прийматимуть екологічних біженців. Перенаселення, нестача робочих місць, житла, інші соціальні потреби призведуть до загострення екологічних проблем у містах: збільшення споживання води (питної води), енергії, продовольчих ризиків, незбалансованого природокористування, зокрема землекористування. Тому нині є актуальним переключення фокусу із розуміння екологічних міських проблем, спричинених глобальною зміною клімату, на вироблення рішень і перехід від планування до реалізації, що допоможе побудувати кліматично стійке майбутнє.

На основі огляду літератури останніх років розглянуто й систематизовано відомості на основі спостережень, а також головні факти, тенденції, математичні моделі й оцінки перспектив впливу глобальних змін клімату на забруднення повітря, води і ґрунтів, підвищення солоності поверхневих вод, якість технічної і питної води, частоту катастрофічних подій, таких як зливи, підтоплення, снігопади, торнадо, масштабні пожежі, смертельні спекотні хвилі. Всі ці зміни цілком негативно впливають на здоров'я людини, тварин, рослин, що призводить до довготривалих нелінійних впливів первинних факторів, які діють у різних комбінаціях як синергетичні. Тому моделі останніх років націлені як на вирішення локальних проблем питної води, якості повітря, забрудненості ґрунту, так і на проблеми існування життя у планетарному масштабі. Результати огляду найсучасніших підходів, методів і математичних моделей використано для аналізу як власних даних, так і відомостей із відкритих джерел для аналізу проблем урбаністичної території м. Харків і Харківської області порівняно з іншими промисловими областями України. Підсумовуючи матеріал, виявлено недостатність результатів моніторингу природних компонентів у рамках загальноприйнятого списку, задокументованих методів дослідження і статистичного аналізу. Визначено необхідність проведення чисельних розрахунків за математичними моделями кожного із забруднювачів та їх впливом на довкілля. *Ключові слова:* Екологічна безпека, глобальні зміни клімату, урбанізовані території, якість атмосферного повітря, якість води, засолення річок.

Ecological aspects of global climate change on urbanized territories. Rychak N., Kizilova N.

Global climate change, as outlined in the New Climate Change Adaptation Strategy, requires accelerating and deepening preparations for the inevitable consequences of the climate crisis. Climate change will increase risks in many areas of life. We have considered the environmental consequences of the climate crisis over urban areas. Cities will primarily accept environmental refugees. Overpopulation, lack of jobs, housing, and other social needs will exacerbate environmental problems in cities: increased consumption of water (drinking water), energy, food risks, unbalanced nature management and especially land use. Therefore, it is important today to shift the focus from understanding the environmental problems in cities caused by global climate change to decision-making and the transition from planning to implementation, which will help build a climate-sustainable future.

Based on a review of the literature of recent years, the observed data, main facts, trends, mathematical models and assessments of the prospects of global climate change on air, water and soil pollution, increasing surface water salinity, quality of industrial and drinking water, frequency of catastrophic events, such as showers, floods, snowfalls, tornadoes, large-scale fires, deadly hot waves. All these changes have a completely negative impact on human, animal and plant health. This leads to long-term nonlinear effects of primary factors, which act in different combinations as synergistic, so that the models of recent years are aimed at solving local problems of drinking water, air quality, soil pollution and the existence of life on a planetary scale. The results of the review of the most modern approaches, methods and mathematical models are used to analyze both own data and data from open sources, to analyze the problems of the urban area of Kharkiv and Kharkiv region in comparison with other industrial regions of Ukraine. Summarizing the material, the insufficiency of monitoring data of natural components within the framework of the generally accepted list, documented research methods, statistical analysis is established. The need for numerical calculations based on mathematical models of each of the pollutants and their impact on the environment is determined. *Key words:* Ecological safety, global climate change, urbanized territories, atmospheric air quality, water quality, salinization of rivers.

Постановка проблеми. Протягом останніх десятиліть природні й антропогенні чинники, зокрема промислова революція, призвели до постійного збільшення викидів парникових газів (CO_2 та інших), спричиненого спалюванням викопного палива [1; 2]. Накопичення CO_2 в атмосфері сприяє вловлюванню інфрачервоного (ІЧ) випромінювання поверхнею Землі після поглинання сонячного світла, що нагріває планету, спричинюючи постійне підвищення температури поверхні суходолу, океану й атмосфери. Глобальне потепління, підвищення денних і нічних температур у свою чергу спричинюють різкі зміни клімату, які супроводжуються збільшенням частоти та інтенсивності хвиль тепла, злив і посух, а також інших абіотичних стресових умов, таких як повені, солоність, торнадо, пожежі, напади комах, зникнення видів та інших. Постійний екологічний моніторинг, статистичне оброблення, візуалізація й аналіз даних є важливою проблемою, вирішення якої дозволить прогнозувати та контролювати складні взаємопов'язані процеси, спричинені змінами клімату.

Актуальність дослідження. У публікаціях останнього десятиліття наведені обґрунтовані відомості про: 1) наявність поступового потепління клімату і його конкретних ознак; 2) необхідність колективних зусиль із накопичення глобального масиву даних задля їх подальшого використання в статистичному аналізі методами Big Data; 3) розроблення і валідацію математичних моделей для подальшого прогнозу екологічної ситуації на конкретній території залежно від локальної кліматичної, демографічної, економічної, інших ситуацій на цій території. У нашому дослідженні наведено як результати критичного огляду опублікованих даних, так і наявної інформації про розв'язання цієї актуальної задачі з використанням результатів власних досліджень урбаністичної території м. Харків і Харківської області.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Наслідки глобальних змін клімату вкрай важливі для м. Харкова і Харківської області як урбаністичних територій. Авторський доробок [3-6] дозволяє, ґрутуючись на результатах найновіших статистичних досліджень і математичного моделювання екологічної ситуації на території країн Європи, Азії, Канади, США та інших країн, використати одержану інформацію для керування і вирішення проблем, спричинених кліматичними й антропогенними чинниками на території України.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналіз пошукової активності в Інтернеті в 2015–2020 рр. на десяти мовах показав, що населення всіх континентів занепокоєно недостатністю детальної інформації про зміни клімату та їхній вплив на ноосферу Землі, а кількість запитів про зміни клімату, вимірюваних пошуковими запитами в Інтернеті протягом 2019–2020 років, помітно збільшилася порівняно з попередніми роками [7]. З'явилася ціла

низка публікацій за результатами екологічного моніторингу й математичного моделювання для різних країн: Японії [8], Азії [9], Китаю [10], Єгипту [11] та інших. Вплив задокументованого потепління клімату та пов'язаних із ним змін у масштабі планети, а також можливість виникнення глобальної катастрофи досліджується на математичних моделях [12]. Відповідно до результатів розрахунків на моделях слід очікувати подальшого збільшення частоти та інтенсивності різних наслідків абіотичного стресу, таких як посухи, аномальна спека, похолодання і повені, разом із поступовим підвищенням середньої глобальної температури. В останні роки з'являються онлайн сервіси з візуалізацією результатів таких розрахунків у реальному часі (із запізненням приблизно 15-30 хвилин після отримання результатів супутникового моніторингу [13-18]).

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Малодослідженими залишаються наслідки впливу глобальних змін клімату, особливо помітні протягом останніх 3-5 років на території країн Східної Європи, оскільки в цих країнах технічна база для детального екологічного моніторингу є відносно слабкою порівняно з країнами Європейського Союзу, а також із США та Канадою.

Виклад основного матеріалу. Систематичний огляд публікацій і результатів аналізу баз даних моніторингу й математичного моделювання дозволяє визначити загальні ознаки та наслідки глобального потепління. Перманентне підвищення температури та концентрації CO_2 проходить настільки швидко, що навіть різкі геофізичні події, які відбувалися в історії Землі, не відповідають нинішнім темпам зростання [19]. Збільшилися частота й інтенсивність сильних опадів, танення снігу й наземного льоду, а також вологість атмосфери [20]. Зафіксовано охолодження стратосфери, яке демонструє, що парникові гази утримують тепло біля поверхні Землі [21]. За останні 50 років більше 90% додаткової енергії накопичено в океані за рахунок того, що вода має більшу теплоємність. Решта енергії (приблизно 10%) нагріває атмосферу, сприяє таненню льоду й нагріву континентів [22; 23]. Північна півкуля нагрівається набагато швидше, ніж Південна за рахунок більшої частини суходолу, сезонного снігового покриву та морського льоду [24]. Потепління в Арктиці спричинило збільшення відкладень сажі на сніг і лід. Танення крижаних щитів в Арктиці порушує циркуляцію океану, зокрема послаблення Гольфстріму, що спричинює ще більші зміни клімату [25]. Більш високі температури збільшують швидкість випаровування, спричинюючи сильніші шторми й екстремальні погодні умови, такі як сильні опади, зливи, підтоплення, торнадо, а також частіші періоди аномальної спеки, масштабні лісові та сільськогосподарські пожежі [21].

Водночас загальне зростання чисельності населення разом із розширенням використання житлової і комерційної землі призводить до перманентного зниження доступності сільськогосподарських земель [26; 27]. Втрата орних земель вимагає постійного збільшення врожайності з кожного гектара землі задля того, щоб прогодувати стійко зростаючу кількість населення. Однак доступність прісної води для використання в сільському господарстві також знижується через глобальне потепління, загальне зростання населення і збільшення попиту на прісну воду для житлового та комерційного використання [28]. Внаслідок цього якість води, що використовується для зрошення сільськогосподарських культур (її рН, рівень солоності, вміст забруднюючих речовин), постійно знижується. Отже, масштабні пожежі, пересихання джерел води, вирубка лісів, розширення пустель і часті періоди аномальної спеки призводять до недостатнього об'єму та якості продуктів харчування, особливо у країнах із відсутньою продовольчою безпекою і дефіцитом питної води.

Тварини й рослини піддаються поступовому посиленню впливу концентрації багатьох антропогенних забруднювачів. Ці побічні продукти людської діяльності містять важкі метали, пестициди, гербіциди, мікропластики, антибіотики, стійкі органічні забруднювачі, тропосферний озон, дизельне паливо і тверді мікрочастинки (PM10, PM2.5). Більшість цих забруднювачів здатна спричинювати зміни рН і засоленість ґрунтів, а також пошкоджувати стратосферний озоновий шар і збільшувати рівень ультрафіолетового (УФ) випромінювання, що досягає поверхні Землі, впливаючи тим самим і на здоров'я людини. Вже у 2015 році ВООЗ визнала, що зміна клімату є найбільшою загрозою здоров'ю людей у XXI столітті, оскільки вона спричинює спалахи захворювань унаслідок недоїдання і поширення таких інфекційних хвороб, як малярія, лихоманка денге і холера, а також захворювань, спричинених забрудненням навколишнього середовища (онкологічних, респіраторних, серцево-судинних та інших) [29].

Глобальне потепління, зміна клімату, забруднення навколишнього середовища створюють для рослин унікальне поєднання різних абіотичних і біотичних стресів, до кожного з яких рослини здатні адаптуватися, але комбінації цих стресових чинників, які виникають разом (багатофакторні стреси), призводять до пригнічення розвитку та виживання рослин [30]. Окрім того, виявлено підвищення вразливості рослин до атак різних патогенів і шкідників, що призводить до порушення запилення їх комахами і занепаду багатьох лісових екосистем [31-33]. Нині спостерігається раннє цвітіння рослин [21]. Вплив на екосистеми супроводжується переміщенням або зникненням багатьох видів.

Зазначені вище чинники мають складний нелінійний вплив на всі процеси в ноосфері, причому в сукупності ці параметри синергетично діють [34]

на якість повітря, води, ґрунтів, на стан екосистем окремих територій [30]. В останні роки з'явилися технічні можливості для детальнішого лабораторного аналізу проб повітря, води і ґрунтів, складні математичні моделі, які налічують сотні диференціальних рівнянь, а також сучасна комп'ютерна техніка (багатопроекторні кластери та сучасний софт) для чисельного розв'язання цих проблем у реальному часі (тобто із запізненням отримання поточних супутникових даних та виведенням результатів чисельних розрахунків і їхньої візуалізації у реальному часі у вигляді 4D map [3,4]. Це вносить в екологічні науки нову розмірність, тому що статистичне оброблення багато параметричних часових рядів (концентрації кожного забруднювача як функції часу, виміряні з періодом дискретизації 5-15 хвилин) потребує підходів до «великих даних» (Big Data analysis) [4-6].

Для всебічного аналізу проблеми потрібні результати моніторингу якості повітря, води, ґрунтів як на міських територіях, так і на території країн світу в рамках загальноприйнятого списку показників і задокументованих методів їх вимірювання [35; 36]. Потрібні також результати статистичного аналізу з використанням підходів Big Data [11] і чисельні розрахунки за математичними моделями, які враховують динаміку кожного забруднювача та його синергетичного впливу на довкілля разом із іншими забруднювачами [37,38].

Детальний огляд електронних ресурсів показує, що Україна порівняно з сусідніми країнами Європи має недостатню кількість сертифікованих станцій екологічного моніторингу (рис. 1а), результати якого надходять у всесвітні бази даних [13-18]. На жаль, відкриті результати екологічного моніторингу якості повітря в містах України протягом 2020–2021 років мають значні розбіжності у використаних методах, списках забруднювачів; існують пропущені результати вимірювань у вихідні дні, протягом новорічних свят і літніх відпусток, що не дозволяє проводити якісний моніторинг екологічного стану за такими даними навіть на території обласних центрів України [40]. Водночас згідно з даними відкритих джерел 2005–2013 років у південних і південно-східних областях України мінералізація поверхневих вод залишається високою [39]. Донецька, Луганська і Харківська області лідирують у рейтингу потреб у питній і технічній воді [5]. Водночас Харківська область має максимальний індекс ризику посухи (0.8-1) та високі значення індексів водного стресу (2-3) й ризику прибережної повені (2-3). Подальший аналіз екологічної ситуації на території України і її найближчих сусідів (Польщі, Словаччини, Угорщини, Румунії, Молдови) проведено з використанням онлайн сервісу Google Earth Engine та можливістю додавання відомостей однією із вбудованих баз даних супутникової інформації про випромінювання і температуру поверхні, атмосферні опади й погоду, карти ландшафтів і земного покриття, якість

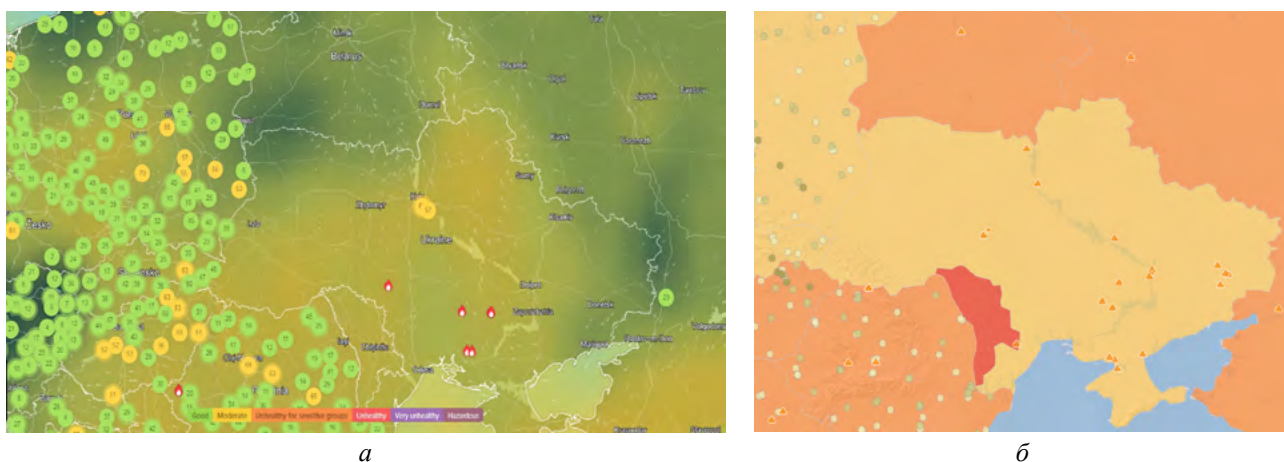


Рис. 1. Інформація від онлайн map забруднення повітря (а), ґрунту і води (б) на території України та сусідніх країн (станом на 7.08.2021 р.)

орних земель, індекси забруднення повітря, поверхневих і ґрунтових вод, ґрунтів та інше.

Бази даних статистичної інформації [13-18] показують, що протягом 2010-2020 років показник урбанізації України (тобто частка міського населення в загальній кількості населення країни) зростає з 68,6% до 69,61%, тоді як загальна чисельність населення зменшилася з 42,42 до 41,48 мільйонів. Рівень смертності від забруднення довкілля становить в Україні 1603 чоловік на 1 мільйон населення, тоді як у сусідній Молдові – 1260, в Білорусі – 1626, у Польщі – 1047, в Румунії – 1500, у Словаччині – 818. Україна

має індекс 1-2 забруднення свинцем (basic lead level, BLL), а також небезпечно забруднені міста Донецької області (Краматорськ, Лисичанськ, Микитівка, Горлівка), фабрики Дніпра, Кривого Рогу, Вінниці, сховища пестицидів у Херсонській і в Одеській областях, радіаційне забруднення в Чорнобильській зоні з високим індексом Blacksmith (BI) ризику життя на території у діапазоні BI=5-6 (рис. 2).

Концентрація небезпечних для здоров'я і життя частинок PM2.5 з 1990 по 2020 рік зменшується (рис.2а), причому Україна має кращі показники порівняно із сусідніми країнами, але й дуже не-

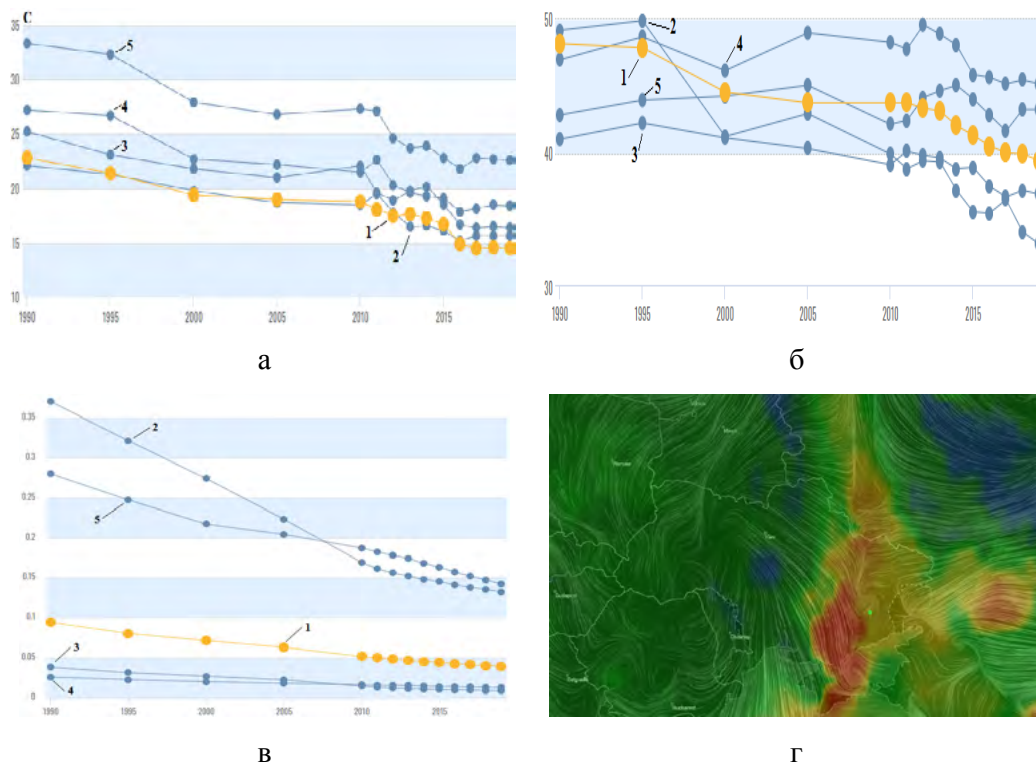


Рис. 2. Концентрації частинок PM2.5 (а), озону (б), частинок від спалення твердого палива (в) та сумарної концентрації забруднень (г) у повітрі на території України (1), Румунії (2), Білорусі (3), Словаччини (4) і Польщі (5) станом на 7.08.2021 р.

лику кількість сертифікованих лабораторій, які подають свої дані до загальноєвропейських екологічних мереж. За рівнем концентрації озону Україна знаходиться між більш забрудненими Румунією і Словаччиною та менш забрудненими Польщею і Білоруссю (рис.2б). За концентрацією забруднень від спалення твердого палива Україна знаходиться між більш забрудненими Румунією і Польщею та менш забрудненими Білоруссю і Словаччиною (рис. 2в). Математичні моделі глобальної циркуляції повітря навколо Землі показують різні типи впливів перенесення забруднень як від сусідніх країн до території України, так і навпаки (рис. 2г).

В окремі дні такі глобальні потоки в атмосфері можуть утворювати фронти зіткнень, які формують сталі за часом області зі значно підвищеною сумарною концентрацією забруднень (рис. 2г). За даними рис.2г, у деякі дні мешканці окремих регіонів піддаються значному негативному впливу твердих мікро/наночастинок (станом на 7.08.2021 р. такою є значна територія Східної України). Аналогічні висновки отримано шляхом обробки власних результатів оцінки якості поверхневих вод на території Харківської області [39], а також якості повітря на території Харківської і сусідніх областей [40].

Головні висновки. Детальний огляд літератури останніх років показав, що глобальні зміни клімату протягом останніх років мають такі ознаки: перманентне підвищення температури та концентрації парникових газів; збільшення частоти та інтенсивності опадів; танення снігу та льоду; підвищення вологості атмосфери, охолодження стратосфери; акумуляція додаткової енергії в океані, танення крижаних щитів і нагрів континентів, порушення циркуляції і збільшення випаровування в океанах; сильні шторми, зливи, підтоплення, торнадо, часті періоди аномаль-

ної спеки, масштабні пожежі. Разом із постійним зростанням чисельності населення ці зміни призводять до зниження доступності та якості орних земель і прісної води, об'єму та якості продуктів харчування. Все це спричинює спалахи захворювань від наслідків недоїдання, а також інфекційних хвороб, онкологічних, респіраторних, серцево-судинних захворювань унаслідок забруднення довкілля.

Для всебічного аналізу проблеми необхідні результати моніторингу якості повітря, води, ґрунтів на території кожної країни світу в рамках загальноприйнятого списку показників і задокументованих методів їх вимірювання [35,36]; потрібні також результати статистичного аналізу з використанням підходів Big Data [11] і чисельні розрахунки за математичними моделями, які враховують динаміку кожного забруднювача та їх синергетичний вплив на навколишнє середовище [37; 38]. Майбутнє потепління залежить від рівнів зворотних зв'язків викидів парникових газів і клімату, котрі оцінюються з використанням суттєво різних математичних моделей, розроблених різними науковими установами. Моделі клімату – це уявлення фізичних, хімічних і біологічних процесів, які впливають на всі показники кліматичної системи планети. Цей ефект повинен слугувати попередженням для суспільства і спонукати до рішучих дій, спрямованих на скорочення викидів забруднюючих речовин, боротьбу із глобальним потеплінням, на підвищення стійкості сільськогосподарських культур до дії багатofакторних стресів.

Перспективи використання результатів дослідження. Подальші дослідження зосереджуватимуться на створенні онлайн системи екологічного моніторингу стану повітря, води і ґрунтів для міст із населенням більше 500 тисяч на території України.

Література

1. Global biodiversity scenarios for the year 2100 / Sala O.E., Chapin F.S., Armesto J.J. et al. *Science*. 2000. № 287. P 1770-1774. doi:10.1126/science.287.5459.1770.
2. Mazdiyasi O., AghaKouchak A. Substantial increase in concurrent droughts and heatwaves in the United States. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*. 2015. № 112 (37). P.11484-11489. doi:10.1073/pnas.1422945112.
3. Кізілова Н.М., Ричак Н.Л., Руднев Ю.І. Підхід системної динаміки до контролю за якістю води на урбанізованих територіях. *Системи обробки інформації*. 2019. №4 (159). С. 87-92. doi: 10.30748/soi.2019.159.10.
4. Кізілова Н.М., Ричак Н.Л. Інформаційне супроводження системи менеджменту водними ресурсами на урбанізованих територіях. *Системи обробки інформації*. 2020. №4(163). С. 37-47. doi:10.30748/soi.2020.163.04
5. Кізілова Н.М., Ричак Н.Л., Чебукін Д.С., Лукієнко М.В. Екологічна оцінка якості поверхневих вод у бездошовий період в умовах міського водозбору. *Вісник ХНУ ім. В.Н. Каразіна, сер. Геологія. Географія. Екологія*. 2021. № 54. С. 289-305. doi:10.26565/2410-7360-2021-54-22.
6. Кізілова Н.М., Ричак Н.Л. Імовірнісні моделі менеджменту водними ресурсами на урбанізованих територіях. *Вісник ХНУ ім. Т.Г.Шевченко, сер. Фізико-математичні науки*. 2021. № 4. С. 20-27. doi: 10.17721/1812-5409.2020/4.3.
7. Siscoad M.R., Pianta S., Weber E.U., Bosetti V. Global climate marches sharply raise attention to climate change: Analysis of climate search behavior. *J. Environ. Psychol.* 2021. № 76(6). P. 101596. doi:10.1016/j.jenvp.2021.101596.
8. Fujibe F. Urban warming in Japanese cities and its relation to climate change monitoring. *Intern. J. Climatol.* 2011. № 31. P. 162–173. doi:10.1002/joc.2142.
9. Kataoka K., Matsumoto F., Ichinose T., Taniguchi M. Urban warming trends in several large Asian cities over the last 100 years. *Sci. Total Environ.* 2009. № 407. P. 3112–3119. doi:10.1016/j.scitotenv.2008.09.015.
10. Wang X., Li Z., Li M. Impacts of climate change on stream flow and water quality in a drinking water source area, Northern China. *Environ. Earth Sci.* 2018. №77. P. 410. doi:10.1007/s12665-018-7581-5.
11. Hereher M.E. Time series trends of land surface temperatures in Egypt: a signal for global warming. *Environ. Earth Sci.* 2016. № 75. P. 1218. doi:10.1007/s12665-016-6024-4.

12. Assessing climate change's contribution to global catastrophic risk / Beard S.J., Holt L., Tzachor A., Kemp L., Avin Sh., Torres Ph., Belfield H. *Futures*. 2021. № 127(3). P. 102673. doi:10.1016/j.futures.2020.102673.
13. Environmental Pollution. Statistics and Facts on Pollution. *Statista*. URL: <https://www.statista.com/topics/4739/environmental-pollution/> (Last accessed: 4.06.2021).
14. Pollution Map. *GAHP*. URL: <https://www.pollution.org/> (Last accessed: 4.06.2021).
15. National Environmental Public Health Tracking. *Centers for Disease Control and Prevention*. URL: <https://www.cdc.gov/nceh/tracking/topics/> (Last accessed: 10.06.2021).
16. OECD Green Growth Indicators. Air pollution, health risks and costs. *OECDiLibrary*. URL: <https://www.oecd-ilibrary.org/sites/> (Last accessed: 12.06.2021).
17. Global warming. Air pollution. *Berkeley Earth*. URL: <http://berkeleearth.org/> (Last accessed: 22.06.2021).
18. Air Pollution in Asia: Real-time Visual Map. *Air Pollution in the World*. URL: <https://aqicn.org/map/> (Last accessed: 23.06.2021).
19. Chapter 1: Framing and Context. In: IPCC SR15 /Allen M.R., Dube O.P., Solecki W., et al. 2018. P. 49–91.
20. Kennedy J.J., Thorne W.P., Peterson T.C., et al. How do we know the world has warmed? *Bulletin of the American Meteorological Society* / Arndt D.S., Baringer M.O., Johnson M.R., (eds.). 2010. № 91(7), P. 26-27. doi:10.1175/BAMS-91-7
21. Global Warming Climate Change. NASA JPL 2020. *NASA: Global Climate Change*. URL: <https://climate.nasa.gov/> (Last accessed: 27.06.2021).
22. Johnson, G.C.; Lyman, J.M.; Boyer, T.; et al. Ocean heat content. Chapter 3. In: *State of the Climate in 2019 Bulletin of the American Meteorological Society*. 2020. №/ 101(8). P. 140–144. doi:10.1175/BAMS-D-20-0105.1.
23. Climate Change: The Physical Science Basis. *The Intergovernmental Panel on Climate Change*. URL: <https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/>. (Last accessed: 27.06.2021).
24. Collins M., Knutti R., Arblaster J.M. et al. Long-term Climate Change: Projections, Commitments and Irreversibility. Chapter 12. *IPCC AR5 WGI*. 2013. P. 1029–1136.
25. Carlowicz M. Watery heatwave cooks the Gulf of Maine. *NASA's Earth Observatory*. Retrieved 1 September 2018. URL: <https://climate.nasa.gov/news/2798/>. (Last accessed: 25.06.2021).
26. McCarthy M.P., Best M.J., Betts R.A. Climate change in cities due to global warming and urban effects. *Geophysical Research Letters*. 2010. № 37. L09705. doi:10.1029/2010GL042845
27. Satterthwaite D. Cities' contribution to global warming: notes on the allocation of greenhouse gas emissions. *Environmental and Urbanization*. 2008. № 20. P. 539–549. doi:10.1177/0956247808096127
28. Wang Z., Wu J., Liu C., Gu G. Integrated Assessment Models of Climate Change Economics. Springer Nature Singapore Pte Ltd. 2017. P. 181. doi : 10.1007/978-981-10-3945-4_1 *Springer* URL: springer.com/gp/book/9789811039430. (Last accessed: 5.02.2021).
29. AR5 Synthesis Report: Climate Change. *The Intergovernmental Panel on Climate Change*. URL: <https://www.ipcc.ch/report/ar5/syr/> (Last accessed: 27.06.2021).
30. Zandalinas S.I., Fritschi F.B., Mittler R. Global warming, climate change, and environmental pollution: recipe for a multifactorial stress combination disaster. *Trends in Plant Science*. 2021. № 26(6). P. 588-599. doi: 10.1016/j.tplants.2021.02.011.
31. Cohen S.P., Leach J.E. High temperature-induced plant disease susceptibility: more than the sum of its parts. *Current Opinion in Plant Biology*. 2020. № 56. P. 235-241. doi:10.1016/j.pbi.2020.02.008.
32. De Laender F. Community- and ecosystem-level effects of multiple environmental change drivers: beyond null model testing. *Global Change Biology*. 2018. № 24. P. 5021-5030. doi:10.1111/gcb.14382.
33. Desaint H., Aoun N., Deslandes L., Vaillau F., Roux F., Berthomé R. Fight hard or die trying: when plants face pathogens under heat stress. *New Phytologist*. 2021. № 229. P. 712-734. doi:10.1111/nph.16965.
34. Taniguchi M., Uemura T., Jago-on K. Combined effects of urbanization and global warming on subsurface temperature in four Asian cities. *Vadose Zone J.* 2007. № 6. P. 591–596. doi:10.2136/vzj2006.0094.
35. Бордюк Н.С., Ращенко А.В., Лесь А.В. Розробка проекту системи моніторингу атмосферного повітря. *Екологічні науки*. 2021. №2(35). С. 15-19. doi:10.32846/2306-9716/2021.eco.2-35.2.
36. Фінін Г.С., Шевченко Р.Ю. Спеціальні геодезичні мережі в екологічному моніторингу. *Екологічні науки*. 2021. №2(35). С. 20-24. doi:10.32846/2306-9716/2021.eco.2-35.3.
37. Abulibdeh A. Analysis of urban heat island characteristics and mitigation strategies for eight arid and semi-arid gulf region cities. *Environment Earth Science*. 2021. №80. P. 259. doi:10.1007/s12665-021-09540-7
38. Makinde E.O., Agbor C.F. Geoinformatic assessment of urban heat island and land use/cover processes: a case study from Akure. *Environment Earth Science*. 2019. № 78, P. 483. doi:10.1007/s12665-019-8433-7.
39. Кізілова Н.М., Ричак Н.Л. Засолення річкових вод в умовах урбодлашфатної геосистеми і потеплення клімату. *Вісник КрНУ імені Михайла Остроградського*. 2021. Вип. 3 (128). (прийнято до публікації).
40. Ричак Н.Л., Кізілова Н.М., Майструк В.А., Макаренко О.С., Прогнімак О.С. Математичний аналіз забруднення повітря на території України з використанням даних з відкритих джерел. *Вісник Вінницького політехнічного інституту*. 2021. №3. (прийнято до публікації).