



## БОЙЧЕНКО

**Світлана Григорівна** — доктор географічних наук, провідний науковий співробітник відділу геомагнетизму Інституту геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України

# МЕТЕОРОЛОГІЧНІ ТА КЛІМАТИЧНІ НАСЛІДКИ ВОЄННИХ ДІЙ В УКРАЇНІ

## За матеріалами доповіді на засіданні Президії НАН України 29 листопада 2023 року

У доповіді зазначено, що дослідження регіональних особливостей змін клімату, зокрема й спричинених веденням воєнних дій в Україні, є важливим науковим, економічним і стратегічним напрямом сьогодення. Війна, розв'язана РФ проти України, а також розгортання збройних конфліктів в інших регіонах світу призвели до посилення глобальної мілітаризації, яка супроводжується додатковими викидами парникових газів в атмосферу. Це сприяє подальшим кліматичним змінам та ускладнює виконання паризьких домовленостей щодо стримування потепління на планеті.

Широкомасштабна російська воєнна агресія вже призвела до деяких серйозних і небезпечних наслідків на території України. Переважно вони пов'язані з ризиком забруднення довкілля через удари по населених пунктах, пошкодження і руйнування підприємств, об'єктів транспортної інфраструктури, нафтосховищ, з припиненням електро- і водопостачання, порушенням технологічних процесів, що відбувається в результаті ракетних обстрілів та ведення активних бойових дій [1–4].

Спричинені війною атмосферні ефекти різних масштабів зумовлюють значні прямі та опосередковані наслідки для навколишнього середовища [5–8]. Важливими аспектами цього впливу є такі:

- *метеорологічні ефекти* — змінення фізико-хімічних властивостей атмосфери, зокрема зменшення прозорості атмосфери через зміну оптичних характеристик унаслідок підвищення вмісту  $\text{NO}_2$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{CO}$  та аерозолів різного походження, в тому числі й через емісію продуктів детонації ракет та снарядів (покрохові гази, гази вибухових речовин), продуктів горіння, викидів газів із пересувних транспортних джерел, іонізацію аерозольних частинок тощо;

- *погодні ефекти* — збільшення хмарності та кількості атмосферних опадів, можлива інтенсифікація грозової діяльності, закиснення атмосферних опадів та випадіння «чорних» дощів через аерозольне навантаження;

• *кліматичні ефекти* — збільшення викидів парникових газів, що підсилює потепління; додаткове внесення ґрунтового аерозолу та різних газоаерозольних домішок, сажі, які залежно від характеристик зумовлюють різні ефекти — від похолодання до потепління; використання фреонів і галонів.

**Глобальні кліматичні ефекти від зростаючої мілітаризації.** Війна в Україні та агресія ХАМАСу проти Ізраїлю призвели до посилення мілітаризації у світі. Це пов'язано як зі зростанням обсягів партнерської військової допомоги, так і з намаганням країн НАТО підвищити свою обороноздатність. Геополітична ситуація у світі спонукає до інтенсифікації виробництва у військово-промисловому комплексі, водночас зумовлюючи додаткові викиди парникових газів в атмосферу [9, 10]. Це у свою чергу посилює глобальну зміну клімату і ускладнює виконання паризьких домовленостей щодо стримування потепління на планеті [11].

Виробництво озброєння та військової техніки є достатньо матеріало- і енергомістким процесом. Крім того, функціонування військової техніки на полі бою, навіть у разі проведення військових навчань, а також її подальша утилізація супроводжуються значним вуглецевим слідом. За оцінками, наведеними в доповіді [10], загальний «військовий» вуглецевий слід становить приблизно 5,5 % (2,750 MtCO<sub>2e</sub>) глобальних викидів. Якби збройні сили світу були країною, вона мала б четвертий за величиною національний вуглецевий слід у світі.

Повномасштабне вторгнення російського агресора в Україну призвело до зупинки промислового виробництва, що різко зменшило викиди в атмосферу забруднюючих речовин, зокрема й парникових газів, особливо на сході і півдні України. За оцінками експертів, у 2022 р. викиди в Україні становили близько 120 MtCO<sub>2e</sub> [10]. На жаль, через війну системний моніторинг довкілля на більшій частині території України належним чином не проводився.

Наслідки війни можуть мати і довгостроковий вплив на зміну клімату, а також на здатність країни адаптуватися до кліматичних

змін, що зумовлено руйнуваннями і втратою ресурсів [10, 11].

**Проблеми здійснення гідрометеорологічного моніторингу в Україні через російську агресію, починаючи з 2014 р.** Станом на кінець 2023 р. майже на 30 % метеостанцій та гідрологічних постів на території України не проводять спостереження або є значні пропуски в спостереженнях в періоди тимчасової окупації та блекаутів [12], зокрема:

- з квітня-травня 2014 р. спостереження не проводяться на тимчасово окупованих територіях Донецької і Луганської областей, а саме на станціях Луганськ, Дар'ївка, Дебальцеве, Амвросіївка і Донецьк;

- з квітня-травня 2014 р. не передаються до Центральної геофізичної обсерваторії дані спостережень з 22 метеостанцій та 32 гідрологічних постів, розміщених на території тимчасово окупованого Криму, але спостереження на них здійснюються і після деокупації дані можна буде відновити;

- з березня-червня 2022 р. спостереження на території північно-східної частини України не здійснювалися, але потім роботу станцій було відновлено, хоча частина з них зруйновані або й досі заміновані;

- з другої половини 2022 р. частково відновлено спостереження на звільнених територіях Харківської і Херсонської областей;

- станом на кінець 2023 р. на тимчасово окупованих РФ територіях Донецької, Луганської, Херсонської, Запорізької областей спостереження не здійснюються.

Крім того, на метеорологічному ресурсі гр5. ги метеорологічні станції, розташовані в Донецькій, Луганській, Херсонській та Запорізькій областях, представлено як станції, розміщені на території РФ, причому навіть ті станції, які не входять у зону тимчасової окупації.

**Відновлення даних гідрометеоспостережень.** Для відновлення даних метеорологічних спостережень запропоновано напівемпіричну модель просторово-часового розподілу середньомісячної приземної температури повітря для рівнинної частини України [5, 13, 14], яка дозволяє:

- відновити значення метеопараметра на конкретних метеостанціях, які не працювали під час війни;

- отримати модельні значення метеопараметра в заданій точці зі складними мікрокліматичними умовами та рельєфом;

- провести фільтрацію емпіричних даних з метою виокремлення спонтанних викидів та визначення кліматичної репрезентативності метеостанцій регіону;

- визначити міста, в яких проявляється ефект «острова тепла»;

- врахувати модельні оцінки при розрахунках геотермальних градієнтів.

**Моніторинг забруднення атмосфери за даними супутникових спостережень.** Тривалі й постійні артилерійські та ракетні обстріли, пересування військового транспорту, масштабні пожежі в лісах, угіддях, на нафтоховищах супроводжуються раптовими викидами теплової енергії, порушенням ґрунтового покриву та викидами в атмосферу продуктів горіння — пилу, сажі, газоаерозольних домішок, у тому числі й парникових газів.

У такій ситуації використання супутникової інформації істотно допомагає здійснювати моніторинг стану довкілля [15, 16], зокрема й на окупованих територіях.

Аналіз даних супутника Sentinel-5P, зібраних над територією України за період 2019–2022 рр. [17], показав, що:

- середньорічний вміст  $\text{NO}_2$  у стовпі повітря становить  $7,7 \pm 0,7 \cdot 10^{-5}$  моль/м<sup>2</sup>, а в 2022 р. вміст  $\text{NO}_2$  зменшився до  $7,1 \pm 0,7 \cdot 10^{-5}$  моль/м<sup>2</sup>, проте в деякі місяці року спостерігалось певне збільшення вмісту (рис. 1а);

- середньорічний вміст  $\text{SO}_2$  у стовпі повітря становить  $36,4 \pm 4,3 \cdot 10^{-5}$  моль/м<sup>2</sup>, а в 2022 р. вміст  $\text{SO}_2$  незначно збільшився до  $36,8 \pm 4,3 \times 10^{-5}$  моль/м<sup>2</sup>, проте в лютому спостерігалось різке зростання його вмісту (рис. 1б);

- середньорічний вміст  $\text{CO}$  у стовпі повітря становить  $3,4 \pm 0,1 \cdot 10^{-2}$  моль/м<sup>2</sup>, а в 2022 р. вміст  $\text{CO}$  зменшився до  $3,1 \pm 0,1 \cdot 10^{-2}$  моль/м<sup>2</sup>, проте в деякі місяці року спостерігалось незначне його зростання (рис. 1в);

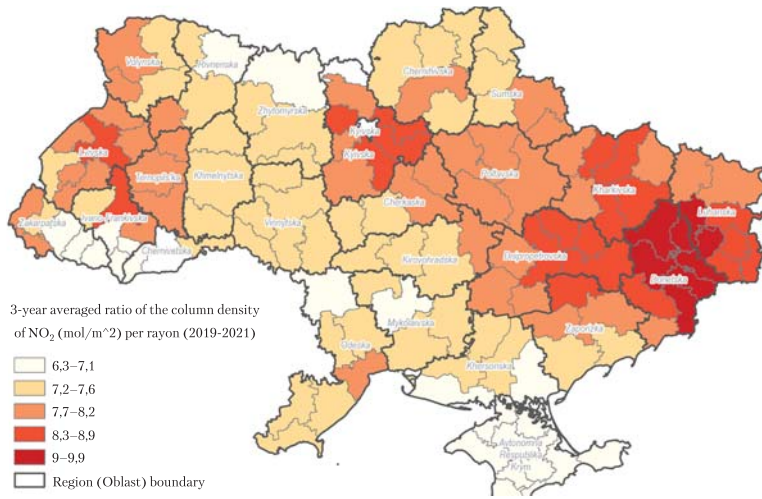
- середньорічний вміст формальдегіду в стовпі повітря становить  $8,6 \pm 0,4 \cdot 10^{-2}$  моль/м<sup>2</sup>, а в 2022 р. вміст формальдегіду зменшився до  $8,1 \cdot 10^{-2}$  моль/м<sup>2</sup>, проте спостерігалось певне зростання вмісту в літні місяці (рис. 1з);

- середньорічні значення абсорбційного аерозольного індексу становлять  $-1,07 \pm 0,04$ , а з серпня 2021 р. значення аерозольного індексу збільшилося майже втричі до  $-0,34 \pm 0,06$  (рис. 1д).

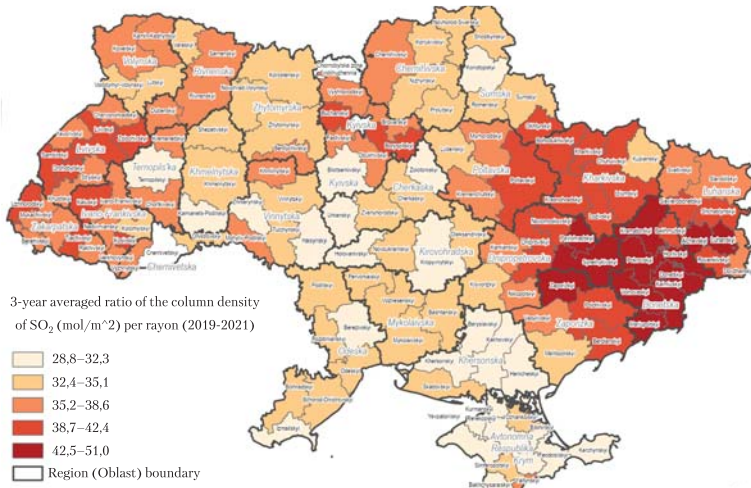
Наведемо кілька прикладів газоаерозольного забруднення в 2022 р. в окремих регіонах України.

**Поширення пожеж у регіоні Українського Полісся в 2022 р.** За останні більш як 100–120 років 2022-й рік — серед найтепліших в Україні. У північних регіонах України зима 2021/2022 рр. була теплішою в середньому на  $2,1$ – $2,5$  °С порівняно з кліматичною нормою 1961–1990 рр., а річна кількість опадів — меншою на 8–17 % [18, 19]. Упродовж весни 2022 р. зафіксовано незначне перевищення кліматичної норми приземної температури за винятком квітня, коли температура була, навпаки, нижчою на  $1,9$ – $2,2$  °С. Водночас спостерігався дефіцит атмосферних опадів у березні й травні, коли опадів випало всього 60–70 % від норми, проте у квітні на фоні зниження температури, навпаки, опадів випало на 30–40 % більше. Добові значення відносної вологості повітря, кількості атмосферних опадів, приземної температури та швидкості вітру в березні-травні 2022 р. за даними метеостанцій в Києві і Житомирі наведено на рис. 2.

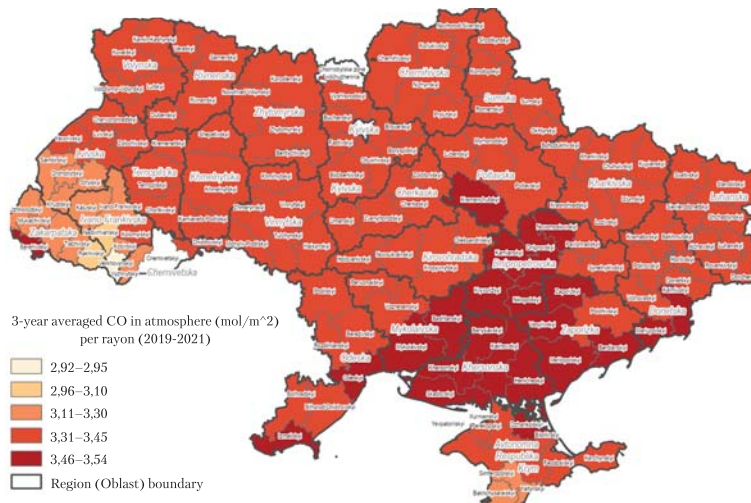
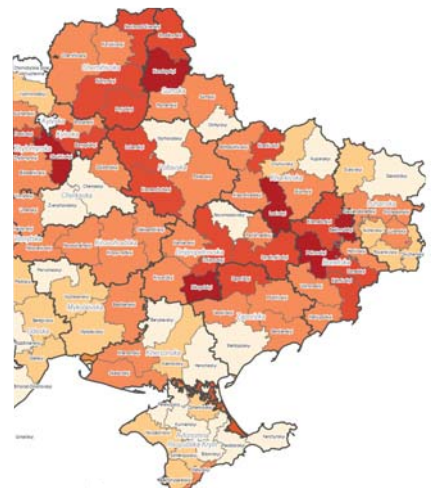
Погодні умови навесні 2022 р. були не такими посушливими, як, наприклад, у 2020 р. [19], проте через активні воєнні дії певна частина територій Київського та Чернігівського Полісся була охоплена пожежами (697 і 380 випадків відповідно). Найбільшу частоту пожеж зафіксовано в березні. Похолодання і дощі у квітні (див. рис. 2) не сприяли поширенню пожеж, однак у травні пожежі знову поширилися через дії окупантів, особливо в Чорнобильській зоні відчуження (Київське Полісся). Кількість пожеж на території Українського Полісся в бе-



a

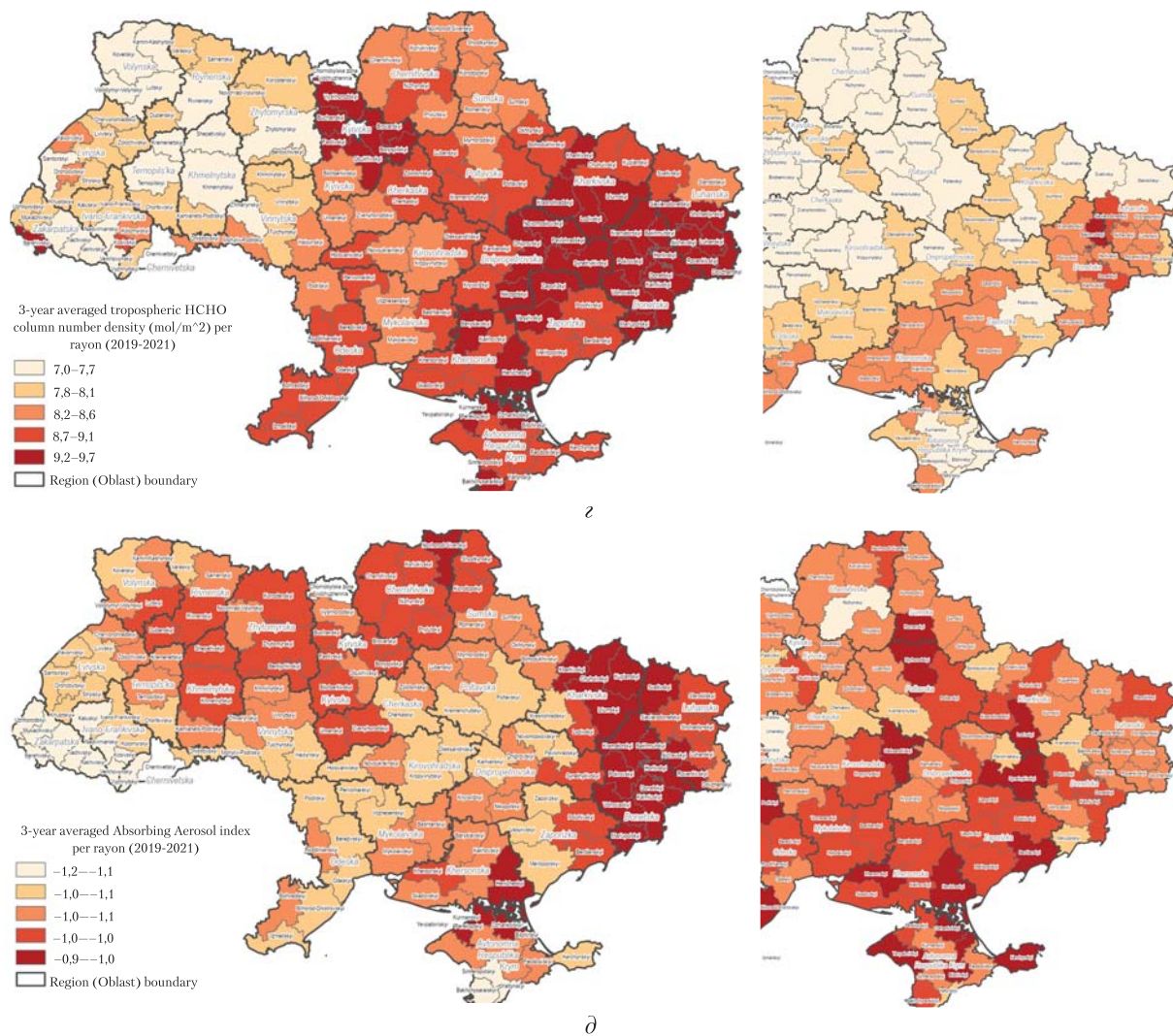


б



в



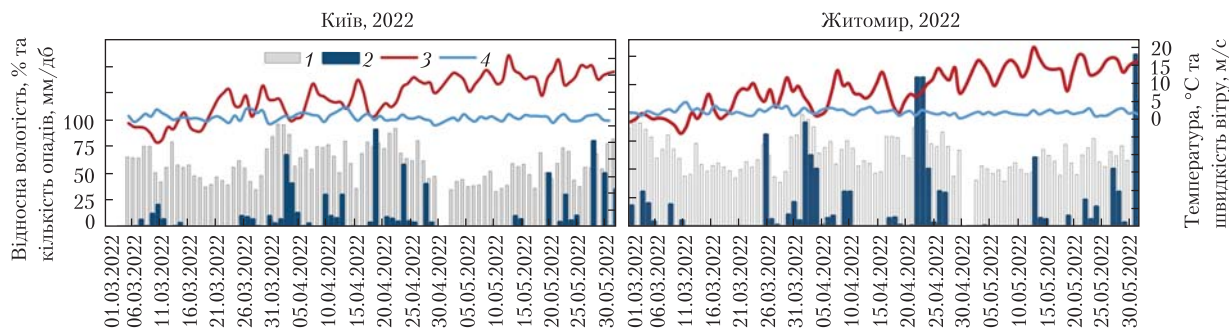


**Рис. 1.** Середньорічний вміст деяких газів у вертикальному стовпі повітря над Україною, усереднений за період 2019–2022 рр., і відповідно аномалії вмісту цих самих газів у 2022 р.: *a* –  $\text{NO}_2$ ; *b* –  $\text{SO}_2$ ; *в* –  $\text{CO}$ ; *г* –  $\text{CH}_2\text{O}$ ; *д* – абсорбційний аерозольний індекс

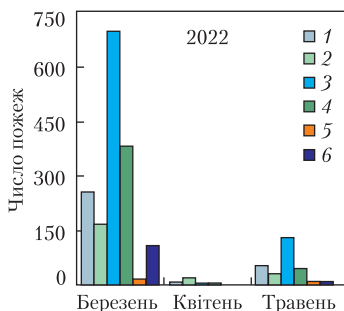
резні-травні 2022 р. було визначено за супутниковими даними (FIMS) [20] (рис. 3).

Внаслідок пожеж відбулося газоаерозольне забруднення атмосфери над цими та прилеглими до них регіонами. Аерозольний абсорбційний індекс (ААІ) досить показово відображає рівень аерозольного навантаження, а саме: позитивні значення індексу характерні при забрудненні продуктами горіння (див. рис. 4) [8].

Добові значення аерозольного абсорбційного індексу у вертикальному стовпі над Бучанським районом та Чорнобильською зоною відчуження в лютому-травні 2022 р., отримані за даними супутникових спостережень (Sentinel-5P) [22], наведено на рис. 4. Як бачимо, позитивні значення індексу зафіксовано в квітні-травні, коли відбувалися активні бойові дії під час операції зі звільнення окупованої території та під час горіння Чорнобильського лісу.



**Рис. 2.** Часовий хід добових значень відносної вологості повітря (1), суми атмосферних опадів (кількість опадів помножено на 10 для наочності) (2), приземної температури (3) та швидкості вітру (4) в березні-травні 2022 р. на метеостанціях у Києві та Житомирі (ресурс: gr5.ru)



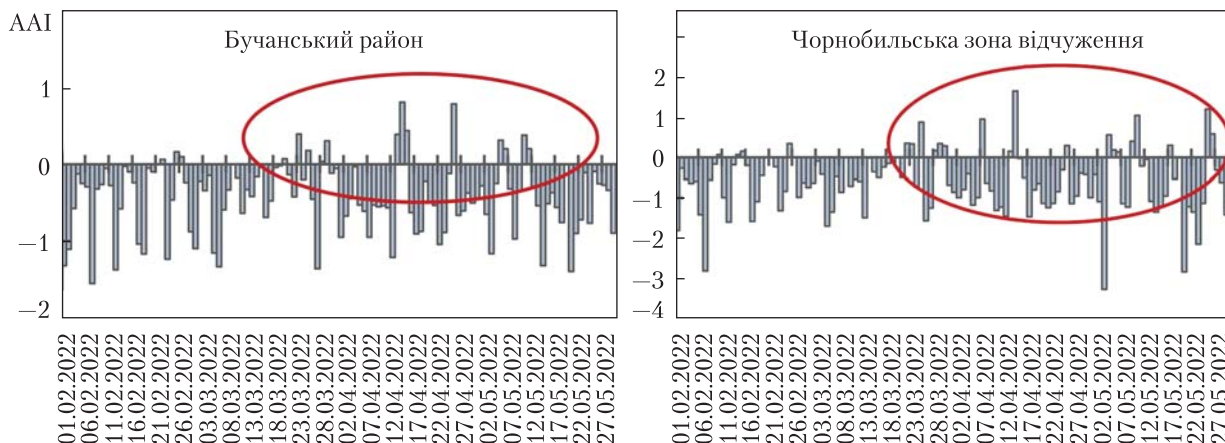
**Рис. 3.** Число пожеж у березні-травні 2022 р. на території Українського Полісся за даними супутника FIMS: 1 – Волинське Полісся; 2 – Житомирське Полісся; 3 – Київське Полісся; 4 – Чернігівське Полісся; 5 – Новгород-Сіверське Полісся; 6 – Мале Полісся

**Аерозольне забруднення атмосфери над Бахмутським районом.** Південна межа Бахмутського району проходить уздовж лінії зіткнення між підконтрольними Україні територіями й територіями, тимчасово окупованими РФ. До окупації в 2022 р. це місто було відоме як видобувач солі, виробник шампанського, а також як важливий транспортний вузол. Під час тривалих і запеклих боїв ворог зруйнував понад 80 % будівель у місті (рис. 5).

Динаміку середньомісячних значень аерозольного абсорбційного індексу [21] в стовпі повітря над Бахмутським районом у 2019 р., в період пандемії COVID-19 в 2020–2021 рр., а також під час повномасштабного вторгнення в 2022 р. наведено на рис. 6.

Середньорічні значення ААІ в цьому районі становили:  $-1,1 \pm 0,3$  – в 2019 р.;  $-1,3 \pm 0,3$  – в 2020 р. та  $-0,88 \pm 0,6$  – в 2022 р. З липня 2021 р. значення аерозольного індексу почали стрімко збільшуватися (до  $-0,33$ ), а в листопаді-грудні наблизилися до  $-(0,03-0,10)$ . Причиною збільшення значень індексу в другій половині 2021 р. могло стати активне пересування потужної військової техніки ворога, яке спостерігалось в той період поблизу кордонів України, на фоні аридних умов при перенесенні потоків повітря з південного сходу, що характерно в цей час року для цього регіону. З початком широкомасштабної російської агресії в 2022 р. значення ААІ в середньому підвищилися майже втричі порівняно з 2019 і 2020 р. – до  $-0,37 \pm 0,16$ . Високі значення індексу в 2022 р. – це вже прямий вплив воєнних дій на цій території.

**Аерозольне забруднення атмосфери над Дніпровським та Кам'янським районами.** На території Дніпропетровської області розташовані потужні промислові й енергетичні комплекси, регіон має також розгалужену транспортну інфраструктуру. Ці об'єкти належать до великих споживачів сировини, енергії, водних ресурсів, займають чималі земельні ділянки і є потужними джерелами забруднення навколишнього середовища. Це дуже добре відображається в значеннях індексу забруднення атмосферного повітря (ІЗА), розрахованого на основі вмісту шести основних забруднюючих



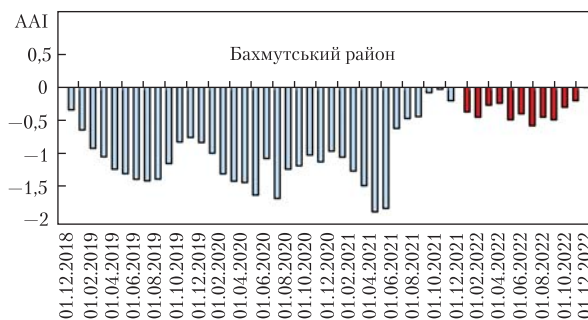
**Рис. 4.** Динаміка добових значень аерозольного абсорбційного індексу (AAI) у вертикальному стовпі над Бучанським районом та Чорнобильською зоною відчуження в лютому-травні 2022 р. (за даними супутника Sentinel-5P)



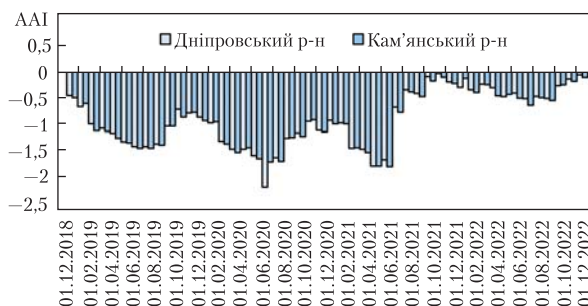
**Рис. 5.** Зруйнований Бахмут. AP Photo/Libkos

домішок (формальдегід, діоксид азоту, фенол, фтористий водень, оксид вуглецю, аерозолі  $PM_{2,5}$  та  $PM_{10}$ ). У містах Дніпро і Кам'янське Дніпропетровської області, в яких є висока концентрація великих промислових підприємств і розвинена транспортна інфраструктура, цей індекс оцінюють як «дуже високий» [22].

На рис. 7 наведено динаміку середньомісячних значень аерозольного абсорбційного індексу в атмосферному стовпі над Дніпровським та Кам'янським районами за період 2019–2022 рр. Так, середньорічні значення AAI [21, 23] становили  $-1,0 \pm 0,3$  у 2019 р.;



**Рис. 6.** Динаміка середньомісячних значень аерозольного абсорбційного індексу (AAI) у вертикальному стовпі над Бахмутським районом Донецької області в 2019–2022 рр. (за даними супутника Sentinel-5P)



**Рис. 7.** Динаміка значень аерозольного абсорбційного індексу (AAI) у вертикальному стовпі повітря над Дніпровським та Кам'янським районами Дніпропетровської області за період 2019–2022 рр. (за даними супутника Sentinel-5P)



а



б

**Рис. 8.** Наслідки Каховської екологічної катастрофи: а — липень 2023 р.; б — серпень 2023 р. (фото з архіву В. Карамушки)



**Рис. 9.** Розлив річки Ірпін у серпні 2023 р. (фото з власного архіву автора)

$-1,3 \pm 0,3$  — у 2020 р.;  $-0,85 \pm 0,6$  — у 2021 р. Починаючи з липня 2021 р. в цих районах спостерігалось зростання значення ААІ з  $-(0,7-0,8)$  до  $-(0,01-0,1)$  в листопаді-грудні. У 2022 р. середні значення ААІ зросли майже втричі порівняно з 2019 і 2020 р. — до  $-(0,3-0,4)$ . Збільшення значень індексу з літа 2021 р. свідчить про зростання аерозольного навантаження, яке могло бути спричинене, зокрема, перенесенням забруднень з південно-східного напрямку, а в 2022 р. — веденням активних бойових дій у сусідніх регіонах, а також тим, що ці райони стали потужним логістичним хабом.

З даних супутникового моніторингу можна зробити висновок, що загалом атмосфера над більшою частиною України в 2022 р. очистилася від промислового забруднення, що було зумовлено припиненням роботи великих підприємств і зменшенням транспортних потоків. Однак така ситуація негативно позначилася на економіці країни. Водночас у зоні ведення активних бойових дій рівні забруднення атмосфери були зіставними з довоєнними, а на деяких локаціях навіть перевищували їх (подекуди вдвічі-тричі).

**Мікрокліматичні ефекти від війни.** Внаслідок підриву греблі Каховської ГЕС в червні 2023 р. відбулося змінення водного балансу та мікроклімату [3]. Катастрофічне затоплення значних територій навколо водосховища, потім інтенсивне їх осушування з утворенням ландшафтів, подібних до піщаних пустель, а надалі заселення рослин на родючих мулових донних відкладах — всі ці зміни довіклля сталися всього за кілька місяців (рис. 8).

До того ж сукцесійні процеси та відмирання рослин у холодний період року в умовах безсніжної зими та весняних сухих вітрів, які характерні для цього регіону, можуть інтенсифікувати еолові ерозійні процеси. Ситуація ускладнюється ще й тим, що частина території перебуває під окупацією, що унеможлиблює надання допомоги населенню, проведення моніторингу стану довкілля та оцінювання масштабу збитків.

У процесі осушення значних територій відбулися додаткові витoki в атмосферу метану



та інших газів. Аридизація кліматичних умов через змінення водного і теплового балансу, зниження вологості і підвищення температури повітря, поширення вітрової ерозії ґрунтів, зміна альbedo підстильної поверхні, зростання повторюваності несприятливих погодних явищ — усе це нові виклики для регіону [5].

Дещо інші мікрокліматичні ефекти проявилися після вимушеного підриву греблі на річці Ірпінь у лютому-березні 2022 р. Це зупинило ворога на підступах до Києва і зберегло життя багатьом людям, проте в результаті розливу 2842 га земель перетворилися на мілководне плесо [24]. Через заболочення значної території відбувається постійне відмирання деревної рослинності, особливо берез і сосен, що зменшує ареали поглиначів вуглекислого газу і призводить до утворення метану на заболочених ділянках (рис. 9).

Для місцевого населення цього району вже стали помітними мікрокліматичні зміни, які відбуваються через підвищення вологості та зниження температури повітря.

На перший погляд, це локальні атмосферні та кліматичні ефекти, однак їх сукупність генерує змінення навколишнього середовища в регіональних масштабах, яке супроводжується втратами як для природних і сільськогосподарських екосистем, так і для звичних видів господарювання місцевого населення.

**Кліматично нейтральні і розумні міста — наше майбутнє.** Зараз Україна перебуває в складній ситуації, спричиненій війною, руйнуванням інфраструктури, призупиненням ді-

яльності підприємств, пошкодженням об'єктів міської забудови. Це є потужним викликом, подолання якого потребуватиме значних людських ресурсів і великих капіталовкладень. Однак слід мати на увазі, що післявоєнне відновлення і подальша розбудова країни мають здійснюватися з дотриманням європейських цінностей у кліматичній та екологічній політиці.

Одним із перспективних напрямів повоєнного відновлення є розвиток концепції кліматично нейтральних і розумних міст [25, 26]. Ця концепція зосереджена навколо створення міського середовища, яке є не лише екологічно стійким, а й енергоефективним і технологічно передовим, що дозволить мінімізувати вуглецевий слід та підвищити якість життя містян.

Тісна співпраця й солідарність між урядами, бізнесом, академічними колами, громадськими організаціями України та країн Євросоюзу, які виникли в умовах війни, відкривають для нас можливості застосування найкращих світових технологій і практик та перспективи переходу від рівня кліматично нейтральних і розумних міст до рівня кліматично нейтральної і розумної країни.

*Наведені в доповіді результати отримано, зокрема, у співпраці з науковцями В.І. Карамушкою з Національного університету «Києво-Могилянська Академія», Т.Л. Кучмою з Інституту агроєкології і природокористування НААН України та Н.Н. Майданович з УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого.*

## REFERENCES

## [СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ]

1. Averin D., Van der Vet F., Nikolaieva I., Denisov N. The Environmental Cost of the War in Ukraine. *Green European Journal*. 06.04.2022. <https://www.greeneuropeanjournal.eu/the-environmental-cost-of-the-war-in-ukraine/>
2. Hrynevych O., Blanco Canto M., Jiménez García M. The war effect: a macro view of the economic and environmental situation of Ukraine. *Applied Economics*. 16.05.2023. <https://doi.org/10.1080/00036846.2023.2212975>
3. Shumilova O., Tockner K., Sukhodolov A. et al. Impact of the Russia–Ukraine armed conflict on water resources and water infrastructure. *Nature Sustainability*. 2023. **6**: 578–586. <https://doi.org/10.1038/s41893-023-01068-x>
4. Terebukh A., Pankiv N., Roik O. Integral Assessment of the Impact on Ukraine's Environment of Military Actions in the Conditions of Russian Aggression. *Ecological Engineering & Environmental Technology*. 2023. **24**(3): 90–98. <https://doi.org/10.12912/27197050/157569>
5. Lipinsky V., Dyachuk V., Babichenko V. (eds) *Klimat Ukrainy (The Climate of Ukraine)*. Kyiv, 2003 (in Ukrainian). [Клімат України. За ред. В.М. Липінського, В.А. Дячука, В.М. Бабіченко. Український науково-дослідний гідрометеорологічний інститут, 2003.]
6. Kemme M., Baird J., Gebhart D., Hohmann M., Howard H., Krooks D., Northrup J. Nonfacility Particulate Matter Issues in the Army – A Comprehensive Review. Construction Engineering Research Laboratory, Springfield, 2001. <https://apps.dtic.mil/sti/pdfs/ADA392018.pdf>
7. Morelli X., Rieux C., Cyrus J., Forsberg B., Slama R. Air pollution, health and social deprivation: A fine-scale risk assessment. *Environmental Research*. 2016. **147**: 59–70. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2016.01.030>
8. Seinfeld J., Pandis S. *Atmospheric Chemistry and Physics: From Air Pollution to Climate Change*. 3rd Edition. Wiley & Sons, Inc., 2016.
9. Parkinson S. Estimating the Military's Global Greenhouse Gas Emissions. Scientists for Global Responsibility (SGR) and the Conflict and Environment Observatory (CEOBS), 2022. [https://ceobs.org/wp-content/uploads/2022/11/SGR-CEOBS\\_Estimating\\_Global\\_Military\\_GHG\\_Emissions.pdf](https://ceobs.org/wp-content/uploads/2022/11/SGR-CEOBS_Estimating_Global_Military_GHG_Emissions.pdf)
10. de Klerk L., Shlapak M., Shmurak F., Mykhalenko J., Gassan-zade J., Korhuis A., Zasiadko Y. *Climate Damage Caused By Russia's War In Ukraine*, 2023. <https://en.ecoaction.org.ua/wp-content/uploads/2023/06/clim-damage-by-russia-war-12months.pdf>
11. IPCC, 2023: Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. IPCC, Geneva, Switzerland. P. 1–34. <https://doi.org/10.59327/IPCC/AR6-9789291691647.001>
12. What did the hydrometeorological center of Ukraine lose during Russia's armed aggression? *Radio Svoboda*. 19.07.2018 (in Ukrainian). <https://www.radiosvoboda.org/a/donbass-realii/29376645.html> [Що втратив гідрометцентр України за час збройної агресії Росії? *Радіо Свобода*. 19.07.2018.]
13. Boychenko S., Voloshchuk V. Stochastic semi-empirical model of spatio-temporal transformation of the modern climate of Ukraine. *Reports of the National Academy of Sciences of Ukraine*. 2007. (1): 105–111.
14. Boychenko S., Maidanovych N. Semi-empirical model of the spatiotemporal surface temperature distribution on the plain part of Ukraine. *Geofizicheskii Zhurnal*. 2023. **45**(2): 63–76. <https://doi.org/10.24028/gj.v45i2.278328>
15. WHO, 2005: Air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide. Global update. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/107823>
16. Earth Engine Data Catalog. <https://developers.google.com/earth-engine/datasets/>
17. Boychenko S., Kuchma T., Karamushka V. Integrating research in ecological and climate change educational process: assessment of atmospheric pollution over Ukraine due to military actions. EGU sphere-2023. <https://doi.org/10.5194/egusphere-2023-1503>
18. The Climate Cadastre of Ukraine (standard norms for the period 1961–1990), CGO. Kyiv, 2005 (in Ukrainian).
19. Karamushka V., Kuchma T., Boychenko S., Nazarova O. Climate change and fires in the Ukrainian Polissya region. In: *17<sup>th</sup> International Conference Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment*. Kyiv, 2023. P. 1–5.
20. FIRMS, Earth Engine Data Catalog. Information for Resource Management System. <https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/FIRMS>
21. Absorbing aerosol index (AAI). [https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/COPERNICUS\\_S5P\\_OFFL\\_L3\\_AER\\_AI](https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/COPERNICUS_S5P_OFFL_L3_AER_AI)
22. Complex index of degrees of atmospheric air pollution. <http://cgo-sreznevskiy.kyiv.ua/uk/diialnist/khimichne-zabrudnennia/8-materialy-na-glavnoj/171-stan-zabrudnennya-prirodnogo-seredovishcha-na-teritoriji-ukrajini>

23. Boychenko S., Korol B. Assessment of atmospheric pollution in the cities of Dnipro and Kamianske. Sustainable development – XXI century. In: *Discussions 2023*: Proc. VIII Int. Sci. Conf. Kyiv, 2023. [Бойченко С., Король Б. Оцінка забруднення атмосфери в містах Дніпро та Кам'янське. Сталлий розвиток – XXI століття. В кн.: *Дискусії 2023*: матер. VIII Міжнар. наук.-практ. конф. НАУКМА. За ред. Хлобистова Є.В. Київ, 2023.]
24. Journal of environmental consequences of war. Vol. 5, 2022. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.14679.55207>
25. EU Mission: Climate-Neutral and Smart Cities. [https://research-and-innovation.ec.europa.eu/funding/funding-opportunities/funding-programmes-and-open-calls/horizon-europe/eu-missions-horizon-europe/climate-neutral-and-smart-cities\\_en](https://research-and-innovation.ec.europa.eu/funding/funding-opportunities/funding-programmes-and-open-calls/horizon-europe/eu-missions-horizon-europe/climate-neutral-and-smart-cities_en)
26. World Cities Report 2022. Envisaging the Future of Cities. UN-Habitat Core Team: Neil Khor, Ben Arimah, Raymond Otieno Otieno, Matthijs van Oostrum, Mary Mutinda, Judith Oginga Martins. <https://unhabitat.org/wcr/>

Svitlana G. Boychenko

*Subbotin Institute of Geophysics of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine*

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3590-5988>

#### METEOROLOGICAL AND CLIMATIC CONSEQUENCES OF MILITARY ACTIONS IN UKRAINE

According to the materials of scientific report at the meeting of the Presidium of NAS of Ukraine, November 29, 2023

The report emphasizes that the study of regional climate changes, particularly those induced by military conflicts in Ukraine, is an important scientific, economic, and strategic focus today. The war waged by the RF against Ukraine, along with the unfolding of armed conflicts in other parts of the world, has led to an escalation of global militarization, accompanied by additional greenhouse gas emissions into the atmosphere. This contributes to further climate change and complicates the implementation of the Paris Agreement's commitments to mitigate global warming on the planet.

**Cite this article:** Boychenko S.G. Meteorological and climatic consequences of military actions in Ukraine. *Visn. Nac. Akad. Nauk Ukr.* 2024. (1): 83–93. <https://doi.org/10.15407/visn2024.01.083>