

Забруднення повітря в Україні – погляд з космосу

Дослідження за результатами аналізу супутникових знімків Copernicus Sentinel 5p та даних про забруднення повітря з контрольованою якістю Служби моніторингу атмосфери Copernicus

Прага – Київ, 2020



Забруднення повітря в Україні з космосу



WORLD FROM SPACE

Головний редактор: Ян Лабохи

Автори: Симона Бочкова, Роман Богович (PhD), Матус Грнчар, Мікулаш Муронь, Павліна Філіпова, Мартін Скальський, Максим Сорока (PhD)

Ця публікація поширюється за ліцензією Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 3.0 IGO (CC BY-NC-SA 3.0 IGO; <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/igo>). Відповідно до умов цієї ліцензії, ви можете копіювати, розповсюджувати та адаптувати роботу для некомерційних цілей за умови належного цитування твору, включаючи посилання на джерела даних.

Дослідження містить модифіковані дані Служби моніторингу атмосфери Copernicus [2017-2020] та модифіковані дані Copernicus Sentinel [2018-2020]. Карти містять дані від ©OpenStreetMap (openstreetmap.org) та Гуманітарного обміну даними (data.humdata.org).

Опубліковано: 2020

Мови: англійська, українська

Переклад українською мовою: Анастасія Князева

ISBN: 978-80-87651-72-8

Це дослідження підготовлено за фінансової підтримки Transition Promotion Program Міністерства закордонних справ Чеської Республіки та Національного фонду демократії (США). Погляди та думки, висловлені у цьому дослідженні, є виключно позицією його авторів і жодним чином не відображають будь-яку офіційну позицію та/або думки Міністерства закордонних справ Чеської Республіки або уряду Чеської Республіки та Національного фонду демократії.

Забруднення повітря в Україні – погляд з космосу

Дослідження за результатами аналізу супутникових знімків Copernicus Sentinel 5p та даних про забруднення повітря з контрольованою якістю Служби моніторингу атмосфери Copernicus

Прага - Київ, 2020



ЗМІСТ

Перелік вживаних скорочень та аббревіатур.....	5
Ключові висновки	6
Вступ	7
Діоксид азоту (NO ₂)	7
Оксид вуглецю (CO)	8
Діоксид сірки (SO ₂)	9
Формальдегід (HCHO)	9
Дрібнодисперсні частки (PM _{2.5} та PM ₁₀)	10
Дані та методологія	12
Sentinel-5p.....	12
Ознаки якості та частота спостереження	12
Служба моніторингу атмосфери Copernicus(CAMS)	13
Результати.....	14
Діоксид азоту	14
Оксид вуглецю	18
Діоксид сірки	20
Формальдегід	22
Дрібнодисперсні частки PM _{2.5}	24
Дрібнодисперсні частки PM ₁₀	27
Рекомендації	29
Додатки.....	31
Додаток 1: Усереднені концентрації у атмосферному повітрі областей України	31
Додаток 2: Території адміністративних одиниць з підвищеною концентрацією PM _{2.5}	32

ПЕРЕЛІК ВЖИВАНИХ СКОРОЧЕНЬ ТА АБРЕВІАТУР

ADS - Сховище атмосферних даних (Atmosphere Data Store)
API - інтерфейс прикладного програмування (application programming interface)
ECMWF - Європейський центр середньострокового прогнозування погоди (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts)
CAMS - Служба моніторингу атмосфери Copernicus (Copernicus Atmosphere Monitoring Service)
CH₄ - метан
CO - окис вуглецю (монооксид вуглецю, чадний газ, оксид карбону (II))
CO₂ - вуглекислий газ (діоксид вуглецю, оксид карбону (IV))
EEA - Європейська агенція з навколишнього середовища (Європейська агенція довкілля, European Environment Agency)
EU - Європейський Союз
GIS - геоінформаційна система
HCHO - формальдегід (CH₂O, метаналь, мурашиний альдегід)
NMVOC - неметанові леткі органічні сполуки (НМЛОС)
NO₂ - діоксид азоту (оксид азоту (IV), нітроген (IV) оксид)
O₃ - озон
PM - дрібнодисперсні частки (дрібнодисперсні аерозольні частинки)
PM_{2.5} - дрібнодисперсні частки з аеродинамічним діаметром менше 2,5 мікрметра
PM₁₀ - дрібнодисперсні частки з аеродинамічним діаметром менше 10 мікрметра
SP5 - Sentinel 5P
SH - Sentinel-центр (Hub)
SO₂ - діоксид сірки (сульфур (IV) оксид, сірчистий ангідрид, сірчистий газ)
TROPOMI - Прилад для моніторингу тропосфери
UN - Організація Об'єднаних Націй
UNFCCC - Рамкова конвенція ООН про зміну клімату
WHO - Всесвітня організація охорони здоров'я (ВООЗ)

Ключові висновки

Забруднення повітря – одна з найсерйозніших загроз здоров'ю людей. **У всьому світі щороку приблизно 7 мільйонів людей помирають від забрудненого повітря.**

Поточна ситуація з якістю атмосферного повітря в Україні різноманітна і пов'язана з розподілом основних міських та промислових центрів. **Загалом від забруднення повітря найбільшою мірою постраждали Дніпропетровська, Донецька, Київська, Луганська та Запорізька області. З позиції найбільш забруднених міст, варто виділити 6 ключових міських районів - Дніпро, Донецьк, Кривий Ріг, Київ, Маріуполь та Запоріжжя.**

Розподіл діоксиду азоту (NO_2) є відносно рівномірним. Деякі області (Київська, Донецька, Запорізька області тощо) мають значно вищі концентрації вмісту NO_2 , ніж у інших областях країни. Висока концентрація переважно спостерігається у найбільших містах, промислових та вугледобувних районах. **У зимовий період на північному заході України спостерігається значне транскордонне перенесення NO_2 з території Польщі.**

Вплив людини на концентрацію оксиду вуглецю (CO) помітний у низовинах великих центрів виробництва сталі - Маріуполь, Запоріжжя, Кривий Ріг та Кам'янське. Найбільше забруднення CO спостерігається у Дніпропетровській, Київській та Запорізькій областях.

Зазвичай в Україні спостерігається низька концентрація формальдегіду (HCHO) та

діоксиду сірки (SO_2). Зони з вищим рівнем концентрації SO_2 зосереджені навколо міських районів, особливо у східній частині України, з діючими вугільними шахтами, коксохімічною, хімічною та важкою промисловістю.

Концентрація дрібнодисперсних твердих часток ($\text{PM}_{2,5}$ та PM_{10}) зменшується з півдня на північ країни, водночас найвищі концентрації спостерігаються у промисловому регіоні сходу України. **Середні концентрації $\text{PM}_{2,5}$ перевищують норми Всесвітньої організації охорони здоров'я (ВООЗ) у 127 районах з найбільшими значеннями у Донецькій та Дніпропетровській областях, а також у місті Київ.** Навіть середнє значення показника $\text{PM}_{2,5}$ у країні перевищувало межу ВООЗ у березні 2017 року, листопаді 2018 року та лютому 2019 року.

Рекомендовані ВООЗ значення вмісту PM_{10} були перевищені у місті Маріуполь та в деяких районах чотирьох міст (Кривого Рогу, Дніпра, Запоріжжя та Донецька), що розташовані на південному заході України. У вересні 2018 року та березні 2020 року середній по країні показник вмісту PM_{10} досяг межі ВООЗ.

Державна політика, що підтримує поліпшення якості повітря, має бути зосереджена на чотирьох основних напрямках: розвиток моніторингу якості повітря, підтримка контролю за дотриманням нормативів та дозволених обсягів викидів, внесення змін до практики управління у ключових секторах та залучення громадськості до процедур прийняття рішень.

Вступ

Зі стрімким збільшенням населення світу та його високим споживчим попитом загострюється проблема забруднення повітря. Серед найпоширеніших причин забруднення повітря – урбанізація, виробництво енергії, важка промисловість (наприклад, виплавка чавуну та сталі, виробництво цементу та коксового вугілля, спалювання відходів або хімічне виробництво), транспорт та збільшення використання двигунів внутрішнього згорання. Разом з цим, приріст населення та вплив забруднювальних речовин у повітрі негативно впливають на якість довкілля та здоров'я населення. ВООЗ визначила забруднення повітря як найбільший у світі ризик навколишнього середовища для здоров'я.

Майже 92% світового населення дихає повітрям, що забруднене понад допустимого рівня. В Україні найбільше смертей пов'язані із забрудненням атмосферного повітря на кожні 100 000 людей, виходячи з рейтингу 120 країн у 2017 році¹. Інше дослідження, опубліковане в 2019 році, показало, що рівень смертності від забруднення атмосферного повітря перевищує 200 на 100 000². Загалом, за даними ВООЗ, щорічно в Україні через забруднення повітря помирає 14 400 людей.³

«Щорічно в Україні від забруднення атмосферного повітря гине близько 14 400 людей.» Джерело: ВООЗ

Разом із зміною клімату забруднення повітря є однією з найголовніших загроз світовому здоров'ю. За підрахунками ВООЗ щороку приблизно 7 мільйонів людей помирають від впливу забрудненого повітря³. Водночас лише забруднення навколишнього середовища (тобто поза житлового приміщення) спричиняє близько 4,2 мільйона передчасних смертей щороку, головним чином

від серцево-судинних захворювань, інсульту, хронічної обструктивної хвороби легенів, раку легенів та гострих респіраторних інфекцій у дітей⁴.

Найбільш поширеними забруднювальними речовинами у повітрі є дрібнодисперсні тверді частки (PM), озон (O₃), діоксид азоту (NO₂), діоксид сірки (SO₂), оксид вуглецю (CO) та вуглекислий газ (CO₂). Серед них найбільшу загрозу здоров'ю населення спричиняють PM, O₃, NO₂ та SO₂. Разом з цим, зростає визнання сукупного впливу суміші багатьох забруднювальних речовин на здоров'я людини (синергетичний токсичний ефект, ефект сумації).

Мета цього дослідження - оцінити сучасний стану забруднення атмосферного повітря в Україні. Для узагальнення та аналізу концентрації шести забруднювальних речовин у атмосферному повітрі використали як супутникові дані дистанційного моніторингу європейської супутникової місії Sentinel-5P, так і дані основних європейських моделей, надані Європейським центром середньострокового прогнозування погоди (ECMWF).

Діоксид азоту (NO₂)

Діоксид азоту (NO₂) – важливий газ-індикатор, присутній як у тропосфері, так і в стратосфері. Разом з цим NO₂ є ключовою забруднювальною речовиною атмосфери, що утворюється у наслідок антропогенної діяльності. Згідно доповіді Європейського агентства з навколишнього середовища (EEA) за 2018 рік⁵, понад 60% NO₂ в європейських містах надходить від вихлопних газів автомобілів. Іншими джерелами NO₂ є переробка нафти та металів, виробництво електроенергії (особливо вугільні електростанції), інші обробні галузі та харчова промисловість. Природним джерелом NO₂ є мікробіологічні процеси в ґрунтах, лісові

1 https://www.researchgate.net/publication/338784844_Risk_Assessment_for_the_Population_of_Kyiv_Ukraine_as_a_Result_of_Atmospheric_Air_Pollution

2 <https://academic.oup.com/eurheartj/article/40/20/1590/5372326>

3 https://www.who.int/quantifying_ehimpacts/national/countryprofile/ukraine.pdf?ua=1

4 <https://www.who.int/news-room/air-pollution>

5 <https://www.who.int/airpollution/ambient/health-impacts/en/>

пожежі та блискавки. При вдиханні до 90% NO₂ потрапляє в організм людини і всмоктується в кров⁶. Ця забруднювальна речовина впливає на метаболізм у легенях, викликає запалення та набряк тканин, підвищує вразливість дихальної системи до бактеріальних та вірусних інфекцій⁷. За даними ВООЗ⁸, більш високий рівень NO₂ може призвести до респіраторних інфекцій та зниження функції та росту легенів; це також пов'язано з посиленням симптомів бронхіту та астми. Хворі на астму – найбільш вразлива група. Вплив навіть низьких концентрацій NO₂ викликає гіперреакцію, загострення симптомів та посилення реакції дихальних шляхів у пацієнтів з астмою та хронічним бронхітом⁹. Взаємодія NO₂ з водою та іншими хімічними речовинами в атмосфері призводить до утворення кислотних дощів, спричиняючи зміни в лісових та водних екосистемах. Високий вміст NO₂ у повітрі додатково пов'язується із глобальними змінами клімату та фотохімічним смогом¹⁰.

ОСНОВНІ АНТРОПОГЕННІ ДЖЕРЕЛА ВИКИДІВ:

- вихлопні гази двигунів внутрішнього згоряння
- вугільні електростанції
- переробка нафти та металів
- виробництво сталі та чавуну

Оксид вуглецю (CO)

Оксид вуглецю (II) або чадний газ (CO) – отруйний газ без кольору, смаку та запаху. CO загалом вважається важливим непрямим парниковим газом, оскільки продовжує життєвий цикл таких парникових газів, як метану, галогенвуглецевих сполук та тропосферного озону. CO є продуктом неповного згоряння, який виділяється під час експлуатації транспортних засобів, генерації енергії з вугілля, спалюванні біомаси та у коксохімічній і металургій-

ній промисловості. Приблизно 40% CO надходить із природних джерел, таких як **виверження вулканів, викиди природних газів, лісові пожежі, перегнивання рослинних та тваринних залишків**, а 60% – від **споживання викопного палива, спалювання відходів та деревного вугілля, тютюнового диму**¹¹. В екваторіальних регіонах окислення ізопрену та спалювання біомаси відіграють найважливішу роль у емісії CO, тоді як у вищих широтах основним джерелом є спалювання викопних видів палива.

Існує чіткий причинно-наслідковий зв'язок між системними захворюваннями людини та наслідками дії підвищених концентрацій CO у повітрі¹². CO спричиняє токсичний ефект на органи тканин з високим споживанням кисню – мозок, серце, розвиток плоду вагітної жінки. Доведено існування токсичного ефекту CO на здоров'я матері під час вагітності та розвиток вроджених вад серця у немовлят. Високі концентрації CO посилюють спільну дію інших забруднювальних речовин (O₃, SO₂, PM, NO₂) та збільшують ризик розвитку всіх респіраторних захворювань.

ОСНОВНІ АНТРОПОГЕННІ ДЖЕРЕЛА ВИКИДІВ:

- споживання викопного палива;
- спалювання відходів;
- пожежі, та напр. спалювання біомаси.

«**Існує чимало доказів щодо впливу на організм людини оксиду вуглецю у атмосферному повітрі та повітрі робочої зони. До органів та тканин, які найбільше страждають, належать мозок, серцево-судинна система, що працюють на скелетних м'язах та плід, що розвивається**»¹³
Джерело: ВООЗ

6 <https://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2018>

7 Wagner H-M. Absorption von NO und NO₂ in MIK- und MAKKonzentrationen bei der Inhalation [Absorption of NO and NO₂ in mikand mak-concentrations during inhalation]. Staub, Reinhaltung der Luft, 1970, 30:380–381.

8 Berglund M. et al. Health risk evaluation of nitrogen oxides. Exposure. Scandinavian Journal of Work, Environment and Health, 1993, 19(Suppl. 2):14–20.

9 https://www.euro.who.int/_data/assets/pdf_file/0017/123083/AQG2ndEd_7_1nitrogendioxide.pdf?ua=1

10 Devalia JL et al. Effect of nitrogen dioxide and sulfur dioxide on airway response of mild asthmatic patients to allergen inhalation. *Lancet*, 1994, 344:1668–1671.

11 Handbook of Toxicology of Chemical Warfare Agents. Academic Press, Apr 2, 2009. eBook ISBN: 9780080922737

12 Integrated Science Assessment for Carbon Monoxide. US EPA. January 2010. 2 EPA/600/R-09/019F

13 https://www.euro.who.int/_data/assets/pdf_file/0020/123059/AQG2ndEd_5_5carbonmonoxide.PDF

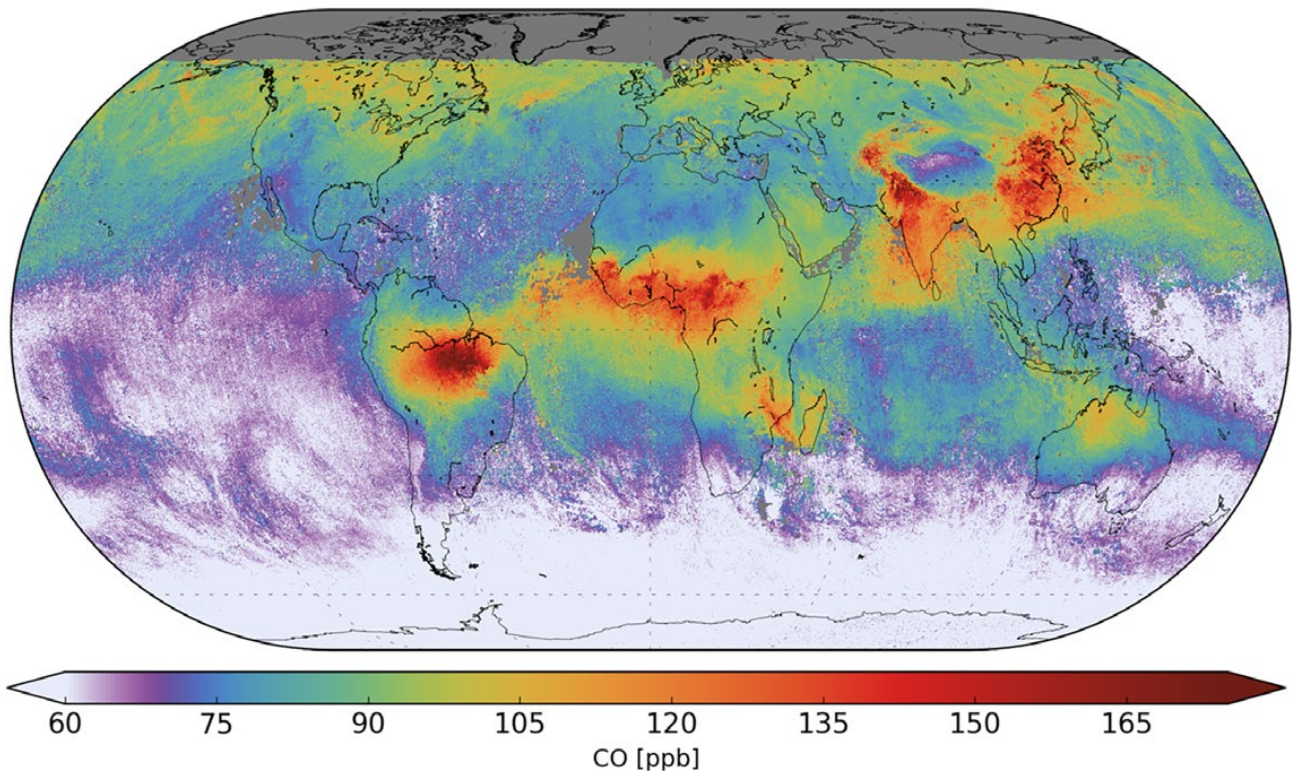


Рис. 1: Загальна шкала середнього коефіцієнту змішування концентрації CO, створена за даними TROPOMI L2 (13 - 19 листопада 2017 р.), дані свідчать про збільшення вмісту CO від лісових пожеж в Бразилії, Африці, Мадагаскарі і Австралії, а також про антропогенну природу забруднення повітря в Індії та Кумай; <http://www.tropomi.eu/data-products/carbon-monoxide>

У той час, як CO накопичується в атмосфері взимку, навесні концентрація цього газу швидко зменшується завдяки природним процесам. Так, у Північній півкулі концентрація CO, як правило, найнижча у червні, липні та серпні.¹⁴

Діоксид сірки (SO₂)

Діоксид сірки (SO₂) міститься як у стратосфері (де він має життєвий цикл кілька тижнів), так і в тропосфері (де його життєвий цикл вимірюється днями). Приблизно 30 % викидів SO₂ надходять із природних джерел, таких як вулкани. До антропогенних джерел належать вугільні електростанції, промислові процеси або інші види спалення викопного палива. За даними ВООЗ¹⁵ SO₂ може впливати на дихальну систему та функції легенів та викликати подразнення очей, запалення дихальних шляхів, викликає кашель, виділення слизу, загострення астми та хронічного бронхіту, а також робить людей більш схильними до інфекцій дихальних шляхів. Госпіталізація через

серцеві захворювання та смертність зростає в дні з вищими рівнями SO₂. Взаємодія SO₂ з водою утворює сірчисту і сірчану кислоти, які є головним компонентом кислотних дощів. Супутник S5P має обмеження у розділенні антропогенних та природних викидів SO₂. Тому ці дані слід інтерпретувати із застереженнями.

ОСНОВНІ АНТРОПОГЕННІ ДЖЕРЕЛА ВИКИДІВ:

- вугільні електростанції;
- промислові процеси;
- опалення.

Формальдегід (HCHO)

Формальдегід (HCHO) – це безбарвний, легкозаймистий газ з різким запахом. HCHO має канцерогенну дію сам по собі становить значну загрозу для здоров'я людини¹⁶. HCHO є проміжним газом майже у всіх ланцюгах окислення неметанових

¹⁴ <https://sos.noaa.gov/datasets/carbon-monoxide-2008-2011/>

¹⁵ [https://www.who.int/en/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/en/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)

¹⁶ Formaldehyde, 2-butoxyethanol and 1-tert-butoxypropan-2-ol. Lyon: International Agency for Research on Cancer; 2006. Formaldehyde; pp. 39–325. (IARC Monographs on the Evaluation of the Carcinogenic Risk of Chemicals to Humans, Vol. 88)

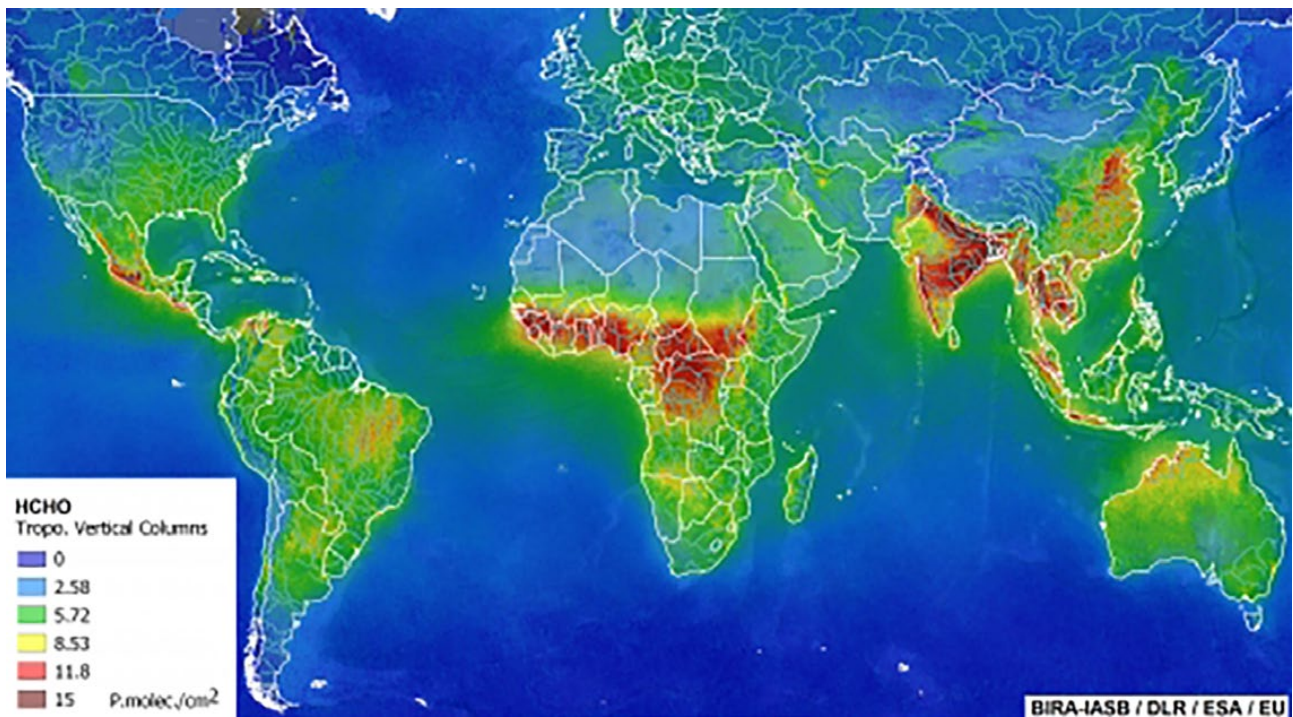


Рис. 2: Глобальні концентрації HCHO, за даними TROPOMI L2 (листопад 2017 - червень 2018), <http://www.tropomi.eu/data-products/formaldehyde>

летких органічних сполук (НМЛОС), його гомологічний ряд має різні типи летких органічних сполук. Оскільки життєвий цикл HCHO в атмосфері становить лише кілька годин, моніторинг його концентрації у атмосферному повітрі дозволяє відносно точно локалізувати джерела¹⁷. Основним джерелом HCHO у віддалених шарах атмосфери є окиснення CH₄. На материках природними джерелами HCHO є рослинність (природно, що найбільші концентрації розподіляються над **тропічними лісами** через високі біогенні викиди) та **лісові пожежі**. «Це залежить від регіону, але 50-80% сигналу [виявленого супутником SP5] походить з певного біогенного походження¹⁸». До антропогенних джерел HCHO належать транспорт, промислові процеси та нафтохімічні промислові джерела викидів (виробництво добрив, паперу, фанери, ДСП та багатьох інших споживчих товарів). Сезонні коливання розподілу формальдегіду в основному пов'язані з перепадами температури, пожежами та змінами в інтенсивності антропогенної діяльності.¹⁹

«**Найбільші концентрації (формальдегіду), за результатами вимірювань у навколишньому середовищі, спостерігаються поблизу антропогенних джерел викидів; це головне занепокоєння щодо експозиції людей та інших живих організмів».**

Джерело: ВООЗ²⁰

ОСНОВНІ АНТРОПОГЕННІ ДЖЕРЕЛА ВИКИДІВ:

- нафтохімічні промислові джерела;
- промислові процеси;
- опалення.

Дрібнодисперсні частки (PM_{2.5} та PM₁₀)

Дрібнодисперсні частки або атмосферні аерозолі – це тверді або рідкі частинки, суспендовані у повітрі

¹⁷ <https://www.who.int/ipcs/publications/cicad/en/cicad40.pdf>

¹⁸ <https://www.bbc.com/news/science-environment-44550091>

¹⁹ <http://www.tropomi.eu/data-products/formaldehyde>

²⁰ <https://www.who.int/ipcs/publications/cicad/en/cicad40.pdf>

та здатні вільно переміщатися в атмосфері. Вони класифікуються за розміром, а не за хімічними властивостями. Залежно від розміру, дрібнодисперсні частинки часто поділяють на дві основні групи: груба фракція містить більші частинки розміром від 2,5 до 10 мкм ($PM_{2,5}$ - PM_{10}). Дрібна фракція містить дрібні фракції розміром до 2,5 мкм ($PM_{2,5}$). PM_{10} в основному з'являється внаслідок механічних процесів, таких як **будівельні роботи, зсування до-рожнього пилу** вітром У той час як $PM_{2,5}$ походить переважно від джерел спалювання, **включно з з опаленням та транспортом**. Інші важливі джерела емісії РМ включають промислові процеси та електростанції. Природні чинники емісії РМ у атмосфері не повітря - **вулканічна діяльність, пожежі, ерозійні процеси та з морської води**.

ОСНОВНІ АНТРОПОГЕННІ ДЖЕРЕЛА ВИКИДІВ:

- будівельна діяльність;
- транспорт;
- побутове опалення;
- промислові процеси;
- електростанції.

«**Довготривалий вплив $PM_{2,5}$ пов'язаний із збільшенням довгострокового ризику серцево-легеневої смертності на 6–13% на кожні 10 мкг/м³ $PM_{2,5}$** »²¹. Джерело: ВООЗ

Існує прямий негативний вплив концентрацій дисперсних часток на здоров'я людини^{22,23}. Ефект

залежить від розміру, хімічного складу та форми, але загалом стосується дихальної та серцево-судинної систем. РМ мають токсичну та генотоксичний вплив – збільшують канцерогенні ризики²⁴, впливають на структуру та цілісність ендоепітеліальних клітин, збільшують потенціал тромбозу судин²⁵, збільшують згортання крові та ризик інсульту, інфаркту міокарда²⁶ та атеросклерозу²⁷.

Дисперсні частинки РМ можуть виступати каталізаторами хімічних реакцій на їх поверхні²⁸. Таким чином, токсична дія РМ посилюється вмістом інших забруднювальних речовин у повітрі. Всі ці особливості унеможливають чітке визначення «безпечної» концентрації РМ у повітрі. Ось чому експерти ВООЗ рекомендують значення, що визначають мінімальний ризик для здоров'я населення.

ВООЗ пропонує гайдлайн – **орієнтовні середньорічні значення концентрацій дрібнодисперсних часток у повітрі**, розроблені, щоб запропонувати вказівки щодо зменшення впливу на здоров'я забруднення повітря. Для дрібних частинок $PM_{2,5}$ орієнтовні значення складають 10 мкг/м³, а для грубих частинок (PM_{10}) - 20 мкг/м³. Однак, згідно з ВООЗ, рекомендується²⁹ використовувати орієнтири значень як для $PM_{2,5}$, так і для PM_{10} . Короткочасний рівень забруднення не повинен перевищувати 25 мкг/м³ ($PM_{2,5}$) та 50 мкг/м³ (PM_{10}) в середньому за 24 години³⁰. За даними ВООЗ, «тривалий вплив $PM_{2,5}$ пов'язаний із збільшенням довгострокового ризику серцево-легеневої смертності на 6-13% на 10 мкг/м³ $PM_{2,5}$ »³¹.

- 21 https://www.euro.who.int/_data/assets/pdf_file/0006/189051/Health-effects-of-particulate-matter-final-Eng.pdf
- 22 Air quality guidelines. Global update 2005. Particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide. WHO, 2005
- 23 Integrated Science Assessment for Particulate Matter. December 2009 EPA/600/R-08/139F
- 24 Karlsson HL, Nygren J, Moller L. Genotoxicity of airborne particulate matter: the role of cell-particle interaction and of substances with adductforming and oxidizing capacity. Mutation Research, 2004, 565:1-10
- 25 Gilmour PS et al. The procoagulant potential of environmental particles (PM10). Occupational and Environmental Medicine, 2005, 62:164-171.
- 26 Peters A et al. Increased particulate air pollution and the triggering of myocardial infarction. Circulation, 2001, 103:2810-2815
- 27 Kunzli N et al. Ambient air pollution and atherosclerosis in Los Angeles. Environmental Health Perspectives, 2005, 113:201-206
- 28 Brown JS, Zeman KL, Bennett WD. Ultrafine particle deposition and clearance in the healthy and obstructed lung. American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine, 2002, 166:1240-1247
- 29 https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/69477/WHO_SDE_PHE_OEH_06.02_eng.pdf?sequence=1
- 30 [https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)
- 31 https://www.euro.who.int/_data/assets/pdf_file/0006/189051/Health-effects-of-particulate-matter-final-Eng.pdf

Дані та методологія

Sentinel-5P

Місія Sentinel-5P (S5P) – супутник моніторингу атмосфери, запущений на орбіту Землі у жовтні 2017 року в рамках програми ЄС Copernicus. Цей супутник несе спектрометр TROPOMI (TROPOspheric Monitoring Instrument) із селективним охопленням довжин хвиль між ультрафіолетовим та короткохвильовим інфрачервоним діапазонами. S5P щодня здійснює дистанційне вимірювання таких газів, як NO_2 , O_3 , HCHO , SO_2 , CH_4 , CO та аерозолі PM з просторовою роздільною здатністю близько $5,5 \text{ км} \times 3,5 \text{ км}$ (від 7 км до $5,5 \text{ км}$ до серпня 2019 року).

Дані із супутника Sentinel-5P завантажуються через Sentinel Хаб (SH), керований «Sinergise». Sentinel Хаб підтримує пакети даних Sentinel-5P рівня 2 (L2), які геолокуються, переважно попередньо обробляються і містять мітку «qa_value». Мітка «qa_value» позначає «значення забезпечення якості» і вказує на стан та якість кожного наземного пікселя. Це безперервна змінна в діапазоні від 0 (помилка) до 1 (помилки немає). Для більшості пакетів даних Sentinel-5P пікселі менше 0,5 відфільтровуються (для NO_2 це 0,75). Значення «qa_value» є важливим параметром, який обмежує суцільне охоплення потрібних територій даними S5P, і пропонується методологія враховує його. Пакети даних про вміст NO_2 , SO_2 , HCHO та CO (з травня 2018 року по квітень 2020 року) завантажені через SH.

«**Розподіл супутникових результатів вимірювання забруднення повітря враховує не тільки антропогенні джерела, а також містить результат дії природних процесів.**

Пакети супутникових даних S5P здебільшого обчислені та надаються в спеціальних одиницях вимірювання - моль на квадратний метр ($\text{моль}/\text{м}^2$).

Пакети даних NO_2 надані за загальною атмосферою шкалою NO_2 між земною поверхнею і вірхньою межею тропосфери³² (тропосферна колона). Спостереження TROPOMI щодо вмісту CO надані за загальною шкалою CO з чутливістю до крайнього шару тропосфери³³. Спостереження вмісту HCHO та SO_2 надані за загальною шкалою між земною поверхнею та тропопаузою³⁴. Через кілька виявлених супутникових знімків з помилками, замість середніх значень для спостережень SO_2 використовувались середні концентрації.

При використанні супутникових даних S5P важливо враховувати різницю у способі вимірювання значень. Гранично допустимі концентрації забруднювальних речовин зазвичай подаються в одиницях, що використовуються для наземних вимірювальних приладів ($\text{мкг}/\text{м}^3$). Тому перерахунок значень із супутникових зображень ($\text{моль}/\text{м}^2$) у наземні одиниці вимірювання ($\text{мкг}/\text{м}^3$) не рекомендується.³⁵

Ознаки якості та частота спостереження

Важливо враховувати, що якість доступних пікселів сильно залежить від погодних умов (включно із хмарністю), помилок сенсора спектрометра та інших параметрів. В цілому це, як правило, визначається на рівні «qa_value». Частота перегляду S5P для Європи (включно з територію України) становить більше одного разу на день. У більш високих широтах спостерігаються накладання скачування через майже полярну, сонце-синхронну орбіту супутника. Таким чином, оброблені дані включають усі доступні супутникові вимірювання. Використання всіх доступних даних означає поєднання даних з декількох супутникових орбіт з різними розмірами сітки та її орієнтацією. Для вирішення цієї проблеми всі супутникові спостереження S5P були зменшені для отримання регу-

32 <https://sentinels.copernicus.eu/documents/247904/3541451/Sentinel-5P-Nitrogen-Dioxide-Level-2-Product-Readme-File>

33 <http://www.tropomi.eu/data-products/carbon-monoxide>

34 <https://sentinels.copernicus.eu/documents/247904/3541451/Sentinel-5P-Formaldehyde-Readme.pdf>

35 https://www.researchgate.net/post/How_can_I_convert_the_unit_from_molecules_cm2_to_ppm

лярної сітки з роздільною здатністю 1x1 км через SH. Попередньо дані були автоматично оброблені та завантажені у хмарний простір з використанням власних скриптів Python за допомогою служби SH. Заключні етапи обробки виконані на екранах GIS з обчисленням **середньомісячних та вибірко-вих сезонних середніх значень** на піксель по всій площі. Сезон визначався як 3-місячний період зими (грудень-лютий) та літа (червень-серпень) для спрощення даних про якість повітря, спричиненого погодними умовами. Для кожної окремої забруднювальної речовини додатково обчислене **загальне середнє значення на піксель за весь зазначений період**.

Служба моніторингу атмосфери Copernicus(CAMS)

Оскільки Sentinel-5P не забезпечує моніторинг концентрацій дисперсних частинок (PM_{2,5} та PM₁₀), дані про їх вміст було отримано через Службу моніторингу атмосфери Коперника (CAMS). CAMS - частина програми Copernicus, що реалізується Європейським центром прогнозування погоди середньої дальності (ECMWF)³⁶. CAMS надає глобальну, контрольовану якість інформацію, пов'язану із забрудненням повітря, сонячною енергією,

У Європі CAMS щодня виконує спеціалізований аналіз та прогноз якості повітря з просторовою роздільною здатністю 0,1 × 0,1 градусів (приблизно 10 × 10 км). У процесі моніторингу використовують дев'ять європейських систем прогнозування якості повітря формуючи медіану розподілу окремих результатів³⁷. Крім цього, аналіз поєднує дані моделі з реальними наземними спостереженнями, наданими ЕЕА, у повний та послідовний набір

даних із використанням різних методів асиміляції даних. Паралельно з цим прогнози якості повітря складаються один раз на день протягом наступних чотирьох днів. І аналіз, і прогноз доступні з годинними розділами на восьми рівнях висоти: поверхня, 50 м, 250 м, 500 м, 1 000 м, 2 000 м, 3 000 м і 5 000 м.

Для цілей представленого аналізу на поверхневому рівні були отримані концентрації PM_{2,5} і PM₁₀ через Сховище атмосферних даних (ADS) – розподілену систему даних та інформації, яка забезпечує доступ до всіх наборів даних CAMS через уніфіковані веб-інтерфейси та інтерфейси API. Для того, щоб час спостереження відповідав значенням, що відстежуються супутником S5P, використані добові концентрації, обчислені станом на 13:00 UTC. Оскільки база даних CAMS, доступна через ADS, містить 3 останні роки даних (так званий постійний архів), наш аналіз концентрацій PM_{2,5} та PM₁₀ охоплює період з 15 липня 2017 року по 14 липня 2020 року.

Додатково, для порівняння результатів з двох незалежних джерел у цьому дослідженні використані змодельовані поверхневі значення концентрацій SO₂, надані службою CAMS, разом із значеннями, отриманими супутником Sentinel-5P. Для цих забруднювальних речовин застосований той самий період спостереження, що і у випадку моніторингу Sentinel-5P, тобто 1 січня 2018 року по 30 квітня 2020 року.

«**CAMS, яка є частиною Програми Copernicus, надає глобальну, контрольовану якість інформації, пов'язану із забрудненням повітря.**»

36 <https://www.ecmwf.int/>

37 https://atmosphere.copernicus.eu/sites/default/files/2020-01/ENSEMBLE_Fact_Sheet_2020.pdf

Результати

У цій главі подано огляд основних статистичних показників окремих забруднювальних речовин, отриманих супутником Sentinel-5P та моделями CAMS. У всіх випадках наводиться середня концентрація певної забруднювальної речовини для території всієї країни, доповнена картою середніх концентрацій та діаграмою, що відображає розвиток середніх концентрацій у період спостереження.

Діоксид азоту

Як видно з рис.3, розподіл NO_2 на території України є відносно рівномірним, у кількох регіонах концентрації NO_2 значно вищі, ніж і країні. До цих регіонів в основному належать околиці столиці

(місто Київ) та регіони (області) у східній та південно-східній частині України - Донецька, Запорізька, Харківська та Дніпропетровська області. Висока концентрація NO_2 добре корелює з розподілом найбільших міст країни та локалізацією певних галузей промисловості (металургійної, коксохімічної, нафтохімічної, важкого машинобудування та металообробки тощо). Більша щільність населення потребує його більшої мобільності, що у свою чергу призводить до збільшення викидів від автотранспорту, а також від генерації електричної енергії на вугільних електростанціях.

У той час як середня концентрація NO_2 в Україні в період з травня 2018 року по квітень 2020

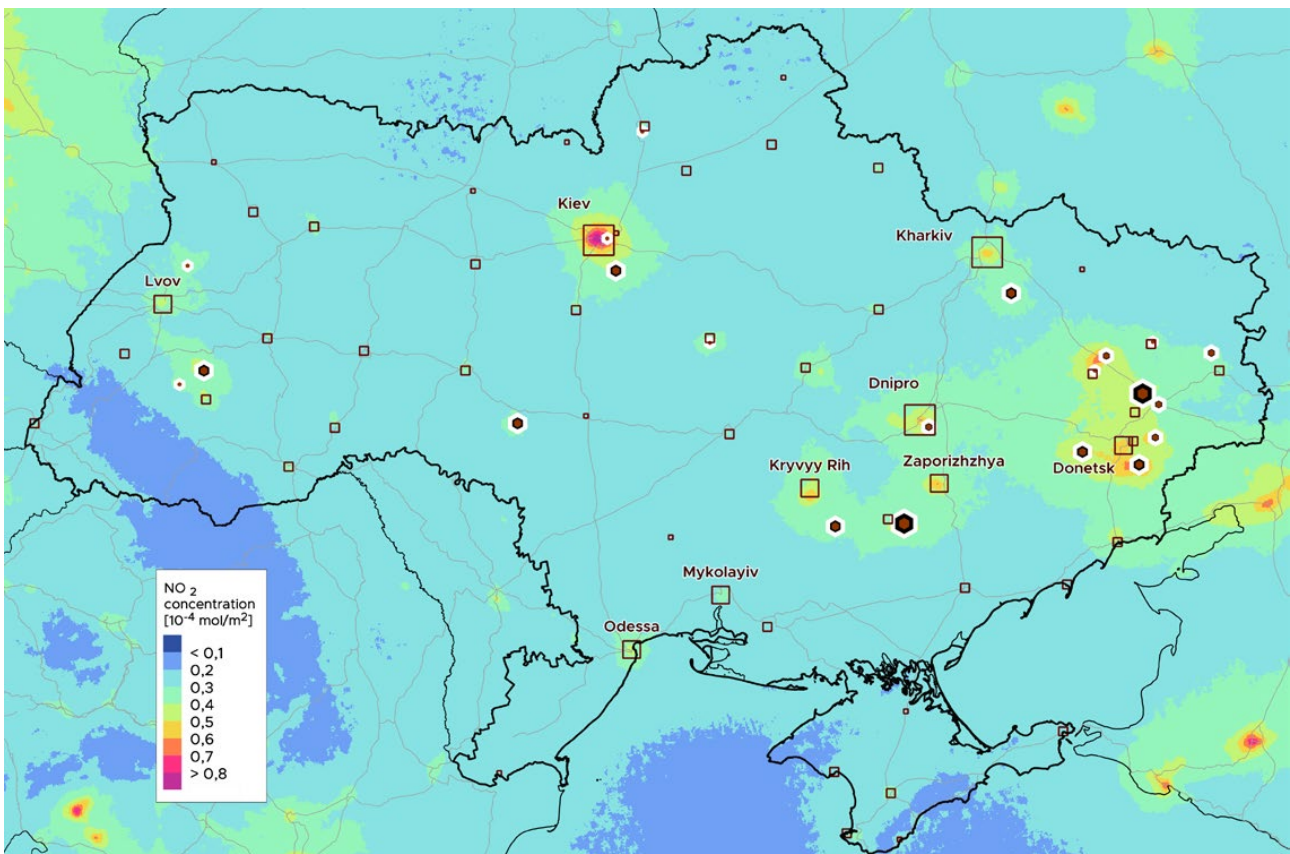


Рис. 3: Середні концентрації NO_2 на території України у період з травня 2018 року по квітень 2020 року. Основні міста відображаються як темно-червоні квадрати, класифіковані за кількістю населення. Вугільні електростанції³⁸ зображені у вигляді темно-червоних шестикутників, класифікованих за їх потужністю.

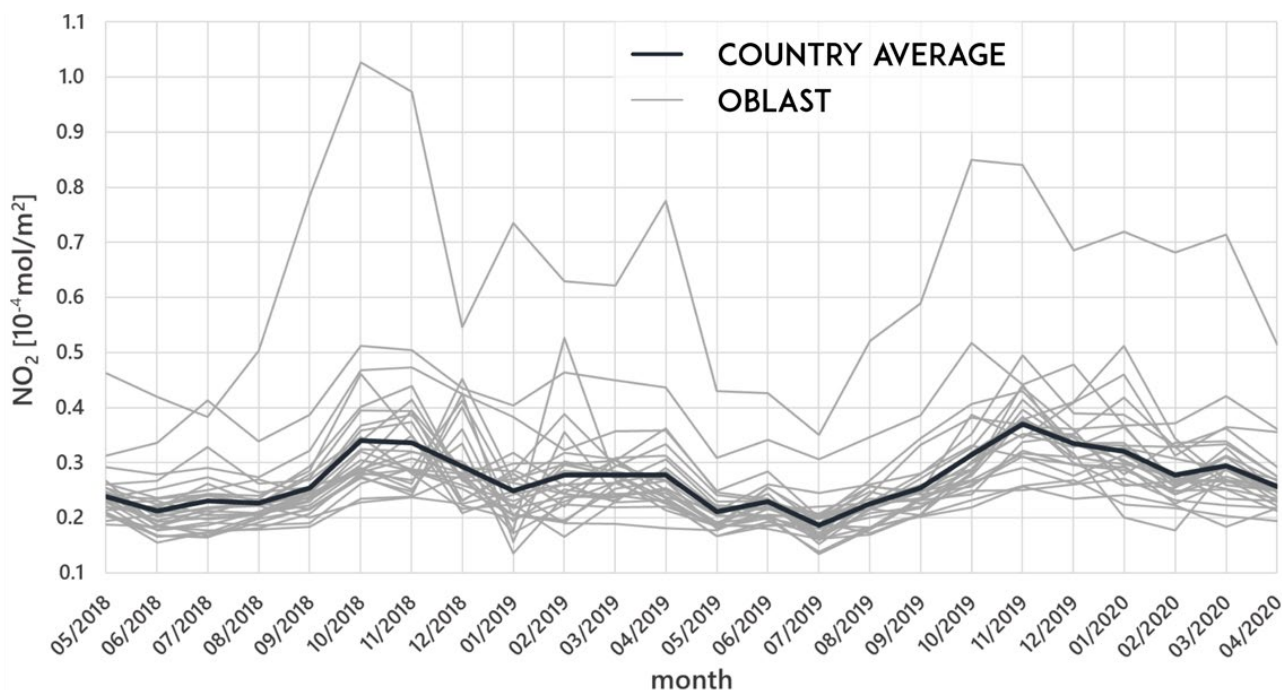


Рис. 4: Середньомісячні концентрації NO₂ на території України та її регіонах у період з травня 2018 року по квітень 2020 року.

року досягла значення $0,28 \times 10^{-4}$ моль/м², у Київській області середнє значення було більшим ніж у два рази : $0,63 \times 10^{-4}$ моль/м². Більше того, усі десять районів міста Київ входять до 15 найбільш забруднених районів країни. Райони міста Київ з найбільшою концентрацією NO₂ в межах міста та всієї країни – Шевченківський район ($0,83 \times 10^{-4}$ моль/м²), Печерський район ($0,81 \times 10^{-4}$ моль/м²) та Солом'янський район ($0,79 \times 10^{-4}$ моль/м²). Поза межами столиці найбільші концентрації NO₂ спостерігаються у Лиманському районі ($0,62 \times 10^{-4}$ моль/м²) та Слов'янському районі ($0,61 \times 10^{-4}$ моль/м²) Донецької області.. Також високі концентрації NO₂ характерні для міст Запоріжжя ($0,48 \times 10^{-4}$ моль/м²), Дніпро ($0,47 \times 10^{-4}$ моль/м²), Харків ($0,66 \times 10^{-4}$ моль/м²) та Кривий Ур Ріг ($0,45 \times 10^{-4}$ моль/м²).

НАЙБІЛЬШ ЗАБРУДНЕНІ ТЕРИТОРІЇ:

- Київська область;
- Донецька область;
- Дніпропетровська область.

Розвиток середньомісячних концентрацій NO₂ на території України наведений на рис. 4. Як видно

з діаграми, найбільші концентрації NO₂ у 2018 та 2019 роках спостерігалися пізньої осені (жовтень, листопад), тоді як найменші концентрації - пізньої весни та у літніх місяцях. Однак спостережувані сезонні відмінності у концентраціях NO₂ є відносно невеликими, як правило, у діапазоні до $0,15 \times 10^{-4}$ моль/м².

На рис. 5 зображено порівняння концентрації NO₂ у зимовий та літній періоди на території України. Прямий вплив вугільних електростанцій (зображених на карті біло-чорними крапками) на підвищення концентрації NO₂ помітний у літні місяці. Взимку на північному заході України спостерігається значне транскордонне переміщення NO₂ з території Польщі. Більш висока концентрація NO₂ також добре корелює з розподілом найбільших міст України та її промислового та вуглевидобувного регіону на південному сході. Це однаково пов'язано як із більш інтенсивним використанням генерації енергії для обігріву будинків взимку, так і з тим, що NO₂ довше залишається у повітрі взимку, оскільки атмосферний життєвий цикл NO₂ зумовлений головним чином реакціями, ініційованими сонячним світлом.³⁹

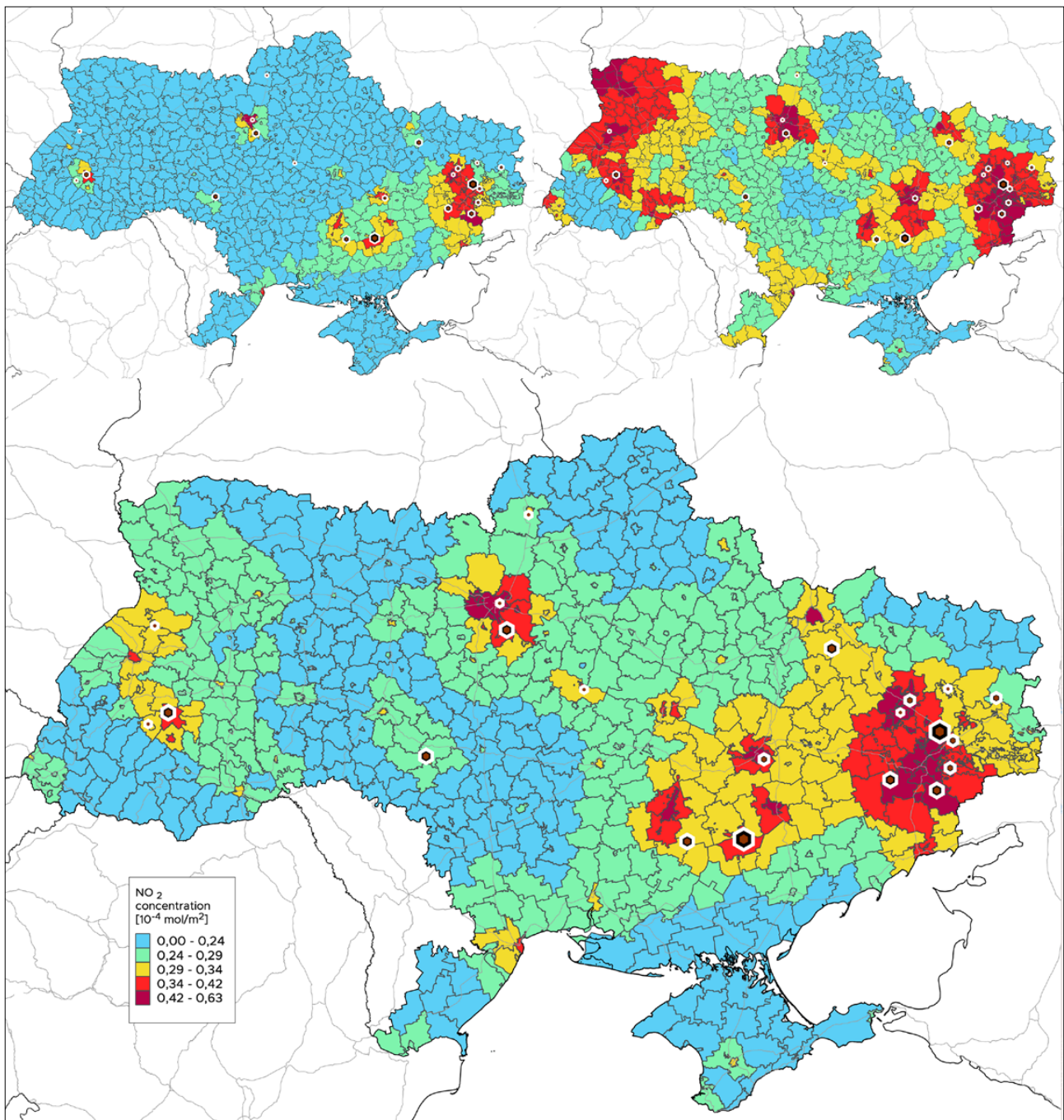


Рис. 5: Середні концентрації NO₂ на території адміністративних районів України у період з травня 2018 року по квітень 2020 року (внизу), літом (вгорі ліворуч) та взимку (вгорі праворуч)

« У зимовий період на північному заході України спостерігається значне трансграничне переміщення NO₂ з території Польщі. Більш висока концентрація NO₂ також добре корелює з розподілом найбільших міст України її промислового та вуглевидобувного регіону на південному сході.

Розвиток концентрацій NO₂ у вибраних областях України у період з травня 2018 року по квітень 2020 року наведений на рис. 6. Для ілюстрації було обрано п'ять областей із найвищою середньою концентрацією NO₂ та 5 областей з найнижчою середньою концентрацією. Як видно з графіка, середньомісячні концентрації NO₂ у місті Києві перевищують концентрації в інших областях майже кожного місяця періоду моніторингу. Це частково можна пояснити рівнем урбанізації та розміром самої Київської міської

області, оскільки вона займає площу близько 832 км², тоді як площа Донецької, Дніпропетровської,

Київської та Харківської областей обчислюється в межах від 27 000 до 32 000 км².

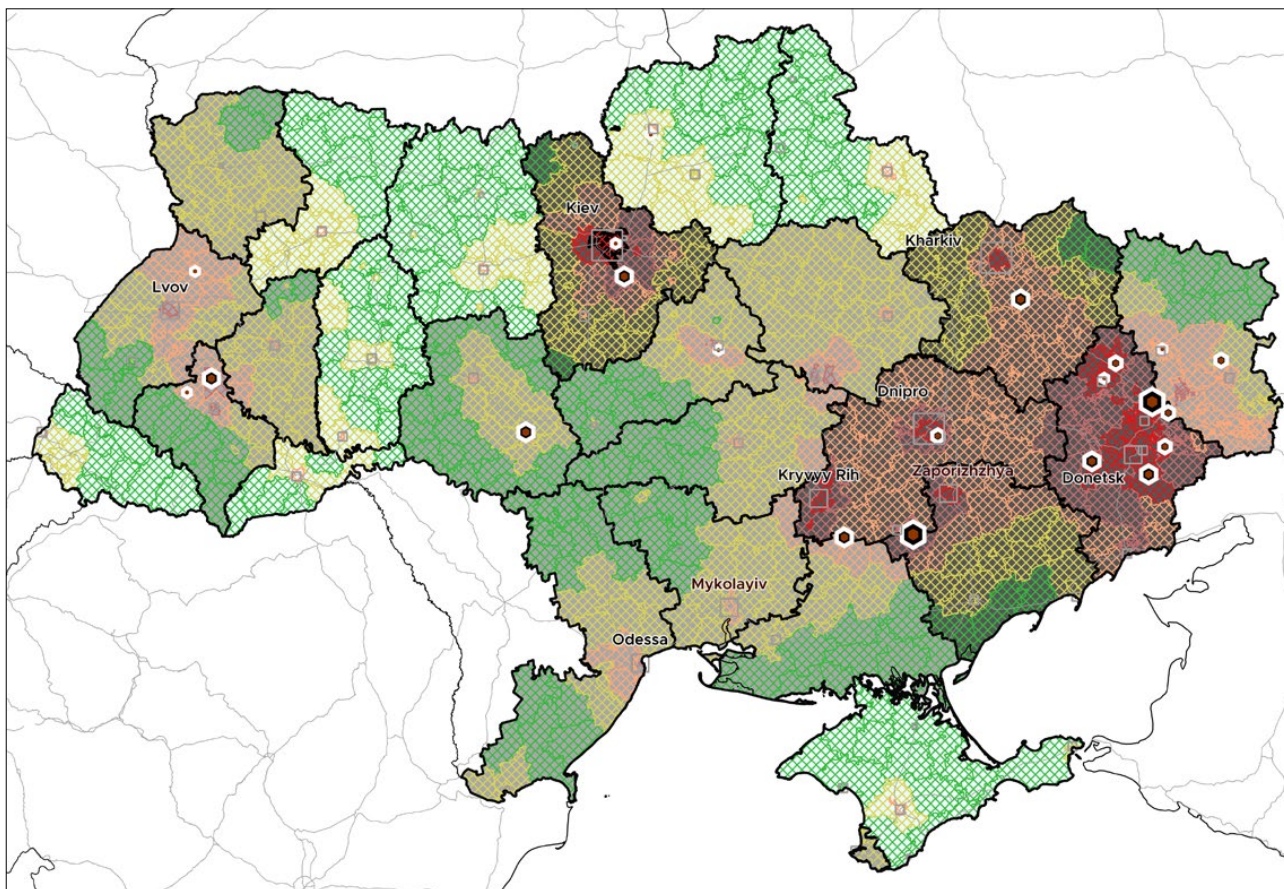


Рис. 7: Середні концентрації NO₂ в областях та адміністративних районах України у контексті локації вугільних електростанцій. Вугільні електростанції⁴⁰ позначені у вигляді темно-червоних шестикутників, класифікованих за їх потужністю.

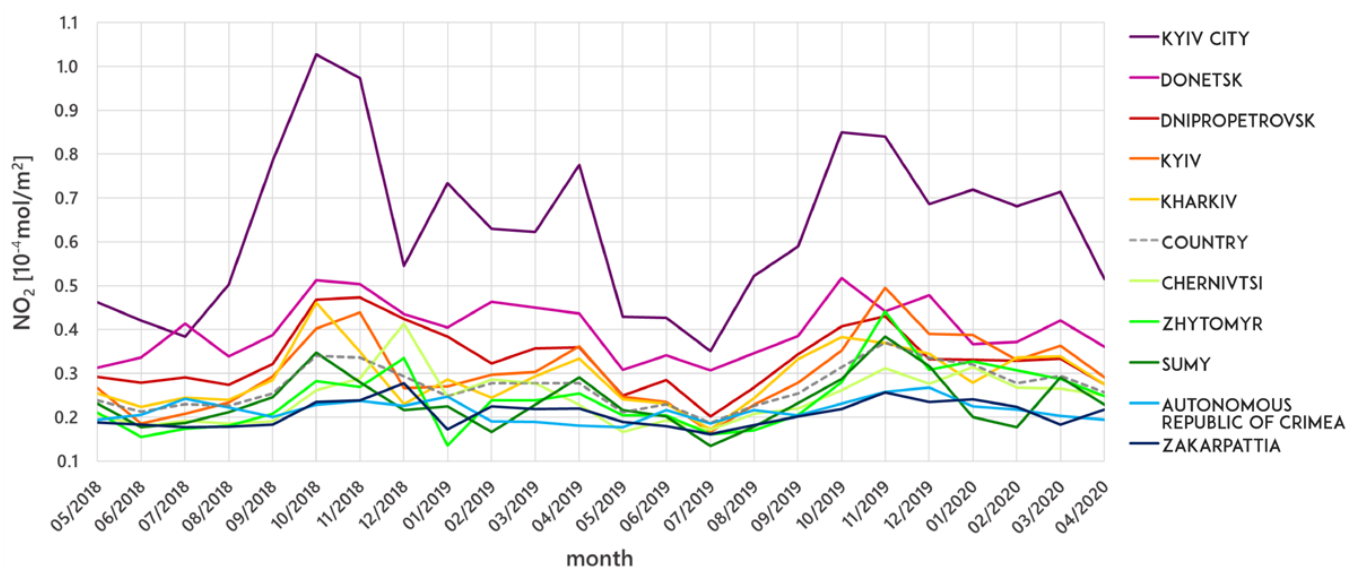


Рис. 6: Розвиток середніх концентрацій NO₂ у вибраних областях України у період з травня 2018 року по квітень 2020 року.

40 Based on Global Power Plant Database. Source: <https://datasets.wri.org/dataset/globalpowerplantdatabase>

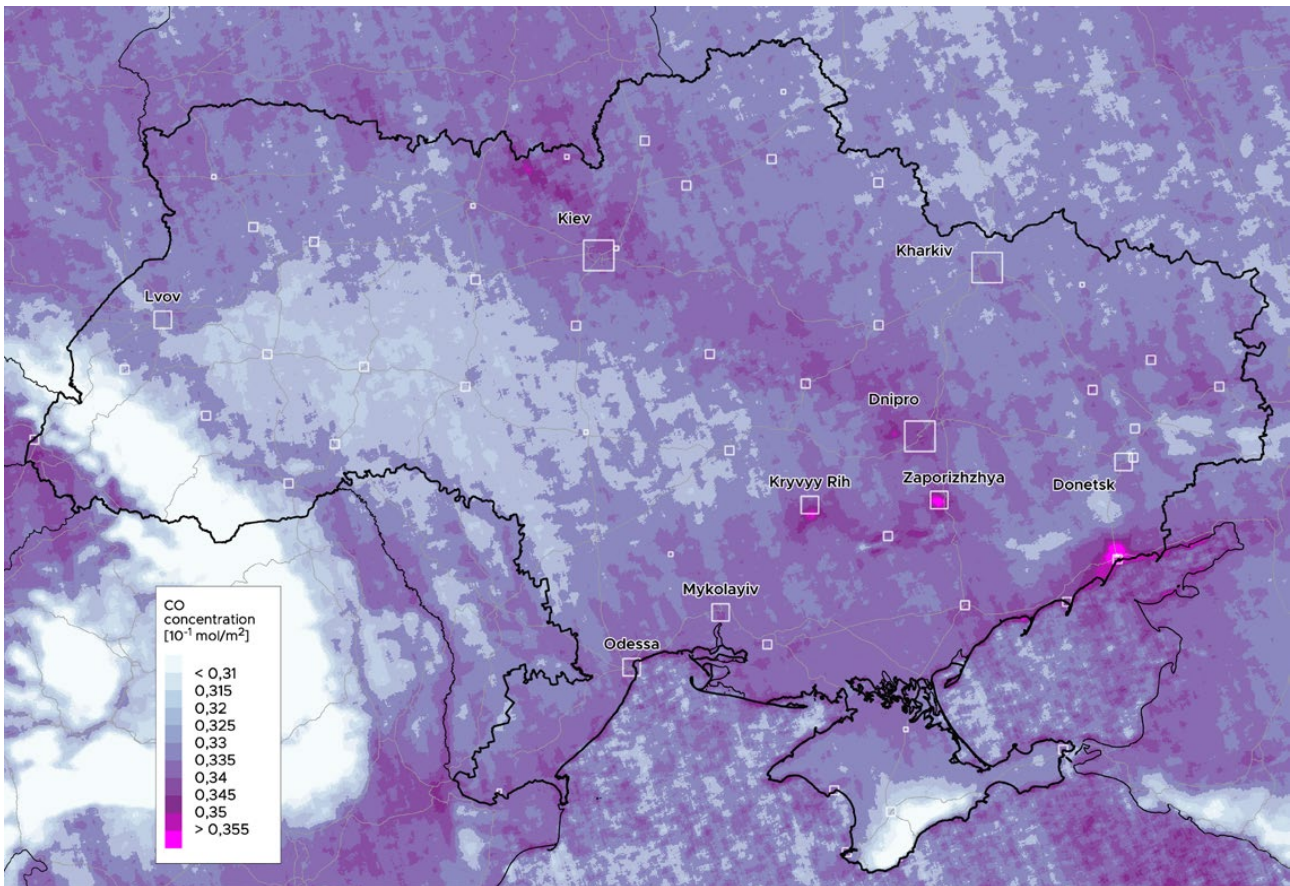


Рис. 8: Середні концентрації CO на території України у період з травня 2018 року по квітень 2020 року.

Оксид вуглецю

Є дві карти, важливі для розуміння концентрацій оксиду вуглецю (CO, чадного газу) на території України. На рис. 8 наведено розподіл середніх концентрацій CO у період з травня 2018 року по квітень 2020 року, а на рис. 9 – топографічна карта (відносного рівня висоти) місцевості. Взаємний аналіз цих зображень дозволяє встановити природну високу негативну кореляцію між концентраціями CO та відносними висотами території. Таким чином, найнижчі концентрації CO спостерігаються над Карпатським гірським масивом та Кримськими горами, тоді як найвищі концентрації можна виявити у Дніпровській низовині та Чорноморсько-Азовський низовині. Це здебільшого викликано природним колообігом CO у повітрі. Однак вплив людини на концентрацію CO помітний у низині, де розташовані основні центри виробництва сталі - у містах Маріуполь, Запоріжжя, Кривий Ріг та Кам'янське (колишній Дніпродзержинськ). Крім того, більша концентрація CO спостерігається у зоні відчуження Чорнобильської атомної електростанції та навколо неї, а також на південному заході Карпат біля кордону зі Словаччиною та Угорщиною.

НАЙБІЛЬШ ЗАБРУДНЕНІ ТЕРИТОРІЇ:

- Херсонська область;
- Місто Київ;
- Запорізька область;
- Дніпропетровська область.

Найбільші концентрації CO встановлені у Херсонській, Київській, Запорізькій та Дніпропетровській областях. Незважаючи на те, що середня загальнодержавна концентрація CO досягала значення $0,332 \times 10^{-4}$ моль/м³, для цих областей характерні середні концентрації 0,340, 0,339, 0,339 та 0,339 на 10^{-4} моль/м³ відповідно. З іншого боку, області з найменшими середніми концентраціями - Івано-Франківська ($0,315 \times 10^{-4}$ моль/м³), Закарпатська ($0,319 \times 10^{-4}$ моль/м³) та Чернівецька ($0,324 \times 10^{-4}$ моль/м³). Серед міських територій найбільші концентрації CO спостерігались у містах Маріуполь ($0,361 \times 10^{-4}$ моль/м³), Запоріжжя ($0,351 \times 10^{-4}$ моль/м³), Мангуші (назва у минулому - Першотравневий) ($0,349 \times 10^{-4}$ моль/м³), Дніпро ($0,345 \times 10^{-4}$ моль/м³) та Кривий Ріг ($0,344 \times 10^{-4}$ моль/м³). Це означає, що різниця між найбільш забрудненими та найменш забрудненими територіями становить приблизно 30% від середньої концентрації.

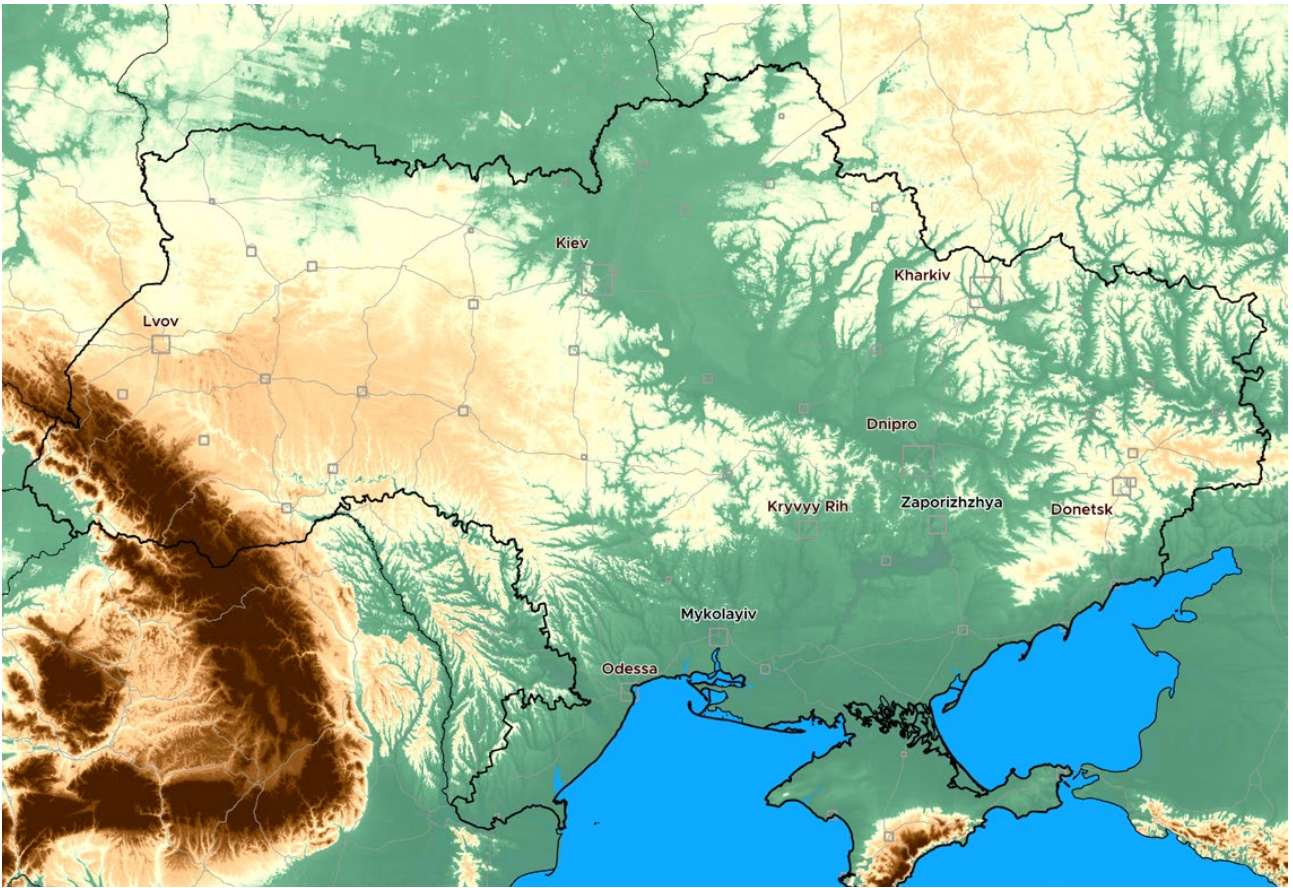


Рис. 9: Фізична карта України. Джерело: SRTM DEM (<https://dds.cr.usgs.gov/srtm/>)

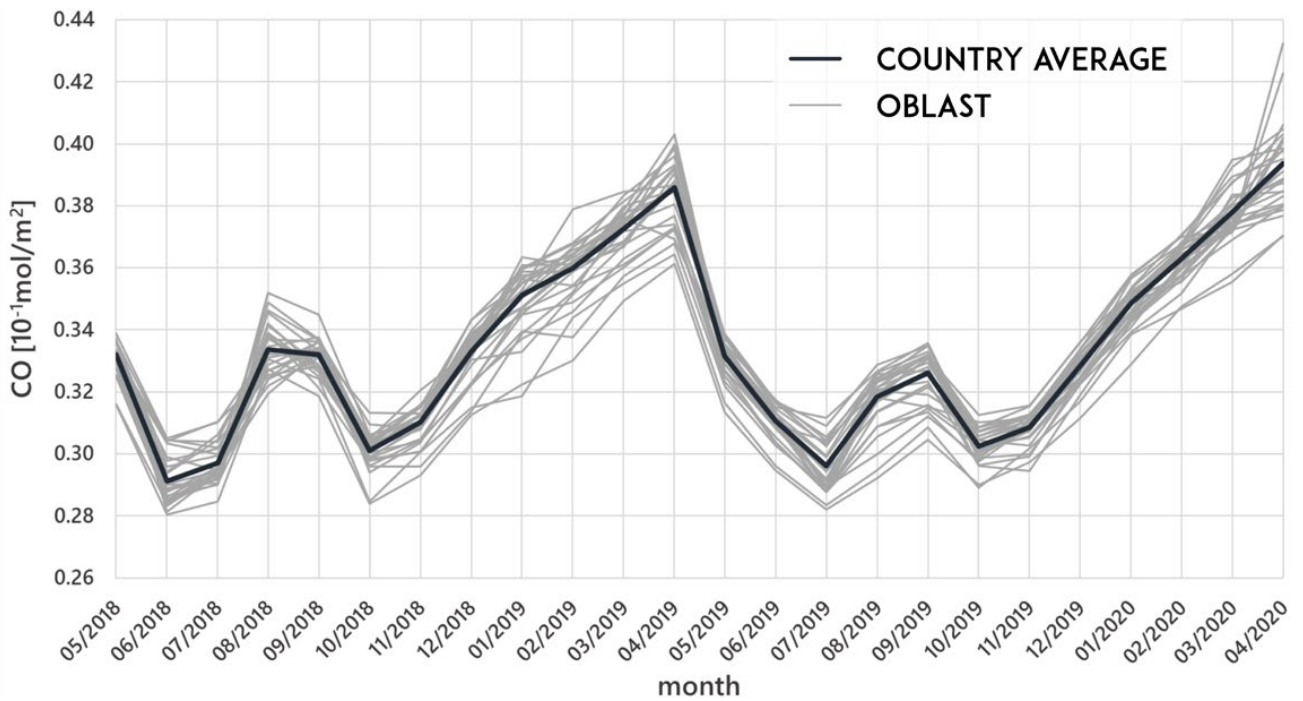


Рис. 10: Середньомісячні концентрації CO на території України та її областях у період з травня 2018 року по квітень 2020 року.

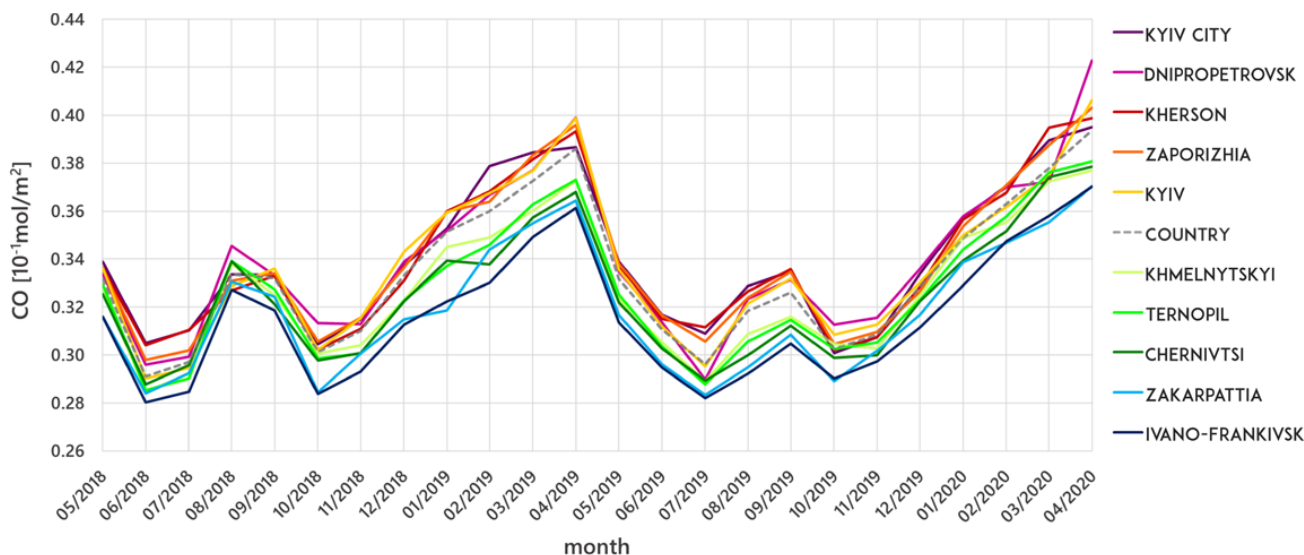


Рис. 11: Розвиток середніх концентрацій CO у вибраних областях України у період з травня 2018 року по квітень 2020 року. Для відображення було обрано 5 областей з найбільшими загальними концентраціями та 5 областей з найменшими загальними концентраціями

Вплив людини на концентрацію CO помітний у низинах, де зосереджені основні центри виробництва сталі - міста Маріуполь, Запоріжжя, Кривий Ріг та Кам'янське .

Розвиток середньомісячних концентрацій CO на території України наведено на рис. 10 і 11. Концентрація CO збільшується взимку та на початку весни, досягаючи найбільших значень у квітні, а потім різко зменшується. Найнижчі рівні концентрації CO для обраного періоду спостережень були досягнуті в липні. Ця тенденція узгоджується із загальним річним циклом концентрації CO в атмосфері Північної півкулі Землі.

Діоксид сірки

Середня концентрація діоксиду сірки (SO_2) над територією України у період з травня 2018 року по квітень 2020 року становила $0,43 \times 10^{-4}$ моль/м³. Це значення свідчить про відносно невелике забруднення у порівнянні зі світовими "гарячими точками". Однак у розподілі концентрації SO_2 існують відмінності на місцевому рівні. Як ви можете бачити на карті (рис. 12) більші значення середньої концентрації SO_2 спостерігаються поблизу міст і особливо у східній частині України, де зосереджені важка промисловість та діючі вугільні шахти. Це спостереження додатково підтверджується аналізом набору даних SO_2 , наданим CAMS (рис. 13). Це дає змогу визначити

основні забруднені території без втрати фокусу на територіях інших міст.

Сезонність значень концентрації SO_2 є чіткою (рис. 14 і 15), з максимальними значеннями (більш ніж у п'ять разів від середнього) у період з листопада по січень. у. Ця тенденція, ймовірно, є наслідком як природних, так і антропогенних⁴¹ чинників, серед яких:

- 1) менший рівень поглинання SO_2 взимку через відсутність рослинності та меншу кількість опадів;
- 2) більші викиди від опалення будинків у житлових районах.
- 3) іншого боку, середньомісячні концентрації у всіх регіонах подібні до середніх значень для всієї території України у літній період.

« На території України концентрація SO_2 у атмосферному повітрі має чіткий сезонний розподіл, з максимальними значеннями у період з листопада по січень..

НАЙБІЛЬШ ЗАБРУДНЕНІ ТЕРИТОРІЇ:

- Донецька область;
- Місто Київ ;
- Дніпропетровська область;
- Запорізька область.

⁴¹ https://www.researchgate.net/publication/265250018_Changes_in_sulphur_dioxide_concentrations_in_the_atmospheric_air_assessed_during_short-term_measurements_in_the_vicinity_of_Olsztyn_Poland

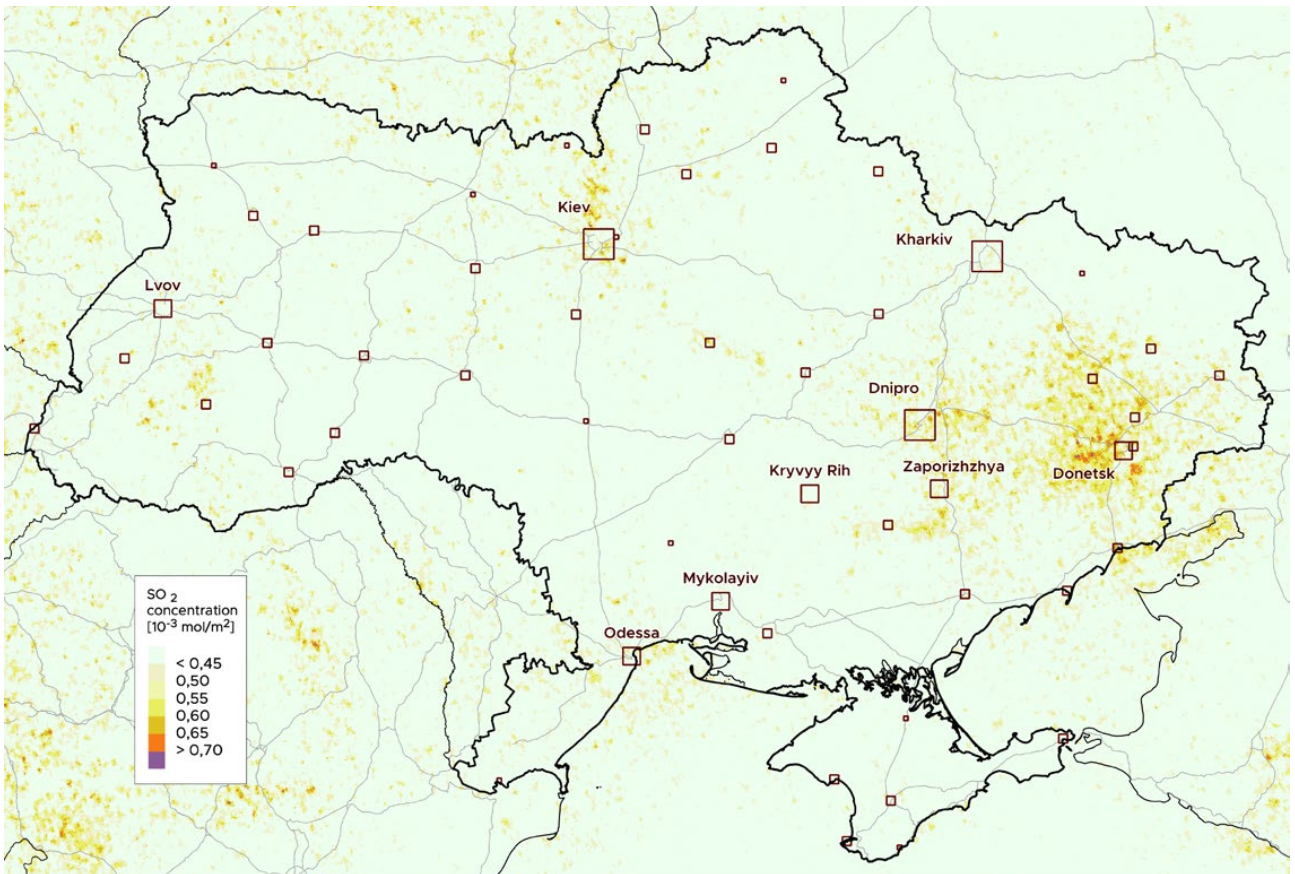


Рис. 12: Середні концентрації SO₂ на території України у період з травня 2018 року по квітень 2020 року на основі даних Sentinel 5P.

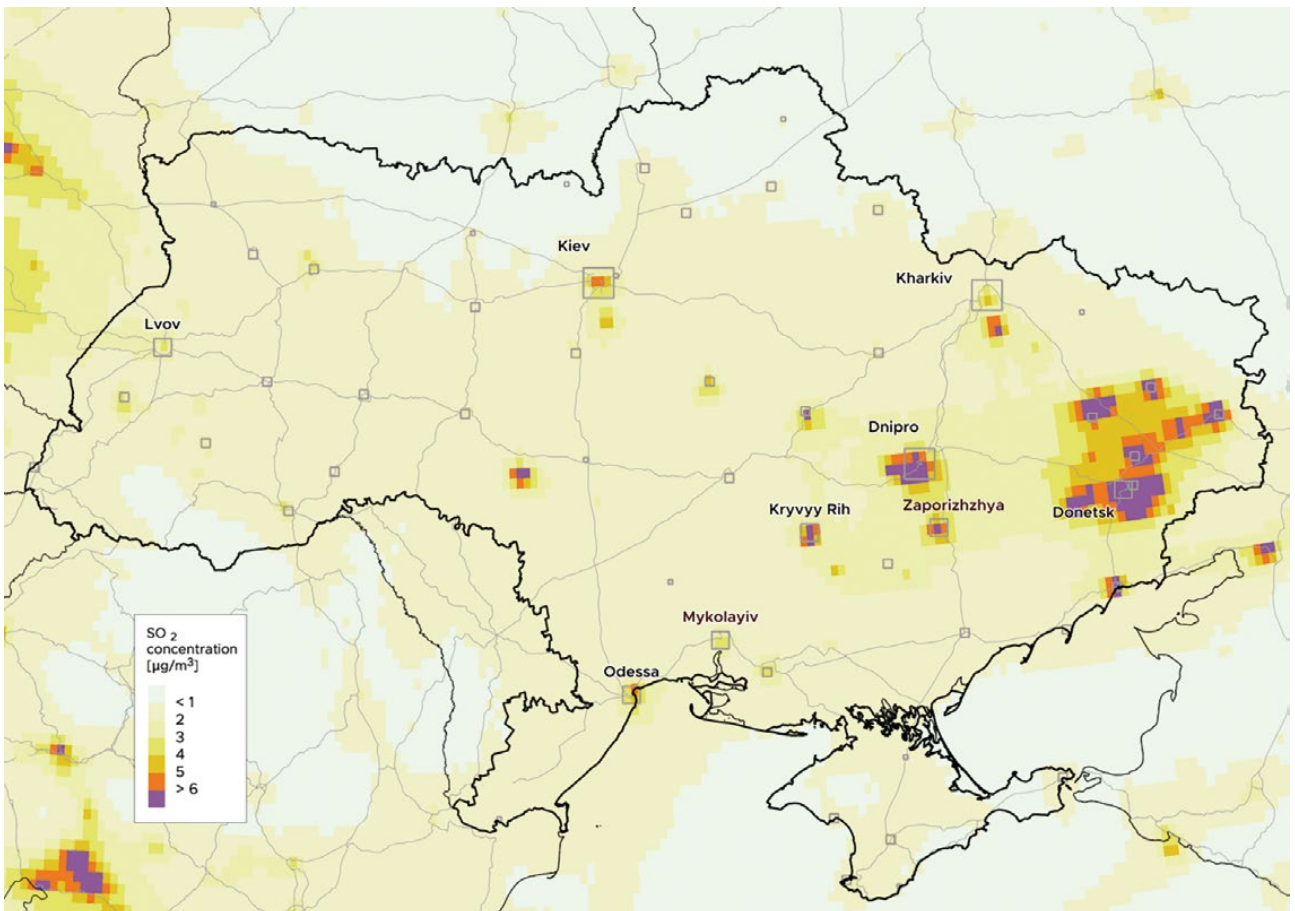


Рис. 13: Середні концентрації SO₂ на території України у період з липня 2017 року по липень 2020 року на основі даних CAMS.

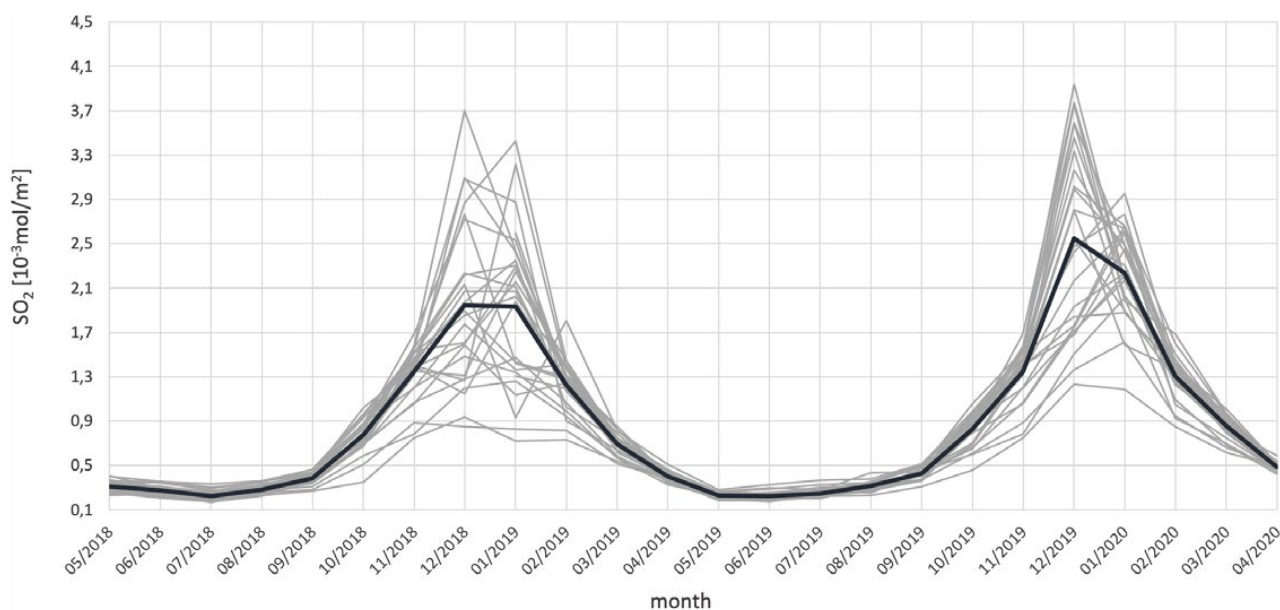


Рис. 14: Середньомісячні концентрації SO_2 на території України та її областях у період з травня 2018 року по квітень 2020 року.

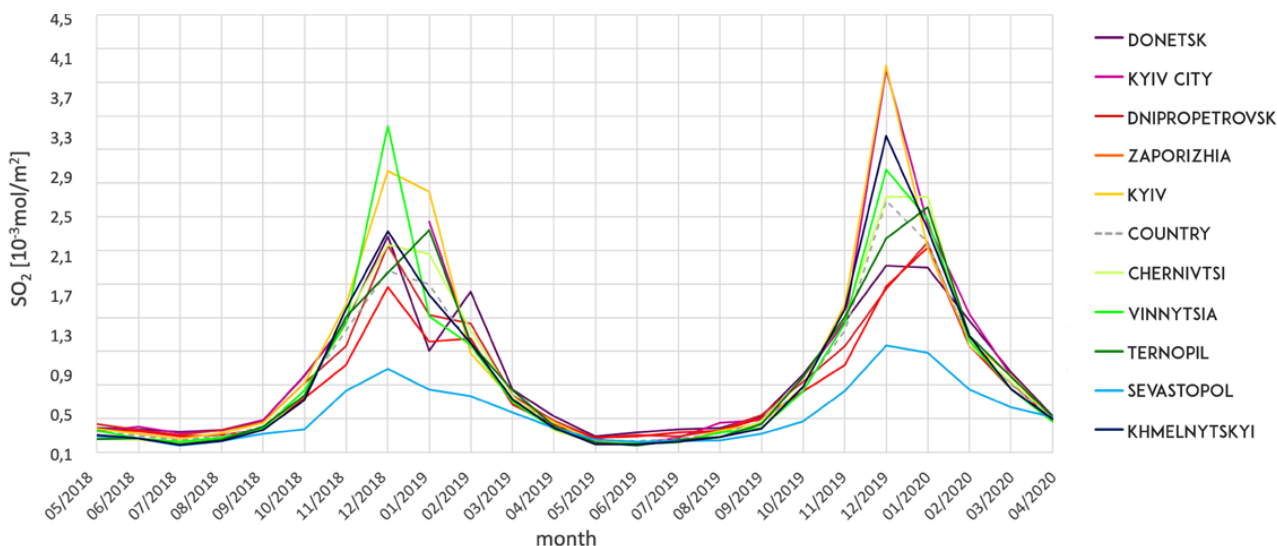


Рис 15: Розвиток середніх концентрацій SO_2 у вибраних областях України у період з травня 2018 року по квітень 2020 року. Для відображення було обрано 5 областей з найбільшими загальними концентраціями та 5 областей з найменшими загальними концентраціями.

Формальдегід

Середні значення концентрації формальдегіду (НСНО) однорідні для атмосферного повітря на всій території України як це видно на рис. 16. Середня концентрація НСНО на території України у період з травня 2018 року по квітень 2020 року досягла значення $1,47 \times 10^{-4}$ моль/м³. Незважаючи на це, у східній частині України та на території міста Київ спостерігаються кілька “гарячих точок” з більшою концентрацією НСНО. Ці точки можна пояснити впливом важкої промисловості, видобутку та використання вугілля у Донбаському

басейні та більшої мобільності у великих містах, оскільки основними антропогенними джерелами викидів НСНО в атмосферне повітря є викиди транспортних засобів, промислові викиди та спалення вугілля.

« У східній частині України та на території міста Київ спостерігаються кілька “гарячих точок” з більшою концентрацією НСНО.

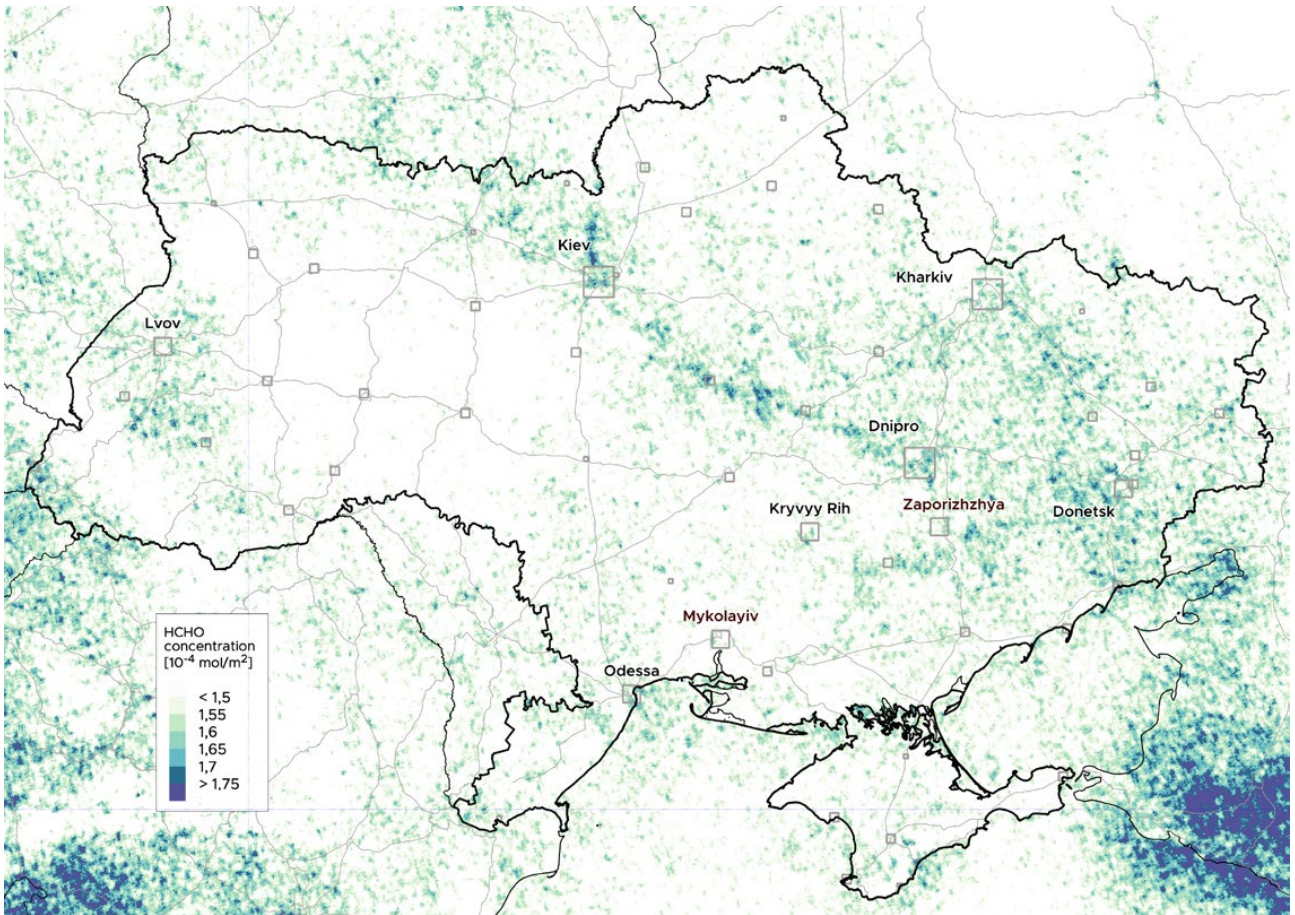


Рис. 16: Середньомісячні концентрації НСНО на території України та її областях у період з травня 2018 року по квітень 2020 року.

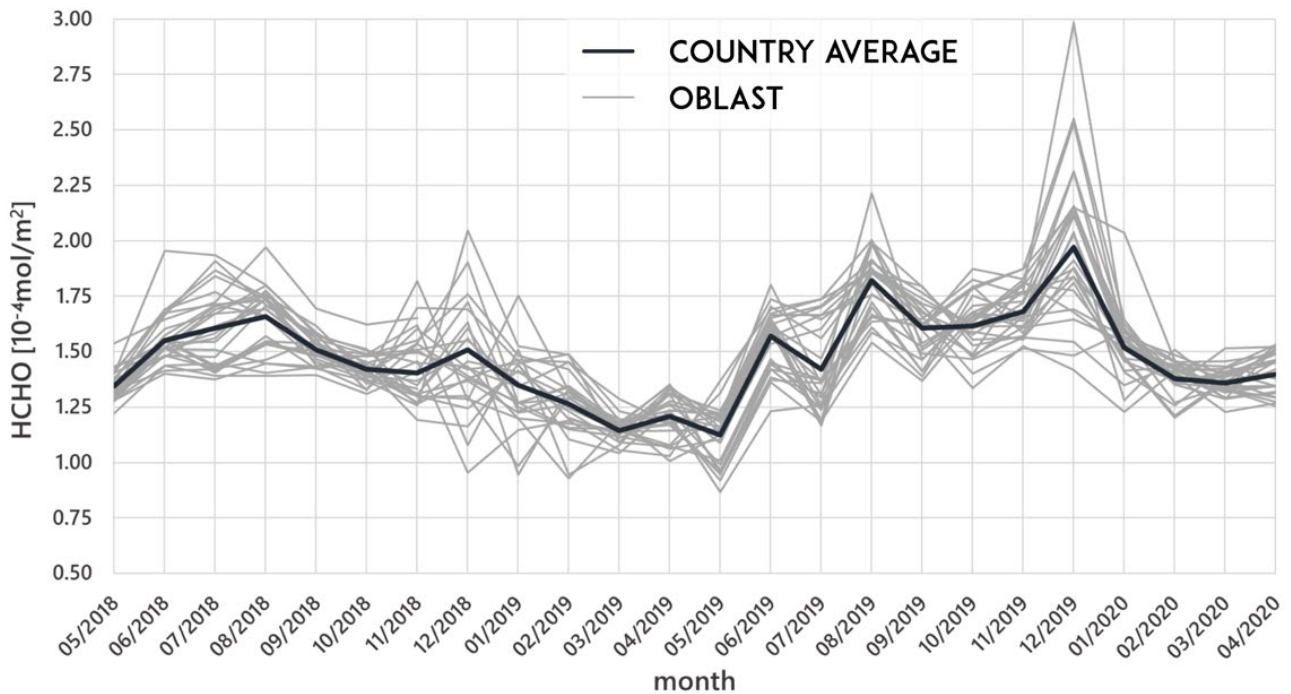


Рис. 17: Середньомісячні концентрації НСНО на території України та її областях у період з травня 2018 року по квітень 2020 року.

На рис. 17 і 18 наведено розвиток концентрації НСНО у період з травня 2018 року по квітень 2020 року. Середні значення знаходяться у межах від

1,25 до 1,75 на 10^{-4} моль/м², проте спостерігаються деякі відхилення та пікові значення. Сезонні коливання розподілу концентрації НСНО у загаль-

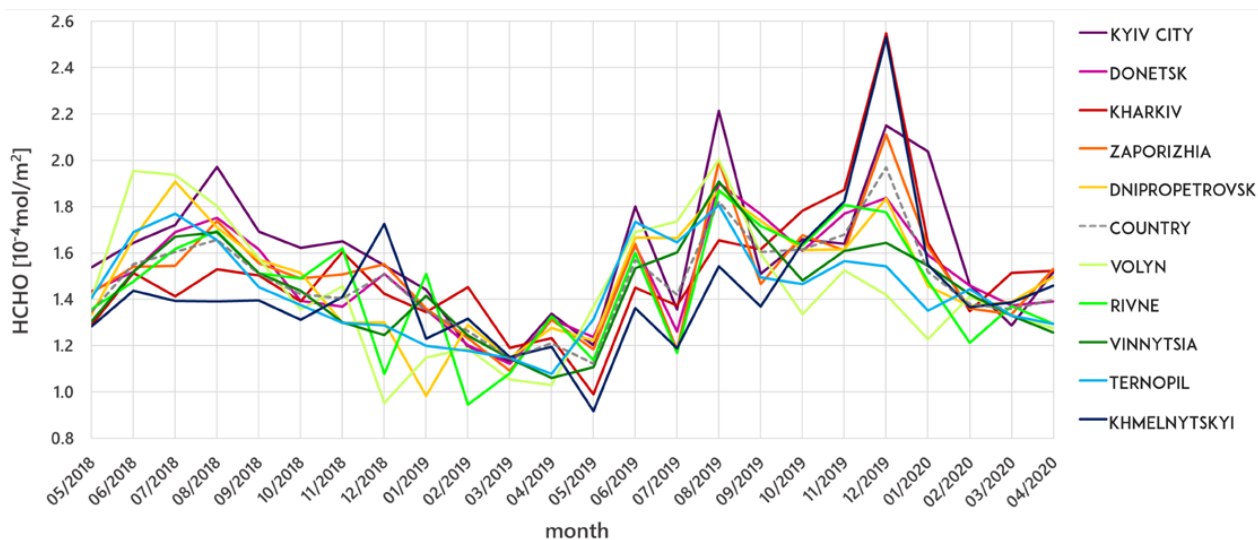


Рис 18: Розвиток середніх концентрацій НСНО у вибраних областях України у період з травня 2018 року по квітень 2020 року. Для відображення було обрано 5 областей з найбільшими загальними концентраціями та 5 областей з найменшими загальними концентраціями.

ному випадку пов'язані з перепадами температури, пожежами та змінами характеру та інтенсивності антропогенної діяльності.

Дрібнодисперсні частки $PM_{2,5}$

Середня концентрація $PM_{2,5}$ досягла значення **9,02 $\mu\text{кг}/\text{м}^3$** . Розподіл середніх концентрацій на території України наведений на рис. 19. Кількість $PM_{2,5}$ зменшується з півдня на північ країни, причому найвищі концентрації спостерігаються у промислових областях сходу України. Загалом Донецька (11,85 $\mu\text{кг}/\text{м}^3$), Дніпропетровська (10,88 $\mu\text{кг}/\text{м}^3$) та Запорізька області (10,15 $\mu\text{кг}/\text{м}^3$), а також місто Київ (10,76 $\mu\text{кг}/\text{м}^3$) належать до найбільш забруднених територій враховуючи довготривалий вплив $PM_{2,5}$.

НАЙБІЛЬШ ЗАБРУДНЕНІ ТЕРИТОРІЇ:

- Донецька область;
- Дніпропетровська область;
- Місто Київ;
- Запорізька область.

У кількох районах концентрації $PM_{2,5}$ не відповідають рівню 10 $\mu\text{кг}/\text{м}^3$ відповідно до настанов ВООЗ. Кількість таких територій сягає 127 районів (див. Додаток_2), половина з яких розташована у межах Донецької області, 31 – у Дніпропетровській області, 9 – у межах міста Київ, 16 - у межах Луганської області, а також у межах Закарпатської та Чернівецької областей. Крім того, граничні значення концентрації $PM_{2,5}$ були перевищені у декількох

містах - Запоріжжя (16,10 $\mu\text{кг}/\text{м}^3$), Одеса (12,02 $\mu\text{кг}/\text{м}^3$) та Ужгород (11,03 $\mu\text{кг}/\text{м}^3$). Найвищі середні концентрації встановлені у таких містах: Маріуполь (25,65 $\mu\text{кг}/\text{м}^3$), Кривий Ріг (18,93 $\mu\text{кг}/\text{м}^3$), Мангуш (17,51 $\mu\text{кг}/\text{м}^3$) та Дніпро (16,64 $\mu\text{кг}/\text{м}^3$). Навіть середнє для всієї території України значення перевищило межу граничного рекомендованого значення у березні 2018 року, з листопада 2018 року по лютий 2019 року, у листопаді 2019 року, січні 2020 року та березні 2020 року.

«**Концентрація $PM_{2,5}$ перевищує межі рекомендованого значення ВООЗ у 135 районах. Навіть середнє для всієї території України значення було перевищено у березні 2017 року, листопаді 2018 року та лютому 2019 року.**

У загальному випадку середні значення $PM_{2,5}$ на території України становлять 5-11 $\mu\text{кг}/\text{м}^3$. Пікі значення концентрації $PM_{2,5}$ спостерігаються пізньої осені та у зимовий період (рис. 20, 21). Як правило, зменшення значень концентрації $PM_{2,5}$ відбувається у літній період та на початку осені.

Розвиток середніх концентрацій $PM_{2,5}$ на території областей України наведений на рис. 21. У Донецькій, Дніпропетровській та Київській областях значна частка значень перевищує рівень 10 $\mu\text{кг}/\text{м}^3$ у період з кінця осені 2018 року до зими 2019 року. Значення концентрацій $PM_{2,5}$ на території Донецької області, як правило, вищі, ніж у решті території України, з піку середніх

значень понад 22 мкг/м³ серпні-жовтні 2019 року. Додатково, спостереження встановили найбільші концентрації PM_{2.5} на території Київської області у період з осені 2019 року до кінця зими 2020 року. Найнижчі показники концентрацій PM_{2.5} виявлені

на території Сумської, Чернівецької та Житомирської областей, які розташовані на півночі України.

Рис. 22 (нижче) порівнює концентрації PM_{2.5} зимового та літнього періоду на території областей

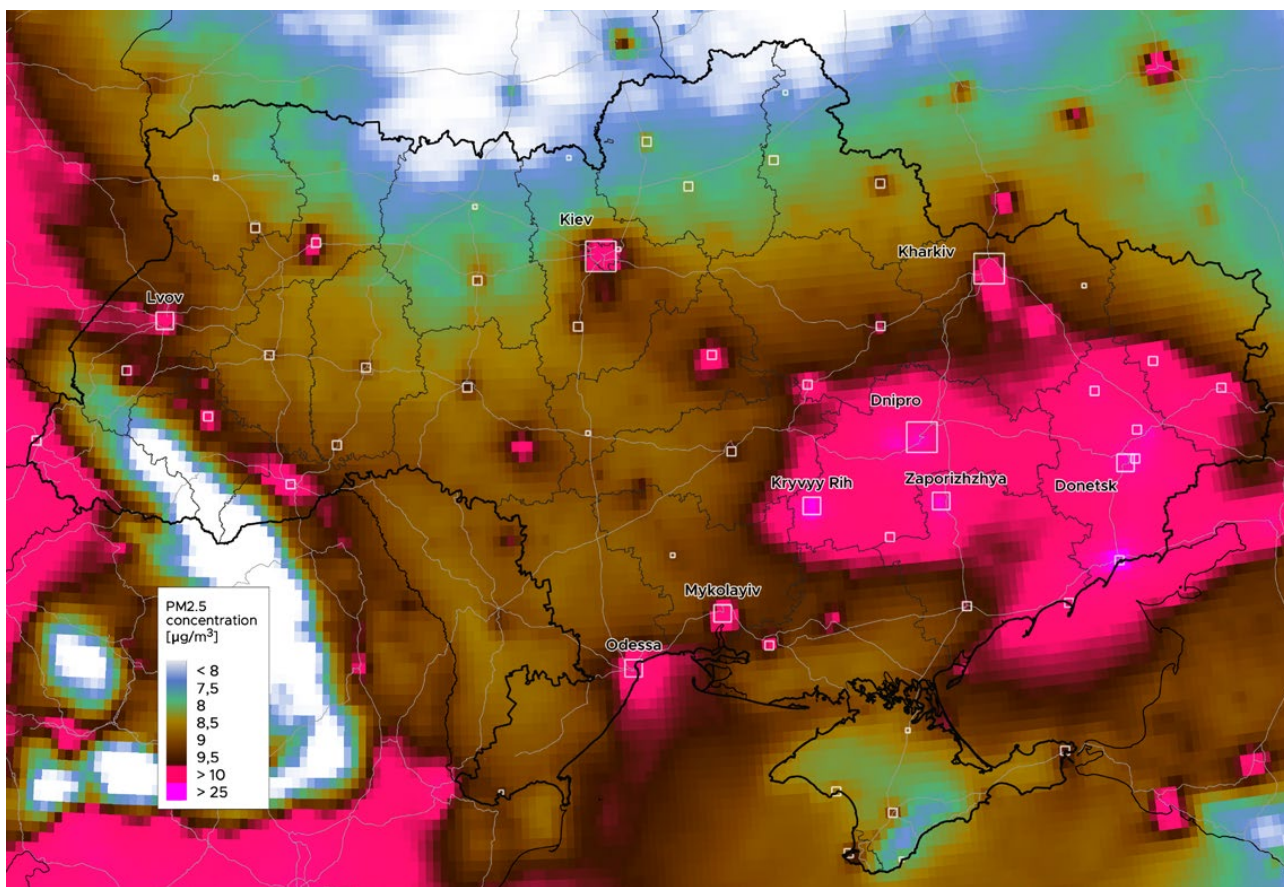


Рис. 19: Середні концентрації PM_{2.5} на території України у період з липня 2017 р. по липень 2020 р.

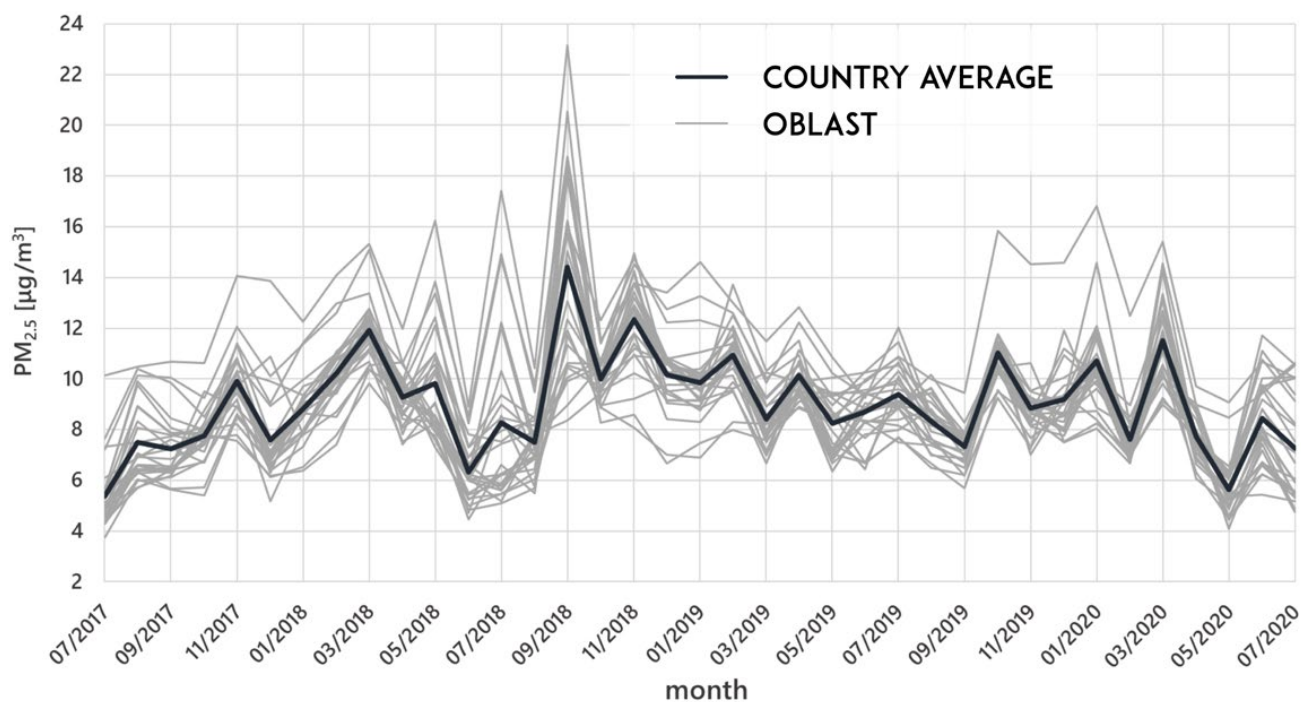


Рис. 20: Середньомісячні концентрації PM_{2.5} на території України та її областях у період з липня 2017 р. по липень 2020 р.



Рис. 21: Розвиток середніх концентрацій $PM_{2.5}$ в областях України у період з липня 2017 року по липень 2020 року. Для відображення було обрано 5 областей з найвищими загальними концентраціями та 5 областей з найменшими загальними концентраціями.

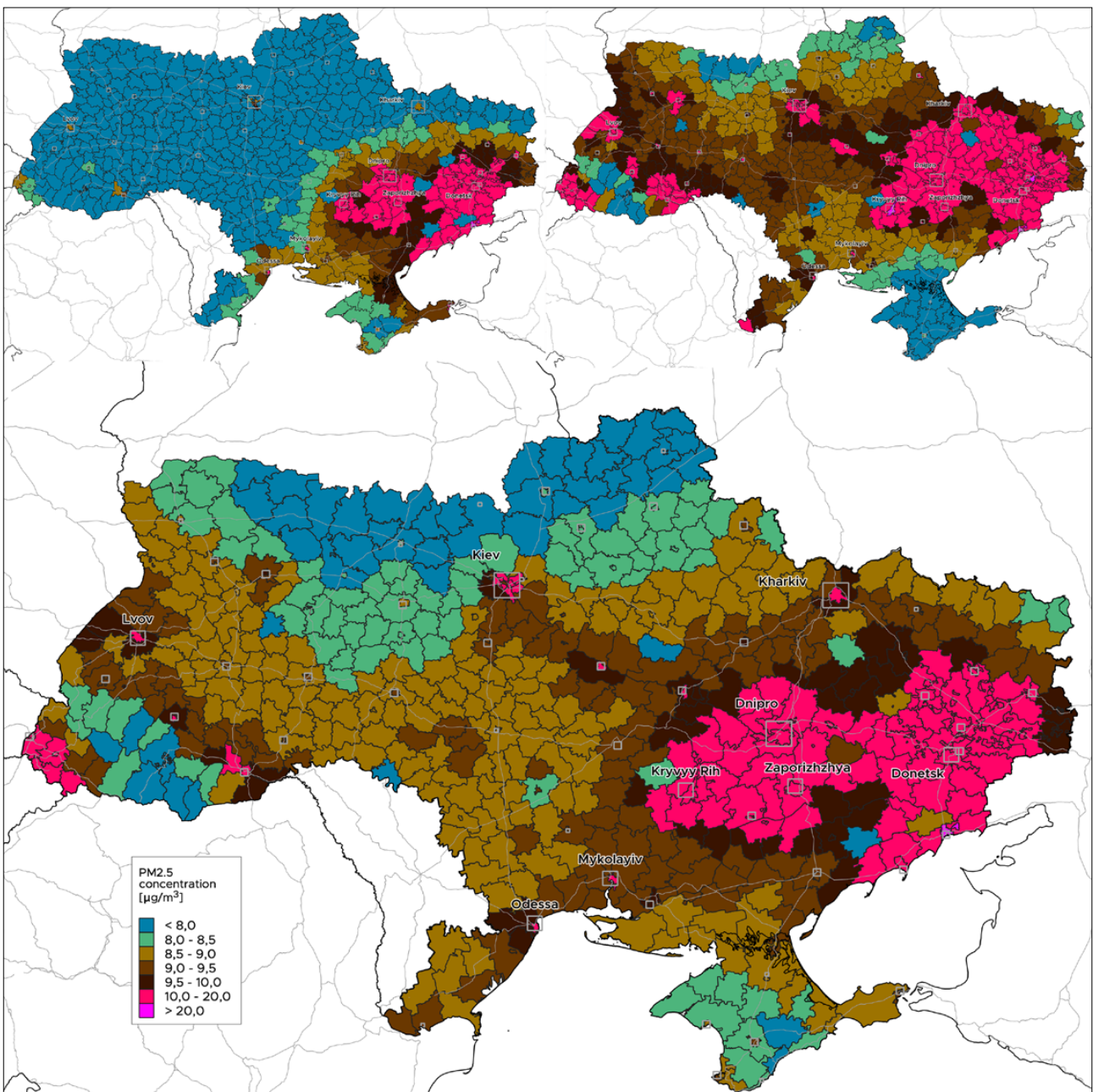


Рис. 22: Середні концентрації $PM_{2.5}$ на території областей України; у період з липня 2017 року до липня 2020 року (внизу), літом (зліва) та зимою (праворуч)

України. Забруднення зменшується у більшості областей упродовж літа, зі зменшенням середніх концентрацій до рівня 8 мкг/м³. Виключення - території Автономної республіки Крим, де значення влітку вищі, ніж взимку. На території міста Київ значення PM_{2,5} значно зменшуються влітку, проте, у зимовий період на території України спостерігається значне збільшення значень концентрації PM_{2,5}.

Високі значення концентрації PM_{2,5} на території міст Дніпро, Маріуполь, Кривий Ріг, Запоріжжя та Кам'янське спостерігаються упродовж всього року. У міста Маріуполь взимку спостерігаються середні концентрації PM_{2,5} на рівні 29,41 мкг/м³, що майже вдвічі перевищує рівень, встановлений рекомендаціями ВООЗ.

Дрібнодисперсні частки PM₁₀

Середня на території України концентрація дрібнодисперсних часток PM_{2,5} досягає 11,79 мкг/м³ за увесь обраний час спостережень. Як і у випадку з PM_{2,5}, кількість PM₁₀ зменшується з півдня на північ України (рис. 23). Існує 5 міст, де значення концентрацій PM₁₀ перевищують середньорічні значення для дисперсних частинок (20 мкг/м³), вказані у рекомендаціях ВООЗ. У місті Маріуполь середні значення навіть перевищують

рекомендації ВООЗ для середніх значень за 24 години (50 мкг/м³). Додатково, було встановлено перевищення граничного середньорічного значення тв окремих частинах чотирьох великих промислових міст – Кривий Ріг, Дніпро, Запоріжжя та Донецьк, які розташовані на південному сході України. Разом із цим, на території столиці України (місто Київ), міста Харків та долини ріки Дністер також спостерігаються високі концентрації PM₁₀.

З іншого боку, кордону України та територія Карпатського гірського масиву демонструє найменше значення концентрацій PM₁₀. Також ми можемо спостерігати деякі інші "гарячі точки", наприклад, місто Ладизин, яке має відносно низьку щільність населення і не розглядається як типовий міський район, проте там розташована Ладизинська теплова електростанція. Про збільшений рівень забруднення навколо цього міста також свідчать результати моніторингу інших забруднювальних речовин (NO₂, PM_{2,5}). Просторовий розподіл концентрацій PM₁₀ спирається на припущення, що над Чорним та Азовським морями біля узбережжя України спостерігатимуться значно високі значення концентрацій PM₁₀, оскільки природні джерела (включно з випаровуванням морської води) становлять значну частину надходження дисперсних частинок у повітря.

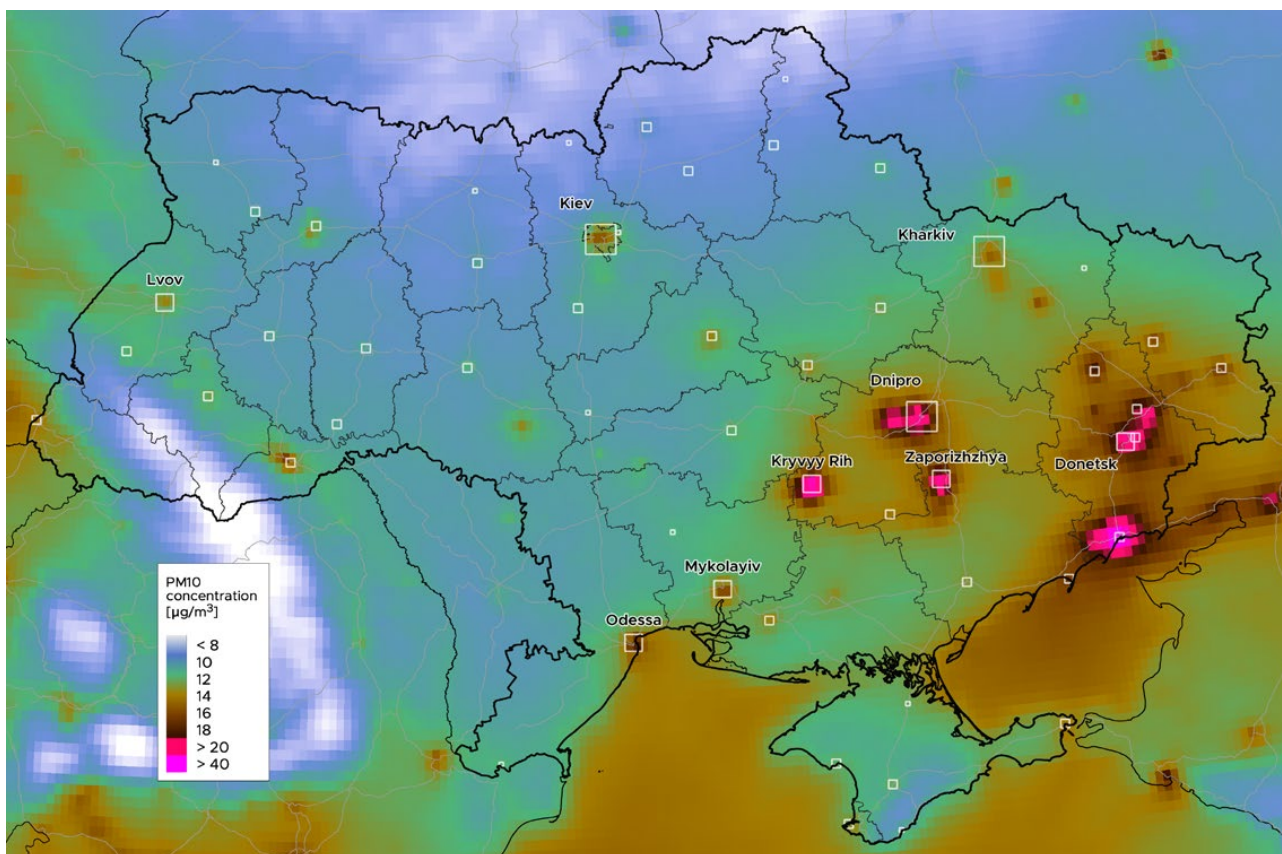


Рис. 23: Середні концентрації PM₁₀ на території України у період з липня 2017 року по липень 2020 року.

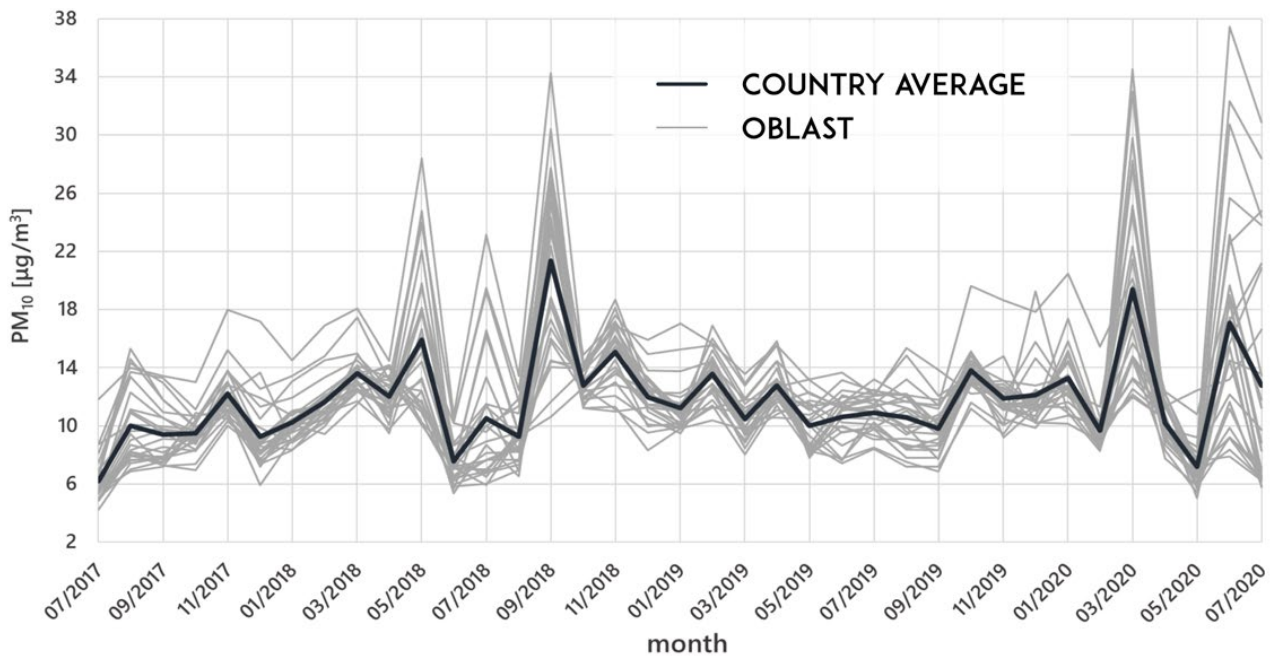


Рис. 24: Середньомісячні концентрації PM_{10} на території України та її областях у період з липня 2017 року по липень 2020 року.

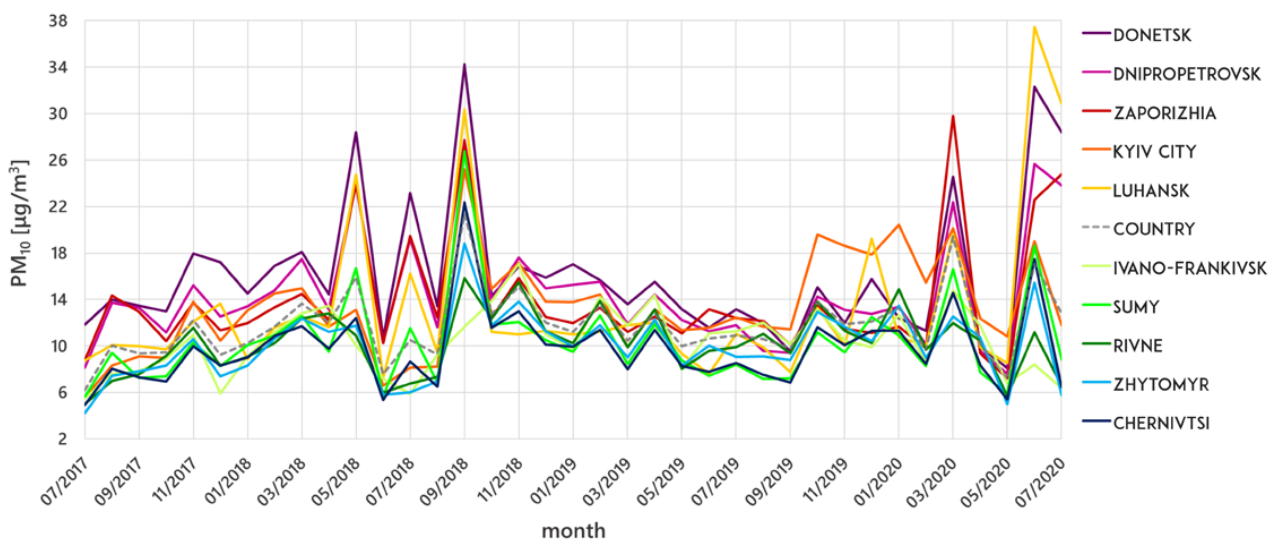


Рис. 25: Розвиток середніх концентрацій PM_{10} на території областей України у період з травня 2018 року по квітень 2020 року. Для відображення було обрано 5 областей з найбільшими загальними концентраціями та 5 областей з найменшими загальними концентраціями.

« Було встановлено перевищення граничного середньорічного значення концентрації PM_{10} в окремих частинах чотирьох великих промислових міст — Кривий Ріг, Дніпро, Запоріжжя та Донецьк.

НАЙБІЛЬШ ЗАБРУДНЕНІ ТЕРИТОРІЇ:

- Донецька область;
- Дніпропетровська область;
- Запорізька область.

Значення концентрації PM_{10} на території різних областей України, як правило, мають меншу внутрішньорегіональну мінливість, ніж $PM_{2,5}$. На рис. 24 можна переконатися, що більшість значень наближаються до середнього показника по країні. В середньому щомісячні значення концентрації PM_{10} в Україні становлять 6-14 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. За період спостережень (вересень 2018 р. та березень 2020 р.) виявлено лише два місяці, у які середнє по країні значення концентрації PM_{10} досягло граничних середньорічних значень, рекомендованих ВООЗ для дрібнодисперсних часток.

Рекомендації

Якість повітря наразі вважається одним із найважливіших чинників навколишнього середовища та здоров'я населення. Для підвищення якості життя та довкілля в Україні необхідні скоординовані дії на національному, регіональному та муніципальному, промислового та громадському рівнях. Більше того, зменшення забруднення повітря безпосередньо сприятиме виконанню цілей ООН зі сталого розвитку, а також цілей Паризької угоди Рамкової конвенції ООН зі зміни клімату. Забруднення атмосферного повітря та викиди промисловості також згадуються як пріоритети збереження навколишнього середовища в Угоді про асоціацію з Європейським Союзом від 2017 р., яка передбачає поступове наближення українського законодавства у відповідність до екологічних правил, політики, стандартів ЄС та розробку відповідних галузевих стратегій.

Державна політика, що підтримує поліпшення якості повітря, має бути зосереджена на чотирьох ключових аспектах:

Підхід до моніторингу

Отримання реальних даних, доказів та їх використання має бути пріоритетом для досягнення поліпшення якості повітря, одночасно зберігаючи економічну ефективність. Тому підключення всіх чинних систем наземного моніторингу та розширення мережі є необхідністю, особливо для територій, які були визначені як "гарячі точки" забруднення повітря. Досвід країн ЄС свідчить, що найкращим варіантом є розбудова єдиної системи моніторингу, яка керується одним органом влади, що додатково здійснює перевірку даних, на національному рівні. Ця система має бути

незалежною від зовнішніх та політичних впливів. Бажано використовувати всі наявні дані про якість повітря, включно із системами громадського моніторингу повітря та результатами незалежних наукових досліджень, після їх додаткової оцінки.

Наземні виміри дають краще уявлення про походження забруднення на місцевому рівні та точні результати вимірювання рівнів забруднення у місцях з високою щільністю населення. Дистанційний супутниковий моніторинг та дані CAMS слід регулярно використовувати для моніторингу загального прогресу та змін у просторовому та часовому розподілі забруднювальних речовин на рівні країни загалом та областей - як її територіально-адміністративних одиниць. Має бути абсолютно зрозумілим, що у 21 столітті має бути забезпечений вільний доступ широкого загалу до даних та результатів моніторингу (відкриті дані, вебсайт з відкритими базами даних, їх аналіз та інтерпретація, тощо).

Результати моніторингу якості повітря мають впливати на системи державного управління на різних рівнях:

- державні стандарти екологічної безпеки;
- порядок видачі правових дозволів на викиди забруднювальних речовин;
- державна регуляторна політика.

Моніторинг реальних рівнів забруднення має бути доповнений Реєстром викидів та перенесення забруднення (РВПЗ), що містить загальні викиди забруднювальних речовин з окремих великих промислових об'єктів – і, таким чином, дозволяє виявити основні джерела забруднення.

Інвентаризація та плани дозволених викидів

Органи місцевого самоврядування та обласні державні адміністрації мають застосовувати кадастри викидів з метою встановлення значних джерел забруднення повітря. Методи ідентифікації викидів включають постійний моніторинг конкретного джерела викиду, короткострокові вимірювання, які екстраполюються на більш тривалий період часу або чинники виникнення та поширення викидів. Розуміння та кількісна оцінка джерел забруднення атмосферного повітря на локальному рівні дозволяє учасникам визначити ключові задачі (сектори державного управління) для швидкого та економічно доцільного зменшення наслідків.

Проведення інвентаризації викидів має бути виконаною до планування окремих заходів, особливо для промислових центрів та/або міських територій. Плани управління якістю атмосферного повітря, сформовані на основі сучасних кадастрів на муніципальному та регіональному рівнях, є найефективнішим інструментом довгострокового поліпшення якості повітря в містах та регіонах по всьому світові. Оголошення про попередження та обмеження щодо смогу (та інших несприятливих метеоумов) має бути частиною таких планів на транспорті, у промислових операціях та у громадському житті.

Зміна практики управління

Багато секторів економіки та державного управління надають можливості для поліпшення якості повітря. Серед них найбільш цільовими та ефективними є транспорт, важка промисловість, гірничодобувна промисловість, генерація теплової та електричної енергії, державні закупівлі та модернізація будівель. Цільове фінансування для покращення якості повітря (державні, регіональні чи місцеві субсидії на нові енергогенеруючі установки, модернізація обладнання та виробництва тощо) доцільно використо-

увати як для комерційного сектору, так і для приватних осіб.

Щодо основних промислових джерел забруднення, держава має впроваджувати прогресивне законодавство та приймати стандарти ЄС. Потім державні органи мають забезпечувати дотримання дозволених умов викидів та забруднення. Держава, міжнародні організації та міжурядові органи мають стимулювати галузі до суттєвої модернізації та інвестицій у найкращі доступні технології (НДТ), оскільки велика кількість діючих промислових об'єктів застаріли та вичерпали свій технологічний ресурс.

Залучення громадськості

Кампанії з підвищення обізнаності та комунікації мають важливе значення для формування розуміння громадськістю серйозних наслідків забруднення повітря для здоров'я населення. Дуже важливо забезпечити громадянам вільний доступ до інформації – даних державного моніторингу якості повітря, своєчасного попередження під час ситуацій смогу (та інших НМУ), деталізованої інформації про роботу основних джерел забруднення тощо. Держава має всіляко залучати громадськість до прийняття рішень. До таких рішень належать територіальне планування, затвердження планів управління якістю повітря на муніципальному та регіональному рівнях, оцінка впливу на довкілля (ОВД, англійською мовою - EIA) та інші процедури отримання дозволів для експлуатації промислових об'єктів. Залучення громадськості – разом з іншими позитивними ефектами – допомагає подолати потенційну громадську, політичну чи комерційну протидію запланованим заходам.

Також потрібно забезпечити удосконалення кампаній з підвищення обізнаності громадськості що засновані на зміні індивідуальної поведінки (у галузях транспорту, опалення в приватних будинках, енергозбереження, спалення біомаси тощо).

ДОДАТКИ

Додаток 1: Усереднені концентрації у атмосферному повітрі областей України

Таб. 1: Концентрації NO₂, CO, SO₂, HCHO у атмосферному повітрі областей України, усереднені за період спостереження від 01.05.2018 р. до 30.04.2020 р., та концентрації PM_{2.5} та PM₁₀ у атмосферному повітрі областей України, усереднена за період спостереження від 15.07.2017 до 14.07.2020. Концентрації, що перевищують рекомендовані ВООЗ значення, позначені червоним кольором.

Забруднювальна речовина / область	NO ₂ [моль* 10 ⁻⁴ /м ²]	CO [моль* 10 ⁻¹ /м ²]	SO ₂ [моль* 10 ⁻³ /м ²]	HCHO [моль * 10 ⁻⁴ /м ²]	PM _{2.5} [мкг/м ³]	PM ₁₀ [мкг/ м ³]
Авт. Респ. Крим	0.215	0.332	0.414	1.46	8.47	12.23
Дніпропетровська	0.335	0.339	0.471	1.48	10.88	14.50
Донецька	0.402	0.337	0.520	1.51	11.85	16.20
Черкаська	0.261	0.333	0.413	1.55	8.95	11.36
Чернігівська	0.244	0.335	0.436	1.49	7.74	9.77
Чернівецька	0.244	0.324	0.404	1.45	8.87	10.97
Івано-Франківська	0.250	0.315	0.442	1.46	8.40	10.40
Харківська	0.291	0.334	0.447	1.48	9.37	12.70
Херсонська	0.246	0.340	0.419	1.51	9.13	12.67
Хмельницька	0.253	0.327	0.391	1.47	8.49	10.76
Кіровоградська	0.257	0.333	0.412	1.37	9.15	11.87
Київська	0.304	0.337	0.448	1.46	8.53	10.76
Місто Київ	0.633	0.339	0.493	1.48	10.76	13.34
Луганська	0.291	0.335	0.434	1.57	9.38	13.30
Львівська	0.274	0.328	0.433	1.49	9.02	11.36
Миколаївська	0.255	0.337	0.417	1.48	9.18	12.10
Одеська	0.250	0.336	0.436	1.45	8.94	11.55
Полтавська	0.276	0.337	0.423	1.48	9.04	11.78
Рівненська	0.252	0.334	0.423	1.50	8.11	10.28
Місто Севастополь	0.260	0.330	0.392	1.43	8.79	12.42
Сумська	0.236	0.333	0.414	1.47	8.10	10.40
Тернопільська	0.272	0.327	0.398	1.45	8.69	10.94
Вінницька	0.251	0.329	0.399	1.40	8.70	11.01
Волинська	0.273	0.335	0.414	1.40	8.40	10.69
Закарпатська	0.208	0.319	0.414	1.43	8.73	10.90
Запоріжська	0.284	0.339	0.464	1.45	10.15	13.98
Житомирська	0.243	0.332	0.430	1.51	7.83	10.00
Показник, середній для території усієї країни	0.280	0.332	0.432	1.47	9.02	11.79

Додаток 2: Території адміністративних одиниць з підвищеною концентрацією $PM_{2,5}$

Райони, де концентрація $PM_{2.5}$ у атмосферному повітрі не відповідає орієнтовному рівню 10 мкг/м³, зазначеному у рекомендаціях ВООЗ.

Область	Адміністративно-територіальна одиниця		Середній показник у мкг/м ³		
	Тип	Назва	У літній період	У зимовий період	За весь час спостережень
Донецька	Місто	Маріуполь	20,83	29,41	25,65
Дніпропетровська	Місто	Кривий Ріг	14,72	22,81	18,93
Донецька	Район	Мангушський	15,18	19,34	17,51
Дніпропетровська	Місто	Дніпро	13,43	19,31	16,64
Донецька	Місто	Єнакієве	12,98	20,34	16,56
Донецька	Місто	Макіївка	13,54	19,55	16,54
Запорізька	Місто	Запоріжжя	13,50	18,45	16,10
Дніпропетровська	Місто	Дніпро	12,60	15,72	14,62
Донецька	Місто	Донецьк	13,09	15,36	14,34
Донецька	Місто	Харцизьк	11,79	15,96	14,03
Донецька	Місто	Ясинувата	11,47	15,60	13,34
Донецька	Місто	Горлівка	11,16	15,32	13,18
Дніпропетровська	Район	Криворізький	11,08	14,69	13,13
Донецька	Район	Ясинуватський	11,23	14,59	12,89
Дніпропетровська	Район	Дніпровський	11,15	14,04	12,86
Донецька	Район	Нікольський	11,81	13,37	12,85
Донецька	Місто	Жданівка	10,99	13,60	12,54
Дніпропетровська	Район	Петриківський	10,01	14,38	12,47
Донецька	Місто	Краматорськ	10,81	13,61	12,40
Місто Київ	Район	Шевченківський	9,36	14,22	12,16
Місто Київ	Район	Печерський	9,24	14,30	12,11
Одеська	Місто	Одеса	11,44	11,86	12,02
Донецька	Район	Новоазовський	11,83	11,46	11,95
Донецька	Місто	Вугледар	10,83	12,49	11,91
Місто Київ	Район	Солом'янський	9,16	13,86	11,91
Донецька	Місто	Слов'янськ	10,37	12,95	11,83
Донецька	Місто	Торецьк	10,46	13,11	11,83
Дніпропетровська	Район	Криничанський	10,36	12,57	11,82
Донецька	Місто	Хрестівка	10,73	12,40	11,82

Область	Адміністративно-територіальна одиниця		Середній показник у мкг/м ³		
	Тип	Назва	У літній період	У зимовий період	За весь час спостережень
Донецька	Місто	Селидове	11,41	11,85	11,76
Донецька	Район	Бойківський	11,42	11,58	11,76
Запорізька	Район	Запорізький	11,11	12,18	11,74
Донецька	Район	Старобешівський	11,43	11,38	11,65
Дніпропетровська	Район	Широківський	10,64	12,09	11,65
Луганська	Місто	Сєверодонецьк	10,05	12,78	11,63
Чернівецька	Місто	Чернівці	9,07	14,26	11,55
Донецька	Місто	Шахтарськ	10,55	12,10	11,53
Донецька	Район	Амвросіївський	11,09	11,53	11,52
Луганська	Місто	Алчевськ	10,29	12,21	11,51
Місто Київ	Район	Дніпровський	8,71	13,58	11,49
Донецька	Район	Костянтинівський	10,26	12,20	11,36
Луганська	Місто	Лисичанськ	9,78	12,43	11,33
Місто Київ	Район	Подільський	8,67	13,18	11,32
Донецька	Район	Мар'їнський	11,20	11,19	11,32
Запорізька	Район	Бердянський	11,20	10,86	11,32
Донецька	Місто	Новгородівка	10,87	11,55	11,30
Луганська	Місто	Хрустальний	10,19	11,87	11,27
Донецька	Місто	Костянтинівка	10,06	12,11	11,24
Донецька	Район	Шахтарський	10,46	11,60	11,23
Миколаївська	Місто	Миколаїв	10,13	11,38	11,19
Луганська	Місто	Луганськ	10,26	11,37	11,18
Луганська	Район	Перевальський	10,17	11,56	11,14
Донецька	Район	Покровський	10,69	11,32	11,13
Запорізька	Місто	Бердянськ	11,55	9,87	11,09
Запорізька	Район	Вільнянський	10,31	11,46	11,09
Луганська	Місто	Кадіївка	10,10	11,65	11,08
Донецька	Місто	Красний Лиман	9,86	12,00	11,08
Донецька	Місто	Покровськ	10,59	11,31	11,06
Дніпропетровська	Місто	Новомосковськ	9,58	12,05	11,05
Донецька	Район	Волноваський	10,97	10,84	11,03
Запорізька	Місто	Ужгород	8,74	13,64	11,03
Дніпропетровська	Район	Солонянський	10,38	11,28	11,02

Область	Адміністративно-територіальна одиниця		Середній показник у мкг/м ³		
	Тип	Назва	У літній період	У зимовий період	За весь час спостережень
Донецька	Район	Бахмутський	9,89	11,83	11,01
Чернівецька	Район	Кіцманський	8,52	13,14	10,97
Донецька	Місто	Торецьк	10,21	11,33	10,91
Донецька	Місто	Бахмут	9,82	11,76	10,90
Харківська	Місто	Харків	8,64	12,88	10,89
Донецька	Район	Слов'янський	9,64	11,61	10,87
Дніпропетровська	Район	Верхньодніпровський	9,49	11,32	10,86
Дніпропетровська	Район	Томаківський	10,47	10,61	10,76
Дніпропетровська	Місто	Нікополь	11,13	10,06	10,75
Львівська	Місто	Львів	8,69	11,84	10,72
Луганська	Район	Попаснянський	9,71	11,23	10,72
Дніпропетровська	Місто	Марганець	10,64	10,30	10,70
Закарпатська	Район	Ужгородський	8,51	12,98	10,67
Черкаська	Місто	Черкаси	8,84	11,57	10,64
Донецька	Місто	Сніжне	9,98	10,93	10,62
Закарпатська	Місто	Мукачеве	8,33	12,95	10,60
Дніпропетровська	Район	Синельниковський	10,12	10,48	10,60
Донецька	Місто	Добропілля	10,01	10,81	10,59
Місто Київ	Район	Деснянський	7,98	12,47	10,59
Донецька	Район	Великоновосілівський	10,57	10,19	10,57
Місто Київ	Район	Святошинський	8,16	11,90	10,55
Луганська	Місто	Брянка	9,88	10,77	10,55
Донецька	Район	Добропільський	10,00	10,70	10,55
Запоріжжя	Місто	Енергодар	10,77	9,79	10,54
Дніпропетровська	Район	Апостоловський	10,36	10,08	10,54
Луганська	Місто	Рубіжне	9,03	11,60	10,53
Дніпропетровська	Місто	Синельникове	10,12	10,29	10,52
Луганська	Місто	Голубівка	9,60	11,06	10,52
Дніпропетровська	Місто	Покров	10,51	9,95	10,51
Дніпропетровська	Район	Нікопольський	10,46	9,90	10,46
Дніпропетровська	Район	Софіївський	9,57	10,59	10,46
Дніпропетровська	Місто	Жовті Води	9,21	11,12	10,43
Дніпропетровська	Район	Новомосковський	9,21	11,16	10,42

Область	Адміністративно-територіальна одиниця		Середній показник у мкг/м ³		
	Тип	Назва	У літній період	У зимовий період	За весь час спостережень
Полтавська	Місто	Кременчук	8,97	10,85	10,40
Місто Київ	Район	Голосіївський	7,94	11,90	10,38



Кривий Ріг: Вугільно-металургійний центр Криворізького басейну; найбільшим забруднювачем є міжнародний металургійний комбінат ArcelorMittal. Фото: Станіслав Крупар / Арніка



Маріуполь: Забруднення атмосферного повітря спричинене одними з найбільших в Україні металургійних комбінатів «Азовсталь» та «Ілліча», які належать групі Метінвест Рената Ахметова. Фото: Станіслав Крупар / Арніка



Запоріжжя: Велика кількість металургійних та машинобудівних заводів розташовані впритул до житлових мікрорайонів та безпосередньо поряд з людьми. Фото: Станіслав Крупар / Арніка



Маріуполь: Масштабні акції протесту громадян «Я хочу дихати!» підштовхнули металургійні комбінати до екологічних інвестицій та спонукали деяких активістів знову балотуватися до складу депутатів міської ради. Фото: Архів акції «Я хочу дихати!»

«Арніка» об'єднує людей, які шукають кращого середовища. Ми віримо, що природне багатство – це не лише подарунок, а й обов'язок зберегти його на майбутнє. З часу свого заснування «Арніка» стала однією з найважливіших екологічних організацій Чехії. Ми базуємо свою діяльність на трьох опорах: залучення громадськості, професійні аргументи та спілкування. З самого початку ми проводили громадські кампанії як у Чеській Республіці, так і за кордоном. Організація зосереджена на збереженні природи, токсичних речовинах та відходах, доступі до інформації та участі громадськості у прийнятті рішень.

«Чисте повітря для України» – спільний проект «Арніки» та неформальної мережі місцевих неурядових організацій з промислових регіонів України. Наша мета – покращити доступ до інформації та посилити участь громадськості у прийнятті рішень. Громадська мережа моніторингу забруднення атмосферного повітря, аналіз ґрунту, річкових відкладень та продуктів харчування у п'яти регіонах та програми нарощування потенціалу для громадянського суспільства – ось деякі з наших головних досягнень. Ми пропонуємо трансформаційний досвід Чеської Республіки, залучаємо науковців та експертів до публічних кампаній, публікуємо аналізи та пропонуємо рішення.

«Світ із космосу» – це чеська компанія, яка використовує переваги космічних технологій для сталого суспільства. Нашими ключовими технологічними сферами є спостереження за Землею, геопросторовий аналіз та аналіз великих даних, особливо в міських, екологічних та сільських господарствах. Ми зосереджуємося на вдосконаленому аналізі даних та машинному навчанні за допомогою супутникових зображень та даних служб Copernicus. Флагманський продукт компанії ДунаСтор API забезпечує глобальний моніторинг врожаю для сільськогосподарського програмного забезпечення. Повідомте нас про свої ідеї та відвідайте наш веб-сайт www.worldfrom.space



Більше інформації: www.cleanair.org.ua